

PERCEPTIONS CONTEMPORAINES DE LA MÉTROLOGIE

Le pouvoir de la science

L'évolution du système métrologique, devenu SI (Système International), a été confiée aux bons soins des scientifiques. C'est en cela que la Révolution française a été le grand tournant de l'histoire de la mesure : celle-ci a quitté l'univers marchand où elle baignait depuis plusieurs millénaires pour être placée sous la tutelle de la Science. Les scientifiques l'ont fait évoluer selon leurs besoins, c'est-à-dire vers une précision de plus en plus grande, notamment en ce qui concerne le Temps, pour lequel ils approchent les 10^{-15} secondes (femto-seconde). C'est l'échelle de temps des réactions chimiques, d'où la constitution, pendant les années 90, d'une nouvelle discipline, la femtochimie, et aussi l'essor des travaux sur la décohérence, qui paraissent devoir surmonter l'ancienne incompatibilité entre la relativité et la mécanique ondulatoire. Pour la mesure des longueurs, ils ont, entraînés par ce progrès dans la mesure du temps, abandonné le méridien pour prendre comme étalon d'abord une raie spectrale du krypton, puis la vitesse de la lumière dans le vide, laquelle n'est pas d'un accès facile pour le commun des mortels. Il s'agit là, non pas d'un changement d'unité, mais d'un changement de système, et même de conception de la physique, puisque la vitesse de la lumière est fixée comme constante universelle, supposée par définition invariable dans le temps et l'espace. Le public ne s'en est pas ému, car rien n'était changé dans sa vie quotidienne, et les discussions de mise au point, très techniques, sont restées limitées à d'étroits cénacles.

Néanmoins, simultanément, l'activité économique et sociale continuait d'engendrer de nouvelles pratiques de mesure et de nouvelles unités, telles que la DBO¹ ou le sievert.² Les scientifiques eux-mêmes, quand ils y trouvent leur avantage, n'hésitent pas à utiliser d'autres unités que celles du système international : les astrophysiciens, par exemple, préfèrent parler en années-lumière ou en parsec (la distance d'où l'on voit le système solaire sous la parallaxe d'une seconde d'arc), lesquelles ne sont aucunement des multiples décimaux du mètre étalon.

Pour l'informatique et les télécommunications, l'élaboration de la théorie de l'information³ par les mathématiciens imposait une unité naturelle : le « bit », quantité d'information élémentaire. Le bit s'exprime par 0 ou 1, oui ou non, vrai ou faux ; dans un cas l'impulsion

¹ DBO Demande biologique en oxygène.

² Sievert : unité légale d'équivalent de dose qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée (symbole SV). L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable.

³ Léon Brillouin. *La Science et la théorie de l'information*. Ed. Masson 1959, Ed. Jacques Gabay, 1988.

électrique passe dans l'autre elle ne passe pas. Le bit est la brique élémentaire à partir de laquelle peut être construite la représentation en machine de l'univers des informations. À cet effet, il a fallu décliner des groupements de plusieurs bits pour "coder", c'est-à-dire définir des normes de représentation de l'information. C'est là que se sont exprimés les rapports d'influence entre les opérateurs. Le 7 avril 1963, la société IBM lance la gamme des « 360 » et, simultanément, le codage de l'information par « octets », c'est-à-dire des groupes de huit bits, soit $2^8 = 256$ états différents. Avec ces 256 combinaisons, il est possible de représenter l'alphabet, les majuscules, les signes de ponctuation, les nombres et quelques signes supplémentaires des langues européennes, tels que le umlaut allemand ou le point d'interrogation inversé espagnol. Dans les années 60, époque où IBM domine le marché mondial de l'informatique, l'octet s'impose en effet comme norme internationale. On lui donne le nom de « byte ». Cela n'empêche pas les Français de se distinguer dans les années 70 lors de la mise en place du minitel, en choisissant une base cinq pour la norme dite « alpha mosaïque », avec laquelle ils espéraient, jusqu'à l'avènement d'Internet, conquérir un marché mondial. Dès le début des années 90, les négociations de l'ISO⁴ aboutissent à une orientation opposée : pour coder tous les alphabets du monde, y compris les alphabets orientaux, notamment les idéogrammes chinois et japonais, on choisit un codage sur deux octets. L'Unicode, maintenant utilisé par les micro-ordinateurs du monde entier et véhiculé par Internet, soit 32 768 possibilités, dont une vingtaine de milliers réservés aux « Kanji », malgré les protestations de quelques lettrés japonais qui y voient une amputation intolérable de leur richesse culturelle. Très vite, les informaticiens utilisent le kilo-octet représentant 2^{10} octets, soit 1024 octets, proche des capacités de stockage des premiers ordinateurs. Aujourd'hui, on parle de Méga octets (1024 Ko), ou plus encore de Giga octets (1024 Mo). La mesure informatique est à base 2 (et non en base 10), et ses multiples ont une progression exponentielle, non pas décimale, mais en base 2^{10} . Il est important de le souligner, car la confusion est souvent faite entre 10^3 (1000) et 2^{10} (1024). Cet exemple montre comment, de nos jours comme par le passé, à partir d'un besoin social, ici le développement de l'informatique et des télécommunications, une nouvelle mesure naît de la pratique (imposée par les entreprises dominantes) et devient *ensuite* une norme (et non le contraire). À travers le temps, en effet, la culture métrologique naît de la pratique. Le système métrique décimal semble être une exception à cela en ce sens qu'il est issu des pratiques des scientifiques et non des pratiques sociales (en majorité marchandes) de la mesure.

⁴ International Standard Organization, instance internationale suprême de normalisation.

La métrologie vue par le public

Que peut bien vouloir dire le mot métrologie pour le public ? Afin de d'apporter une réponse à cette question une double enquête a été réalisée dans deux lieux différents.

- En juin 2001 au Conservatoire des Arts et Métiers, lors d'un Forum d'information du CNAM qui a lieu chaque année. Ce forum permet aux auditeurs et aux étudiants de se renseigner sur les formations dispensées au Conservatoire des Arts et Métiers pendant l'année universitaire suivante et de prendre contact avec les enseignants.
- En novembre 2001, au Salon de l'Education 2001 à Paris. Le Salon de l'Education a lieu chaque année en automne à Paris

Enquête au Forum du CNAM en juin 2001

Après avoir obtenu l'autorisation du responsable de l'organisation du Forum de réaliser cette enquête, j'ai demandé à 77 personnes de bien vouloir répondre au questionnaire.

Présentation et résultats de l'enquête

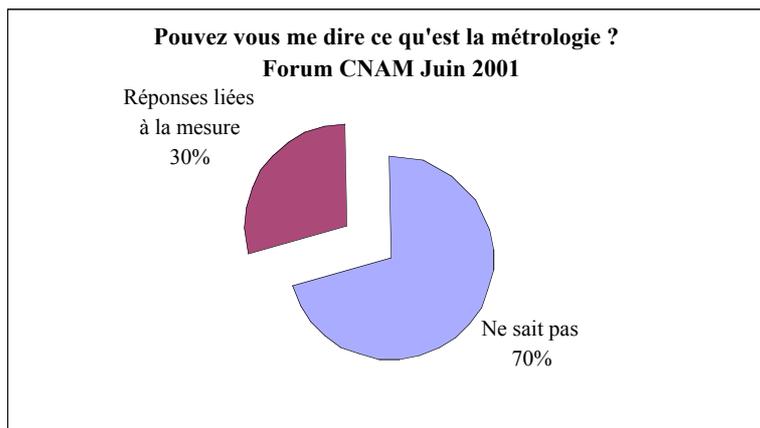
Première question : Pouvez vous me dire ce qu'est la métrologie ?

Réponses

Aucune idée	11
non	14
Je ne sais pas	16
réponses liées à la mesure	23
Autres	13
Total	77

Les réponses à "Autres" sont :

Le nom d'une société ?	1
ça n'a rien à voir avec le temps ?	1
Je ne sais pas. C'est la météo ?	1
L'étude de la météo ?	1
L'étude de la distance ?	1
Métro ? Ça vient de métro ?	1
L'étude du temps (climat)	2
C'est l'étude des rythmes	5



Graphe 1 : Pouvez-vous me dire ce qu'est la métrologie ? - Résultats d'enquête - Forum du CNAM 2001

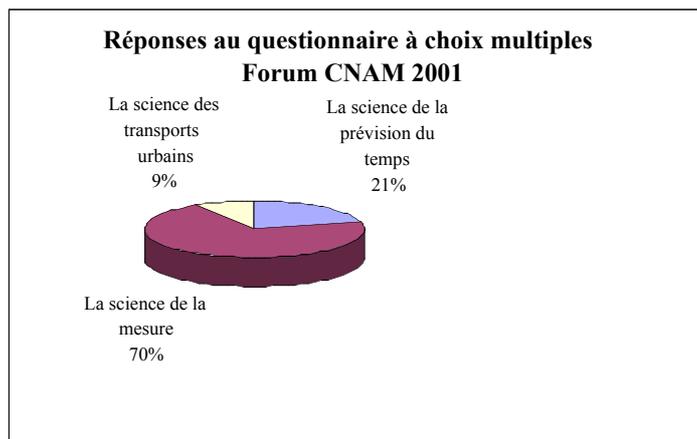
Réponses à la deuxième question

La deuxième question est sous forme de questionnaire à choix multiples. Les personnes ont le choix de répondre à la question « **Pour vous la métrologie est ?** »

- 1- La science de la prévision du temps
- 2- La science de la mesure
- 3- La science des transports urbains ?

Réponses

La science de la prévision du temps	16	21%
La science de la mesure	54	70%
La science des transports urbains	7	9%
Total	77	100%



Graphe 2 : Réponses au QCM - Forum du CNAM 2001

Remarque : j'insiste, lorsque les personnes me disent que la métrologie est la science des transports urbains, en leur demandant : Vous êtes bien sûre ? Là souvent les personnes se rendent compte, souvent par déduction, que la métrologie est la science de la mesure.

Autres éléments de l'enquête

Les âges des personnes interrogées au CNAM

Entre 20 et 25 ans	15
Entre 26 et 30 ans	23
Entre 31 et 35 ans	15
Entre 36 et 40 ans	11
plus de 40 ans	13
Total	77

Le niveau scolaire des personnes qui ne savent pas spontanément ce qu'est la météorologie sont :

Avant Bac	2
Bac	14
Bac + 2	17
Bac + 3	7
Bac + 4	6
Bac + 5	5
DESS	3
Total	54

Les personnes interrogées qui ne savent pas spontanément répondre à la première question disent être des domaines suivants :

Gestion	4
Pilote d'hélicoptère	1
Bijouterie	1
Électronique	1
Bâtiment	1
Santé	2
Optique	1
Vente/ commerce	5
Économie	2
Informatique	3
Énergétique	1
Science économie	1
Économétrie	1
Comptabilité	5
Économie / finance	2

Histoire	2
Maths	1
Artisan	2
Ressources et sciences humaines	4
Lettres	2
Sciences de la vie	2
Formation	7
Agroalimentaire	2
Chimie	1
Total	54

Les personnes qui savent spontanément que la métrologie est la science de la mesure sont issues des domaines suivants :

Ingénieur électronique	4
Chimie	2
Mécanique des fluides	3
Commerce international	2
Enseignant	1
Comptabilité	1
Électrotechnique	1
Carrossier	1
Ingénieur	4
Géomètre topographe	2
Marketing/ vente	1
Informatique	1
Total	23

Résultat de l'enquête au Salon de l'Education 2001

Présentation et résultats de l'enquête

Afin d'avoir des données comparables, le même questionnaire que celui utilisé au CNAM est utilisé au Salon de l'Education en novembre 2001. J'insiste tout autant lorsque les personnes me disent que la métrologie est la science des transports urbains.

91 personnes ont accepté de répondre au questionnaire dont des enfants, des adolescents et des adultes, des élèves de classes primaires, de collèges et lycées, des enseignants et des parents d'élèves.

Première question : Pouvez-vous me dire ce qu'est la métrologie ?

Je ne sais pas	80
La science de la mesure	11
Total	91

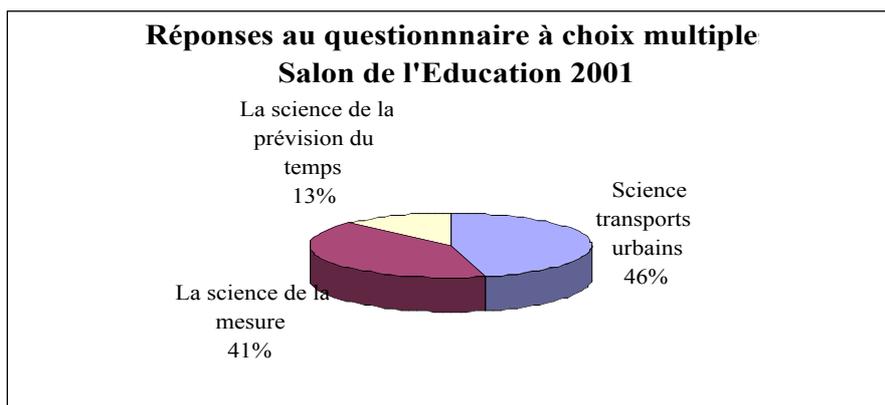


Graph 3 : Pouvez-vous me dire ce qu'est la métrologie ? - Résultats d'enquête - Salon de l'Education 2001

Deuxième question

Réponses

Science transports urbains	42
La science de la mesure	37
La science de la prévision du temps	12
Total	91



Graph 4 : Réponses au QCM - Salon de l'Education 2001

Les âges des personnes interrogées au Salon de l'Education

Moins de 13 ⁵ ans	1
Entre 13 et 16 ans	21

⁵ Le jeune homme avait 11 ans et savait parfaitement ce qu'était la métrologie

Entre 17 et 20 ans	37
Entre 21 et 25 ans	15
Entre 26 et 30 ans	7
plus de 30 ans	10
Total	91

Les personnes interrogées qui ne savent pas répondre spontanément à la première question sont :

CM2	1
Cinquième	3
Quatrième	1
Troisième	11
Seconde	2
Première	6
Terminale	31
DEUG	6
BEP	2
BTS	5
Licence maîtrise	6
Enseignants	2
Autres	5
Total	81

Les personnes qui savent spontanément que la métrologie est la science de la mesure sont :

CM2	1
Enseignants	6
Terminale	2
Troisième	2
Total	11

Conclusion de l'enquête

Cette enquête avait pour objectif de montrer, depuis deux lieux différents, la place de la métrologie pour quelques 168 personnes interrogées. 70 % des personnes au CNAM et 88 % au Salon de l'Education ne savent pas répondre spontanément à la question "Pouvez vous me dire ce qu'est pour vous la métrologie ?"

Au CNAM, le questionnaire à choix multiples inverse la tendance et 70 % des personnes, souvent par déduction, répondent que la métrologie est la science de la mesure. Alors que les réponses à ce même questionnaire à choix multiples au Salon de l'Education donnent un pourcentage bien moindre. Seulement 41 % des personnes reviennent sur leur réponse première.

La place de la déduction entre largement dans les résultats entre la première question et le questionnaire à choix multiples : 26 personnes au Salon de l'Education disent avoir utilisé la déduction pour répondre correctement que la métrologie est la science de la mesure.

Remarque : à l'occasion de cette double enquête, les personnes qui ne savaient pas ce qu'était la métrologie furent ravies de l'apprendre.

Quelle est la place de la métrologie dans l'enseignement de base et la formation ?

Afin de répondre au mieux à cette question, en mai 2002, je suis allée vérifier cette place de la métrologie dans des manuels scolaires récents et des catalogues de formation.

Les manuels scolaires

Je constate :

- une absence de trace d'histoire de la mesure dans les manuels de l'école primaire
- *aucune* trace de l'existence du système international d'unités (SI) alors que tous les ouvrages récents sont actualisés en euros⁶, (lequel n'est en vigueur dans le public que depuis janvier 2002). « *On parle de système métrique. Le système métrique est un système décimal* »⁷.
- dans certains ouvrages, au chapitre « Les mesures de masse », il est enseigné que l'unité de mesure de base est le gramme (g)
- des affirmations notoirement fausses comme celle-ci : « *Le système métrique est actuellement utilisé dans tous les pays du monde* »⁸. *Auparavant chaque pays avait ses propres unités.* »⁹.
- certains manuels abordent les mesures de longueur sans noter nulle part que le mètre est l'unité de base mais proposent par ailleurs aux élèves des exercices de conversions de mètres en multiples ou sous-multiples.

Les programmes scolaires

6 *Pour comprendre les mathématiques.* Cycle 3. CE2. Hachette Education, Paris, 2002. 160 P.

7 Carnet de jour, Carnet du soir. Mathématiques – Toutes les références de l'école en mathématiques. Ed. Magnard, 1994, p. 46

8 c'est aller un peu vite que d'affirmer que *tous* les pays du monde utilisent le système métrique (ou SI) !

9 *Pour comprendre les mathématiques.* Cycle d'approfondissement. CM2. Ed. Hachette Education, 1997, pp. 34-35.

- Je suis allée rencontrer des personnes au Centre national d'enseignement à distance (CNED) et j'ai consulté avec eux les catalogues des formations à distance proposées par l'Education nationale. Nous n'avons trouvé nulle part de formation à la métrologie et aucune entrée « métrologie » dans le répertoire des formations mis en ligne.
- À la bibliothèque de l'éducation située à Mabillon à Paris, j'ai demandé quelle était la place de la métrologie dans les ouvrages pédagogiques mis à la disposition des enseignants. Après vérification : aucun ouvrage ne comporte le mot "métrologie" ni dans le titre, ni dans les résumés des manuels du catalogue.
- Par contre sur le site de Centre national de documentation pédagogique (CNDP) il existe plus de 400 entrées avec le mot-clé « métrologie ».

Recueil et analyse des entretiens

Les enseignants

Démarche suivie

Pour approcher l'idée qu'ont les enseignants de la mesure et la métrologie, j'ai demandé à des enseignants comment ils percevaient et pratiquaient dans les enseignements scolaires. Les enseignants sont interviewés dans leur cadre professionnel. Les entretiens sont réalisés dans les établissements scolaires pendant le temps d'activité. L'anonymat de chaque interviewé est respecté. Les enseignants sont ici considérés comme des témoins qui s'expriment sur la place de la mesure dans l'enseignement secondaire. Je sollicite leur avis sur la question de l'enseignement de la mesure et leur demande de s'exprimer librement et de proposer, s'ils le désirent, des solutions permettant d'améliorer cet enseignement.

Il m'a semblé nécessaire d'interviewer à la fois des enseignants de l'école publique c'est-à-dire ici, un lycée polyvalent classique et un lycée professionnel, mais aussi un établissement scolaire privé. La scission administrative et organisationnelle étant réelle, les expressions d'une même chose sont considérées à priori comme éventuellement différentes suivant le lieu d'où l'on parle.

J'ai aussi choisi d'interviewer des enseignants de disciplines diverses et non pas uniquement des enseignants de mathématiques ou de physique. Ceci est motivé par le fait que la métrologie est vue ici comme une discipline transversale et donc liée d'une manière ou d'une autre à toutes les disciplines enseignées.

Méthode et partenariat

Un réel partenariat est sollicité auprès des établissements et des enseignants. Le responsable de l'établissement, directeur ou proviseur, contacté par téléphone, accepte (ou pas) le principe d'une collaboration à une étude sur la mesure, le système métrique décimal et le système international d'unités. À l'issue de ce premier contact téléphonique, un courrier de remerciement est envoyé. Il confirme l'heure et le lieu du rendez-vous préalablement fixé par

téléphone. Une première rencontre permet une présentation verbale de la recherche en cours et la mise au point des modalités d'intervention.

À la suite de cette rencontre, le responsable d'établissement provoque une réunion à laquelle il convie les enseignants volontaires qui s'intéressent à cette recherche.

Les personnes qui ont participé à ce recueil de données sont :

Monsieur G.B., professeur en sciences économiques et sociales - classes de première et de terminale ; Monsieur R., professeur de mathématiques - classes de seconde, première et terminale ; Madame N.G., professeur d'histoire et géographie - classes de seconde, première et terminale ; Monsieur M.T, directeur de l'établissement, professeur d'anglais ; Madame M.C.S., professeur de mathématiques - classes de seconde, première et terminale ; Madame A.J., professeur de physique - classes de première et terminale ; Messieurs F.C et M.R, professeurs de sciences et de mathématiques - classes de CAP, BEP, Bac professionnel (Industrie, coiffure et tertiaire) – Madame A.W. professeur de mathématiques en classe de collège.

Entretiens et transcription

Les entretiens durent une demi-heure à une heure. J'utilise une grille d'entretien comportant 6 questions. L'expression des enseignants est enregistrée sur une bande audio avec un dictaphone.

Dans les lycées, les entretiens ont été réalisés dans des salles de classe, libres à ce moment-là. À l'Institution S.J., les entretiens se sont déroulés dans le bureau du directeur de l'établissement, prêté pour l'occasion.

Je fais en sorte que les enseignants se sentent absolument libres de répondre comme bon leur semble aux questions. Il m'importe qu'ils ne se sentent pas contraints. Je présente ainsi l'entretien aux personnes interviewées : « Je pose un certain nombre de questions et les réponses vous appartiennent. Vous dites ce que vous avez envie de dire. » Pendant les entretiens, mon attitude est aussi peu directive que possible. Les personnes ne connaissent pas à l'avance ni les questions, ni leur ordre. Dans un même établissement, je demande la discrétion aux enseignants qui se sont déjà exprimés, ceci afin de ne pas influencer les réponses des autres enseignants. Je voulais saisir une expression spontanée plus qu'un discours longuement réfléchi. Ceci est un choix.

Problèmes de recueil et de transcription des données verbales

Un discours oral se trouve comme « réduit » par la transcription écrite. Toutes les expressions non-verbales sont éliminées par ce traitement. Les mouvements et les gestes, même infimes,

des locuteurs sont souvent significatifs au cours d'un entretien, mais ne peuvent pas être transcrits.

Les problèmes de ponctuation

Les problèmes de ponctuation dans la retranscription d'un enregistrement sonore en enregistrement écrit et numérisé posent aussi des limites de l'interprétation subjective du transcripateur.

Cependant les transcriptions comportent un ensemble de balises qui sont :

- Trois points (...) expriment un temps d'arrêt court.
- L'indication (silence) exprime un temps d'arrêt plus long.
- L'indication (rires) exprime un moment où les personnes rient ouvertement.
- Les mots fortement énoncés sont en *italique*.
- Les initiales sont parfois utilisées pour situer qui parle.

Analyse de contenus

Pour analyser les contenus des entretiens, je reprends largement la parole des enseignants. Chaque citation est extraite d'un des huit entretiens. Les entretiens sont codés - E.01 pour le premier entretien réalisé ; E.02 pour le deuxième ; E.03 pour le troisième, jusqu'à E.08.

Les questions posées aux enseignants

- Si je vous dis « mesure » à quoi cela vous fait penser ?
- Pourquoi pensez vous encore nécessaire d'enseigner le système métrique ? (devenu système international d'unités)
- Pensez-vous les mesures « vraies » ? Cette question se décline sur deux niveaux. Le premier niveau, « Pensez-vous les mesures « vraies » ? En général, les personnes rient comme si la question était incongrue. Cependant, à la précision de deuxième niveau, c'est-à-dire : autrement dit, pensez vous les mesures scientifiquement objectives ? Les enseignants répondent tous assez longuement.
- Dans une discussion, vous avez à défendre le système métrique remis en cause, quels arguments utiliseriez-vous ?
- Pensez-vous imaginable que l'on puisse se servir un jour d'un autre système de mesure que celui que nous utilisons actuellement ?
- Quelles sont vos sources pour enseigner le système métrique et qu'en pensez-vous ?
- Septième question (Cette question est une sorte d'avenant aux questions précédentes. Elle contient ce que les personnes ont eu envie d'ajouter en dehors du contexte questions-réponses.)

Analyse du corpus d'entretiens

Je précise ici que l'analyse du corpus présenté exprime un point de vue singulier, cependant, ce point de vue se veut aussi discret que possible. J'ai cherché, non pas à affirmer un avis personnel sur l'état de la question de l'enseignement de la mesure dans l'enseignement du secondaire mais à donner la parole aux enseignants et à la respecter. J'ai cherché, plutôt qu'émettre un discours, fût-il argumenté, à montrer de façon simple et utile *une sorte d'état des lieux de la question de la métrologie dans l'enseignement exprimé par les enseignants*. Je leur laisse volontiers *la place de témoins* car ce sont ceux les experts. Ce sont eux qui sont face aux élèves, face aux programmes et aux difficultés des élèves et face à leurs propres difficultés et à leur isolement lorsqu'il s'agit de métrologie. Ce sont enfin eux qui proposent des solutions d'amélioration.

Ces entretiens ont un double but :

1. objectiver une situation : celle de l'état de la culture métrologique dans l'enseignement secondaire
2. faire apparaître à travers les énoncés, l'existence d'un rapport entre la mesure et la connaissance et la nature de ce rapport.

Ce que montrent ces entretiens est très loin d'être exhaustif, mais je considère ces données comme de bonnes mesures. Si ici une leçon métrologique a été retenue, c'est que ce n'est qu'à partir de mesures fiables¹⁰, fussent-elles subjectives, que des décisions pourront raisonnablement être prises, comme éventuellement de reposer la question de la restauration et de l'actualisation d'un lien d'origine entre l'école pour tous et la métrologie.

Les premiers constats

Tous les enseignants utilisent la mesure quelque soit leur discipline mais peu l'enseignent car elle fait partie des "acquis" de base que les élèves devraient maîtriser lorsqu'ils entrent au collège ou au lycée. Cependant force est de constater que beaucoup des élèves n'ont souvent que des notions vagues concernant la mesure. Le système métrique décimal reste majoritairement la référence de la mesure. Il est rattaché à son origine révolutionnaire et non pas raccordé à l'ensemble métrologique actuel. La métrologie n'est pas un mot connu et les mesures sont particulièrement déconnectées de leur réalité scientifique et légale, sauf dans certains enseignements techniques.

¹⁰ c'est-à-dire dans lesquelles on a confiance

Les difficultés des enseignants sont nombreuses face aux difficultés des élèves. Le point essentiel qui ressort de ces difficultés est que les élèves sont capables de manier des théories sans pour autant faire le lien entre la théorie et la réalité concrète. L'enseignement de la mesure reste le plus souvent une abstraction qui ne dispose pas les élèves à mettre en oeuvre un certain bon sens et quelquefois même génère des absurdités en ce qui concerne les ordres de grandeur. On voit ainsi des élèves remettrent des copies où ils trouvent que deux villes seraient éloignées de quelques centimètres, un escargot aller à 100 kilomètres à l'heure ou qu'un kilogramme de pommes de terre coûterait 8000 francs !

Pour l'ensemble des enseignants qui ont pris la parole pendant les entretiens, la mesure renvoie à certaines représentations subjectives et sociales de deux univers dont l'un est du domaine des symboles et l'autre celui de la rationalité. Ces deux aspects semblent complémentaires et s'articuler. D'une part, la mesure symbolique et morale : la juste mesure, liée à la modération et au respect des limites de soi et des autres et de l'autre, la mesure technico-scientifique : la métrologie.

Dans l'ensemble des enseignants sont assez insatisfaits de l'état de l'enseignement de la mesure. Ils demandent de l'aide pour mieux connaître et faire connaître la métrologie.

Les mots ont-ils le même sens pour tout le monde ?

À la question : « si je vous dis mesure, à quoi cela vous fait penser ? », les réponses sont aussi diverses que de personnes interrogées. Ces réponses se situent dans des registres fort éloignés les uns des autres, allant de la morale aux travaux de bricolage. Dès le premier entretien, un sens philosophique voire spirituel de la mesure est présent.

«La mesure, par exemple pour Aristote c'est une qualité, une qualité morale, tout le contraire des extrêmes... le juste milieu, pour moi c'est ça la mesure... »¹¹

Cette mesure « morale et spirituelle » apparaît ensuite fréquemment au cours du déroulement des entretiens.

Par exemple :

« Donner le sens de la mesure spirituelle, je suis frappé de voir comment les enfants sont attirés par le spirituel, on voit bien que les enfants, les grands à partir de la quatrième ou troisième, les enfants ne sont pas ce que l'on dit. »¹²

Néanmoins, à cette première question, la plupart des réponses se placent dans un registre plus concret :

¹¹ E.01

¹² E.04

«Ça me fait penser au système métrique actuel, le mètre et ses unités. Après si je veux étendre la mesure, ça part aussi bien du domaine économique que je rattache à l'unité. Pour moi finalement la mesure, c'est l'unité, donc ça peut être aussi bien le franc que des mesures de poids ou des mesures de longueur. »¹³

Chez certains enseignants, les deux sens du mot « mesure » sont présentés à la suite l'un de l'autre, comme s'ils étaient simultanément présents.

« La première notion de la mesure que j'ai, c'est une mesure pour moi, linéaire, mesure d'un jardin, en kilomètres sur une autoroute.

En second le sens de la mesure, l'expression « avoir le sens de la mesure ». « Tu n'as pas le sens de la mesure » Mes parents me faisaient souvent ce reproche : tu n'as aucun sens de la mesure.

On dit aussi souvent « prends tes mesures » par rapport à tel problème ou par rapport à telle prise de position... »¹⁴

Voici un autre exemple de cette complémentarité : le sens de la mesure. Un enseignant s'exprime sur le sens de la mesure d'un point de vue de la morale et des limites personnelles et sociales et un autre utilise la même expression « le sens de la mesure » pour exprimer une idée liée au domaine de la métrologie.

Le sens de la mesure (1) - sens moral -

« Tu n'as pas le sens de la mesure, mes parents me faisaient souvent ce reproche, tu n'as aucun sens de la mesure. Evidemment ce n'est pas du tout le même ... c'est à dire dans ce sens là je le perçois comme ...un certain nombre de limites qu'il faut respecter soit dans les contacts sociaux, soit dans les propos que l'on tient, soit dans le comportement que nous avons, avoir le sens de la mesure ... »¹⁵

Le sens de la mesure (2) - métrologie -

« j'ai l'impression que le sens de la mesure se perd, parce que malgré ce que j'ai dit, la mesure est une valeur et je dirais une valeur scientifique, une valeur d'objectivité, même si l'objectivité n'existe pas. Et nous sommes en train de perdre, du moins partiellement entrain de perdre le sens de la mesure, le besoin du sens de la mesure... et on le remplace par des approximations. »¹⁶

Les enseignants utilisent différentes expressions pour qualifier la mesure symbolique, subjective et morale et la mesure métrologique.

La mesure « symbolique et morale »

¹³ E.02

¹⁴ E.04

¹⁵ E.04

¹⁶ E.01

Les expressions qui qualifient la mesure « symbolique et morale » sont liées à la « *qualité morale* »¹⁷, à « *quelque chose de moral et de philosophique* »¹⁸, au « *juste milieu* »¹⁹, au « *sens de la mesure* »²⁰, à « *la mesure spirituelle* »²¹. Mais aussi « *la mesure [...] c'est apprendre la tolérance* »²².

La métrologie

Les expressions qui qualifient la métrologie font référence au « *mètre et ses unités* »²³ ; « *une unité pour mesurer un champ à la campagne [...] c'est-à-dire un are, un hectare et ensuite une mesure de temps, une journée* »²⁴ ; la « *mesure d'un jardin, en kilomètres sur une autoroute* »²⁵ ; des « *grandeurs de référence que sont les unités du système métrique soit du Système international d'unités* »²⁶ ; « *la longueur, la largeur, la hauteur, les kilomètres* »²⁷.

Le système métrique décimal reste le système de mesure de référence

Il est nécessaire, clair, simple, universel, rationnel, pratique, précis. C'est une référence et un outil de communication.

« nécessaire ... pour des raisons de communication universelle, pour que tout le monde puisse parler la même langue quand il s'agit de mesurer une longueur »²⁸.

« c'est un outil de référence, on peut peut-être changer l'outil de référence mais il en faut un et ... ce n'est pas de ma compétence pour savoir si le système métrique est adapté à notre époque, peut-être que d'autres outils plus performants sont en voie d'élaboration, mais de toute manière il en faut un simple, clair, accessible à tous, universel et compris de tous, pour le moment c'est celui que nous avons. »²⁹

« c'est le système qui est devenu universel et il faut, si possible, des critères universels pour arriver à se comprendre donc, celui-là est plus ou moins passé dans les moeurs,

¹⁷ E.01

¹⁸ E.01

¹⁹ E.01

²⁰ E.04

²¹ E.04

²² E.03

²³ E.02

²⁴ E.03

²⁵ E.04

²⁶ E.07

²⁷ E.04

²⁸ E.05

²⁹ E.03

donc pourquoi pas celui-là. Puis on pourrait invoquer l'argument de l'usage. Je ne vois pas les inconvénients que l'on pourrait objecter, on l'utilise depuis un certain nombre d'années, il a fait ses preuves si vous voulez. »³⁰

« Il me semble que c'est un repère. Je dirais qu'il faudrait qu'il devienne universel, que le système métrique soit universel. C'est un repère élémentaire, si on l'enseigne pas le système métrique, il va manquer aux gens un repère dans l'espace. [...] C'est un peu ce que je vous dis, la nécessité absolue d'avoir un repère fiable, fiable dans le sens qu'il est universellement reconnu par rapport à tout un tas de domaines. Donc je ne vois pas très bien en fin de vingtième siècle comment on pourrait fonctionner sans système métrique [...] on ne peut pas faire sans le système métrique facile à manipuler et universellement reconnu ça me paraît une nécessité absolue, absolue sinon, ce serait un flou artistique déplorable ...»³¹

« Enseigner le système métrique, ça me paraît une évidence ; il est pour moi un repère, une unité de valeur. Moi qui suis professeur d'anglais, j'ai pendant de nombreuses années planché sur les pieds, les yards, les pouces, les demi-pouces, les demi-yards et les demi-pieds. Le système décimal me semblait alors beaucoup plus pratique et je dirais qu'il faudrait que le système métrique soit universel. »³²

Métrologie historique

Des références historiques antérieures au système décimal apparaissent dans les entretiens comme la base soixante ou des anciennes mesures comme la « journée » ou le « pan » et le « quintal » utilisés dans le Sud-Ouest. La connotation « journée » est significative. On mesurait autrefois la surface des champs en journées de travail. C'est encore le cas pour le vignoble en Bourgogne.

« Par rapport au système en base 60 donc ce que l'on a gardé pour les durées, le temps, il y a la divisibilité, c'est à dire par exemple, un tiers de mètre, pour quelqu'un qui n'a pas la pratique des nombres est très difficile à exprimer, alors qu'un tiers d'heure c'est 20 mn, c'est beaucoup plus pratique. »³³

« on trouve encore en occitan le pan de neige dans la région, c'est une unité de mesure qui reste encore, les gens du terroir ne disent pas il est tombé 7 cm de neige, ils disent un pan de neige. [...] « Il y a aussi les façons de mesurer les quantités de blé, enfin je l'ai vécu puisque je suis de la région, et ils ne parlaient pas enfin il y a quarante ans en kg ou en litres ou en kilolitres, ou en grammes, ils parlent en quintal. Mais c'est un quintal qui n'a rien à voir avec le quintal décimal. C'est en fait un volume qui est une espèce de récipient qui a... qui est ... qui s'est transmis de générations en générations qui doit faire dans les 20 à 30 litres. Ils mettaient le blé dedans et ils disaient je te donne un quintal ou deux quintals de blé. Ils vendaient comme ça le blé au boulanger il n'y a pas si longtemps que cela. C'étaient de vieilles unités qui se sont transmises de générations en générations. »³⁴

³⁰ E.03

³¹ E.04

³² E.04

³³ E.05

³⁴ E.05

« une mesure de temps, une journée... »³⁵

Le système international d'unités (SI) est peu évoqué

Il semble qu'il y ait plusieurs raisons au fait que le SI soit si peu évoqué. Ceci peut être lié d'une part aux difficultés des élèves et de l'autre à l'isolement des enseignants qui ont peu de contacts avec les instances de métrologie scientifiques, légales et industrielles. Enfin à part les classes professionnelles, les autres enseignements semblent détachés de la métrologie actuelle même lorsque les calculs d'incertitude sont abordés.

« il y a souvent chez nos élèves des confusions entre les unités de volume ou par exemple d'aire etc, et donc on a toujours à parler des ... de ces unités par rapport aux autres mesures, par rapport aux autres grandeurs plus que par rapport à son unité dans un système international ... »³⁶

« quelque fois on écrit USI (unité du système international) donc on l'utilise mais on ne précise pas de.. on ne le définit pas, on ne sait pas de quoi il s'agit. »³⁷

« - et le système international d'unités, vous le situez où ?

- c'est d'autres applications, donc moi, je vous parle des grandeurs qui sont du système métrique, mais après, les physiciens entre eux ont leur langage différent mais nécessaire pour communiquer entre différents pays... »³⁸

« j'ai un voisin qui travaille aux services des Mines et aux services des Mines à une époque fort lointaine ils ont été responsables des poids et mesures et c'est eux qui faisaient, enfin qui contrôlaient les appareils de mesure et finalement on a peu de relations avec ce genre de services c'est dommage car ils ont pas mal de choses à nous apprendre. [...] J'ai l'impression, le sentiment parfois d'être trop cloisonné par rapport à ce qui existe et on n'a pas peut être toutes les informations pour aller vers ces informations. Là ce n'est pas évident et en même temps il faudrait rencontrer les gens parce que rencontrer les gens ça permet aussi d'apporter des choses en plus ... rencontrer les acteurs carrément voilà ! »

La notion d'incertitude

La notion d'incertitude de mesure n'est mentionnée que par quelques enseignants qui enseignent dans le « technique », cependant elle apparaît à plusieurs reprises sans être nommée.

« Moi j'ai une formation de chimiste donc je sais depuis belle lurette que les mesures que l'on fait ne sont qu'approchées et on a de nombreux calculs qui sont souvent casse-pied qui sont les fameux calculs d'incertitude... Donc ça non, c'est clair, on sait bien qu'une mesure n'est qu'une mesure approchée, j'ai souvent à leur dire, c'est présent à mon esprit et je le leur dis assez ... »³⁹

³⁵ E.04

³⁶ E.06

³⁷ E.05

³⁸ E.02

³⁹ E.06

« on estime en mesurant un objet une incertitude absolue de tant, après on calcule l'incertitude relative en faisant le rapport entre l'incertitude et la longueur mesurée et puis on en tient compte quand on fait des calculs plus précis, donc pour répondre à votre question, une mesure telle quelle, toute seule, donnée, n'a pas de valeur de vérité... enfin pas de valeur de vérité mais si on la donne en précisant donc l'incertitude absolue et l'incertitude relative que l'on a pu commettre en faisant cette mesure ça a quand même une autre consistance dans la mesure où on peut l'utiliser et faire des études et des théories ... avec une fourchette disons ... »⁴⁰

« Si on prend la mesure de quelque chose de manière scientifique et si on comprend la suite de manière rigoureuse, comment la mesure a été prise et ce qu'elle signifie, là, ça a de la valeur, sinon, en soi une mesure n'a pas de valeur, une mesure est relative. Une mesure n'est pas du domaine de l'en-soi mais du domaine du relatif. »⁴¹

Les difficultés des élèves.

D'après les enseignants rencontrés dans le cadre de cette recherche, les difficultés des élèves sont liées entre autres à **des problèmes d'ordre de grandeur**, à **la confusion entre les unités linéaires, de surface et de volume**, à **des problèmes de conversion d'unités, multiples ou sous-multiples** et **aux calculs d'incertitude**.

Remarques : De mêmes problèmes d'ordre de grandeur se retrouvent dans les enseignements des techniciens et des ingénieurs, de même manière les élèves de tous les niveaux oublient régulièrement de noter l'unité lorsqu'ils expriment un résultat de mesure.

Les ordres de grandeurs et les conversions entre unités

« Des difficultés spécifiques au système décimal ? A priori non, ce sont les puissances de dix, ce n'est pas le système métrique directement qui mis en cause, ce sont les puissances de dix. Quand la calculatrice affiche un résultat par exemple « 2 » , avec un petit exposant en l'air « 3 », certains recopient 2 puissance 3 c'est dire 8 alors qu'il s'agit de 0.002 c'est à dire 2 puissance $^{-3}$. Voilà le genre de difficultés... que ce soit des mètres peu importe. »⁴²

« Un mètre cube, combien ça fait de litres ? À chaque fois, quand je fais la leçon, à 95% ils ne savent pas la correspondance... ». « Les employés techniques de collectivité qui utilisent souvent des verres doseurs pour faire leur cuisine c'est en dl en cl, la correspondance n'est pas toujours facile. [...] »

« Les mètres ne posent pas trop de problèmes au niveau des manipulations numériques mais dès qu'on attaque les mètres carrés ou les mètres cubes, bien souvent on s'aperçoit qu'ils savent faire mais que c'est très mécanique en fait : je mets deux colonnes pour mes conversions. Etc. »⁴³

« - c'est vrai qu'ils s'en servent encore [tableau de conversion]. C'est toujours pareil, ceux qui ont compris le principe, il leur suffit d'utiliser les puissances de dix pour s'en

⁴⁰ E.05

⁴¹ E.01

⁴² E.05

⁴³ E.06

sortir aisément. Bon ceux-là disent que c'est plus facile que le tableau parce que c'est moins traître. Par contre les élèves qui ont leurs habitudes, et c'est très difficile de s'en défaire, parce qu'ils ont appris comme ça et donc ils continuent à le pratiquer. »⁴⁴

« Il est évident que lorsque l'on parle de longueur ils vont savoir que l'unité internationale c'est le mètre après quand on passe aux surfaces ils vont dire mètres carrés mais ils ne savent pas d'où ça vient et pour le cube, c'est puissance 3 et c'est encore pire. »⁴⁵

Ordre de grandeur et démesure

« les élèves ont des difficultés mais je ne pense pas que ce soit lié au système métrique, ils ont des difficultés tout simplement de repérage des nombres par l'écriture et la notion d'ordre de grandeur qui est une notion de plus en plus difficile à mettre en place chez eux. Vous leur demandez la distance qu'il y a entre deux villes ils peuvent très bien...ils peuvent trouver qu'il n'y a que quelques centimètres ! »⁴⁶

« Je lis des copies de maths quand les profs m'en parlent où le calcul mathématique, on a compris la méthode, on l'applique parfaitement, on va arriver à un résultat ... où le kg de pommes de terre va coûter 8 000 francs et l'enfant confronté à sa réponse de un kilogramme de pommes de terre à 8 000 francs ne réagit même pas, c'est effrayant quelque part. Le calcul, la méthode de calcul a été bien perçue, mais par rapport au concret et à la vie, ça peut faire des choses totalement aberrantes. »⁴⁷

« Par exemple, ils font un calcul de la vitesse d'un escargot. Ils trouvent qu'il va à 100 kilomètres à l'heure et ils mettent ce résultat sans réfléchir. Ça arrive très souvent. C'est un exemple, mais c'est de cet ordre-là. »⁴⁸

« Par exemple, j'ai corrigé un exercice sur le tourisme. Donc, il y a une série de documents, parmi les documents, il y avait les recettes touristiques de certains pays, c'était indiqué en millions de dollars, il y en avait 9 000 et il y avait écrit au-dessus en millions de dollars. Ils n'ont pas vu que 9 000 millions de dollars, ça fait 9 milliards, ils m'ont tous charrié des 9 000 000 de dollars. C'est peut-être un détail, mais ça veut dire qu'ils ne dominent pas certaines notions. »⁴⁹

Les enseignants expliquent pourquoi les élèves ont des difficultés.

Certains enseignants s'interrogent sur le fait que les enseignements de la mesure du primaire n'ont pas été suffisamment acquis. Ils posent la question de savoir comment est enseigné la mesure dans les classes primaires et au collège car en secondaire, les élèves qui sont supposés avoir acquis les mécanismes de base ne les ont pas toujours. D'autres regrettent **l'abandon d'un enseignement et l'oubli de certaines unités** comme l'hectare.

⁴⁴ E.06

⁴⁵ E.06

⁴⁶ E.05

⁴⁷ E.04

⁴⁸ E.07

⁴⁹ E.03

D'autres enseignants montrent qu'une des difficultés des enseignements est due au fait que les élèves ne pratiquent pas la mesure. Et lorsqu'ils la pratiquent, les élèves font plus facilement le lien entre l'abstraction et la réalité et ils comprennent plus facilement le concept d'incertitude de mesure. Les enseignants insistent sur le fait que le système de mesure est hors de sa réalité historique et sociale.

« Dans la mesure où il n'y a pas eu auparavant un véritable enseignement de la mesure et de sa signification, comment on l'obtient la mesure c'est ça le problème. Ils ne savent de quoi elle provient la mesure, comment elle est obtenue et ils ne savent pas non plus après, ce qu'elle exprime. C'est une certaine déconnexion par rapport au réel. [...] On ne peut pas raisonner sur des chiffres dont on ne sait pas comment on les a obtenus et qu'on ne sait ce qu'ils expriment. [...] Je me demande où ils sont [les élèves] et ce qu'ils se représentent. Je ne veux pas généraliser, il y en a... qui... qui arrivent mieux à faire le rapport avec le réel, mais le rapport à la réalité est difficile à obtenir. A mon avis, le problème est un des défauts de l'abstraction dans l'enseignement. »⁵⁰

L'abandon d'un enseignement

Certains enseignants notent que le déclin de l'enseignement de la métrologie commence à poser des problèmes de compréhension et que la virtuosité des élèves diminue.

« Parce qu'il n'est plus enseigné comme il l'était. Nous, à notre époque, dans l'enseignement primaire le système métrique, on avait beaucoup d'exercices dessus, il fallait savoir le manier du bout du doigt... (rires). [...] »

Il y a un problème de génération, lié à un problème d'enseignement, d'abandon d'un enseignement, d'abandon partiel au moins de l'accent porté sur le système métrique. »⁵¹

Le problème de l'hectare

Un constat fréquent : les élèves ne savent plus ce qu'est un hectare. Ceci est d'autant plus important que les enseignants qui s'expriment ici professent en zone rurale.

« Par exemple si je vais demander à des élèves de première ou de terminale ce qu'est qu'un hectare. Je ne sais pas si j'aurais beaucoup de réponses exactes. »⁵²

« on ne peut pas imaginer la difficulté qu'a un élève de transformer un mètre carré en hectare »⁵³

« Les difficultés sont incroyablement simples ils ne savent pas par exemple ce qu'est un hectare. [...] Un hectare ? Ils ne savent plus ce que c'est. Un are ? Ne leur en parlez pas. [...] Cela nous pose problème pour la compréhension des choses. Certains élèves finissent par être freinés par des détails, par les mesures les plus simples, celles que l'on manipule généralement. Je ne vois pas de difficulté dans la matière mais souvent ils sont arrêtés par des détails qui ne devraient pas les freiner. [...] C'est un détail qui me paraît

⁵⁰ E.01

⁵¹ E.01

⁵² E.01

⁵³ E.02

symbolique, symptomatique. Quand je leur dis : un hectare vous savez ce que c'est ? - Non. Ça me paraît grave même pour la vie courante. Si un jour ils acquièrent une maison ou achètent un terrain on va leur parler hectare, ils ne savent pas ... »⁵⁴

« je vous disais et je doute que beaucoup d'élèves de terminale puisse dire à quoi correspond un hectare. Très peu pourraient vous dire combien ça mesure ou comment on l'obtient, encore plus auraient ça dans l'œil, si je puis dire. Cela tient à l'état d'urbanisation. [...] Il y a des mesures qui ne parlent plus, qui n'évoquent plus. Par exemple, les rendements. Qu'est qu'un rendement à l'hectare ? Un quintal de blé ? Ce serait pareil pour les kw/ heure, pour l'argent, il y a des difficultés à concrétiser les millions, les milliards, les échelles. Il n'y a pas de rapport entre les chiffres et la réalité concrète. [...] il est impossible le rapport à la réalité, et puis le pire, c'est qu'ils peuvent avoir un exercice juste mathématiquement parlant, sans savoir du tout ce que ça veut dire. Je vous disais tout à l'heure, on nous recommande de partir de documents actuels pour faire le rapport à ce qui se passe dans la société mais il n'est pas fait le rapport ! »⁵⁵

Le désarroi des enseignants : des constats et des solutions possibles

Les enseignants expriment leur désarroi devant les difficultés qu'ils rencontrent dans leur enseignement de la mesure, leur manque de formation et de supports pédagogiques. Ils n'ont que peu (et souvent pas) de rapports avec les instances de métrologie. Les enseignants manquent de relais humains parmi les historiens, les scientifiques et les industriels qui pourraient les aider à mieux comprendre la métrologie, son histoire, ses développements, son évolution et son organisation actuelles.

« de façon plus général j'aimerais parfois qu'un certain travail de vulgarisation soit fait, moi-même [pouvoir] accéder plus facilement aux informations. C'est vrai que l'on a du mal, quand je cherche des sources, on a du mal. [...] C'est à dire, quand je dis c'est un acquis pour nous, c'est un acquis parce que c'est vraiment quelque chose qui rentre dans les moeurs, on a quelquefois du mal à comprendre la façon dont fonctionne un élève qui n'arrive pas à convertir ou qui n'arrive pas à utiliser correctement les mesures. On a là je pense un vrai problème. Moi par exemple, dans mon enseignement, j'ai des fois un vrai problème, quelqu'un qui me dirait que concrètement 2 mètres, il ne sait ce que ça veut dire, je ne saurais pas lui expliquer et c'est vrai qu'on est pas formés pour ça aussi, on est pas formés pour ça ... on n'a pas de réponse toute prête par rapport à ça, mais ça touche le problème de l'enseignement de façon plus générale, c'est-à-dire quand il y a quelque chose entre guillemets "d'évident" à faire passer et que ça ne passe pas, on est un peu dépourvu. »⁵⁶

D'après certains enseignants, la pratique et la manipulation sont nécessaires pour que les élèves fassent le lien entre le concret et l'abstrait et constatent par eux-mêmes l'incertitude de mesure.

« les mesures qui sont faites résultent d'expériences et elles sont données et les résultats sont donnés avec une certaine précision. Cette précision peut venir de la méthode

⁵⁴ E.03

⁵⁵ E.01

⁵⁶ E.02

qu'utilise l'expérimentateur, la précision peut venir de l'expérimentateur qui aurait un défaut de vision par exemple et ça peut venir aussi des instruments, des appareils de mesure qu'il utilise qui sont toujours un peu imprécis.

L'imprécision est exprimée avec le résultat et ça c'est une chose que les élèves ont un peu de mal à comprendre. Ils comprennent qu'il y a une imprécision sur le résultat quand ils font des expériences, ils s'aperçoivent que ... ils peuvent constater de multiples erreurs provenant des origines que je viens de citer mais il leur est difficile d'exprimer quantitativement cette imprécision, ils l'admettent car ils le constatent en faisant les mesures. »⁵⁷

L'absence de métrologie historique dans les programmes

Une enseignante d'histoire en classe de seconde, première et terminale s'exprime à ce sujet.

« quand on parle de la France avant la Révolution on explique qu'il y avait des tas de mesures différentes, que ... et on leur parle de l'unification au moment de la Révolution française, du désir d'unification, comment on est arrivé à l'unité nationale à tous les niveaux mais c'est le seul moment où les programmes nous autorisent à évoquer de façon un peu approfondie ce problème. Mais c'est vrai que quand on aborde la révolution industrielle en première il y aurait une digression vers le système métrique comme moyen aussi pour faire avancer le savoir des sciences et des techniques ce serait pas plus mal. »⁵⁸

« Il est [le système métrique] déconnecté de sa réalité historique. [...] Je ne l'ai jamais vu dans aucun programme ni de près, ni de loin, jamais apparaître, jamais, jamais. »⁵⁹

Quel est le rapport entre la connaissance et la mesure chez les enseignants interviewés ?

Y a-t-il un rapport entre connaissance et mesure dans l'école et particulièrement pour les enseignants interviewés ? Je ne cherche pas à poser pas ici le problème de la connaissance au sens large mais à montrer dans les énoncés des enseignants des éléments de lecture pour tenter de faire apparaître quelques réponses à cette question même si le mot « *connaissance* » n'est utilisé qu'une seule fois et sous la forme « *une certaine connaissance* »⁶⁰ dans la totalité des entretiens.

Quels sont les rapports entre mesure et réel et mesure et réalité ?

« Le rapport à la réalité est difficile à obtenir »⁶¹ ; « il faut étudier ce qu'il y a dans les livres, ce qu'il y a dans le cours, ce faisant, on évacue le rapport avec la réalité »⁶² ;

« il n'y a pas de rapport entre les chiffres et la réalité concrète »⁶³ ;

⁵⁷ E.07

⁵⁸ E.03

⁵⁹ E.03 (enseignante d'histoire)

⁶⁰ E.06

⁶¹ E.01

⁶² E.01

⁶³ E.01

« les élèves ne savent plus le contenu réel auquel ils se réfèrent »⁶⁴ ;

« il y en a... qui.. qui arrivent mieux à faire le rapport avec le réel »

« il n'y a pas de confrontation au réel... »⁶⁵

« il faudrait être capable de passer de la mesure au réel, là j'éprouve et je ne suis pas le seul, face aux élèves, des difficultés »⁶⁶ ;

« Ils ne savent de quoi elle provient la mesure, comment elle est obtenue et ils ne savent pas non plus après, ce qu'elle exprime. C'est une certaine déconnexion par rapport au réel. Si vous voulez on ne peut pas raisonner sur des chiffres dont on ne sait pas comment on les a obtenus et qu'on ne sait ce qu'ils expriment... »⁶⁷ ;

« comme on ne pratique pas la mesure comme exercice, une mesure qui apparaît dans un document c'est qu'un exemple, c'est vague.. et que les élèves ne savent plus le contenu réel auquel ils se réfèrent. »⁶⁸ ;

« Il y a là une déconnexion entre les chiffres qu'on trouve sur des bouquins et qui sont des résultats de mesure et ... la traduction au réel que les élèves peuvent en faire. »⁶⁹

« Quand on accueille ici les élèves en seconde, on les déroute quand on leur demande quelque chose qui n'a pas été vu précisément en cours et dans les mêmes termes. Donc on a l'impression qu'ils sont habitués au collège à un système question/réponse : il faut étudier ce qu'il y a dans les livres, ce qu'il y a dans le cours, ce faisant, on évacue le rapport avec la réalité. Et dans ma discipline, les instructions nous recommandent de ne pas faire d'économie ou de sociologie abstraite, mais de partir de documents ayant trait à la réalité, mais ça c'est très difficile à réaliser... »⁷⁰

Conclusions relatives aux entretiens avec les enseignants

Bien que le mot « métrologie » n'apparaisse pas dans les entretiens la métrologie, elle existe et elle est perçue par les enseignants très différemment de la réalité métrologique des laboratoires scientifiques ou de ceux de l'industrie.

Le diagnostic que permet une série d'entretiens ne saurait être formulé qu'en termes d'hypothèses de travail. Toutefois, ces hypothèses sont telles que je préfère les exprimer de manière peut-être excessive mais honnête.

⁶⁴ E01

⁶⁵ E.01

⁶⁶ E.01

⁶⁷ E.01

⁶⁸ E.01

⁶⁹ E.01 *Opus cit.*, (§ Le sens de la mesure – Métrologie)

⁷⁰ E.01

La première est que l'enseignement de la métrologie est absent dans le secondaire⁷¹. Ce fait est confirmé par la consultation de catalogues d'offres de formations dans lesquels la métrologie est inexistante.

Cette absence n'est pas due au désintérêt des enseignants. Ils manifestent, dans ces entretiens, un intérêt pour le sujet qui dépasse une curiosité de façade et ne manquent pas d'idées sur les questions qui pourraient être abordées, que ce soit par des exercices pratiques ou sous forme culturelle, en pratiquant la mesure et en traitant par exemple de l'histoire et l'évolution de la mesure, d'un point de vue métrologique et social.

Cette absence n'est pas due non plus à ce que la métrologie serait une discipline inutile et sans application dans la vie active professionnelle ultérieure des élèves. C'est tout le contraire !

Alors, comment expliquer que cet enseignement, très présent dans l'école de Jules Ferry, qui existait encore pendant la première moitié du vingtième siècle, se soit évaporé ces dernières décennies ?

Une interprétation s'impose : le système d'enseignement serait l'objet d'une dérive philosophique, le conduisant insensiblement vers des fonctions qui contredisent sa mission originelle. Si j'emploie ici l'adjectif « philosophique », c'est pour signifier que ce qui est en cause touche aux fondements mêmes de l'enseignement. Il s'agit d'un contresens qui se serait insinué subrepticement dans l'institution. Ce contresens porte sur la notion même de connaissance dans un monde régi en grande partie par les sciences et les techniques. Le fondement même de la science repose sur la métrologie. Autrement dit sans métrologie, il n'est pas possible de remplir les conditions expérimentales de la science. Il est paradoxal alors que la métrologie et son incertitude soient si peu connues dans l'école.

La question est : sans le doute et l'incertitude de mesure, peut-on parler de connaissance, de consensus et de partage de connaissance ? Ne transmet-on pas au contraire une idée de la mesure dogmatique et scientiste ? Une mesure qui serait capable de définir parfaitement les objets et les phénomènes ? De là à imaginer que l'on puisse faire de même avec les gens leurs capacités et leurs performances ?

N'est-ce pas oublier qu'un des fondements même de la science est l'humilité devant la Nature ? N'est-ce pas laisser la porte ouverte aux intolérances de toutes natures ? Pour reprendre les propos de Pierre Giacomo, Directeur honoraire du Bureau international des Poids et Mesures et métrologue :

⁷¹ Bien que les calculs d'incertitude soient au programme de seconde depuis 2000

« L'humilité est la seule arme dont on dispose à la fois face au scientisme et au dogmatisme, et cela même au niveau élémentaire. »⁷²

Vue par un métrologue ou par un épistémologue ayant travaillé dans le registre des sciences et des techniques, la connaissance passe par le truchement de la mesure. Et la mesure est toujours approximative. Seule la modélisation, peut donner une représentation cohérente du monde. Tout se passe comme si la connaissance de la modélisation - ou plutôt sa récitation - avait pris la place de la connaissance elle-même. Dès lors, le doute, autrement dit le véritable moteur de la connaissance, est évacué. Il apparaît, vu sous cet angle, comme un retour à un dogmatisme clérical contre lequel la pensée moderne s'est construite.

Il est remarquable que la notion d'incertitude de mesure soit si peu exprimée dans les entretiens (sauf par deux enseignants d'un lycée technique et une enseignante de physique). Tous les trois parlent de pratique de mesure et donc d'incertitude de résultats constatés par les élèves qui manipulent. L'absence massive de pratique de la mesure dans l'école, enlève à l'art de la mesure une de ses fonctions fondamentales qui est, d'une certaine manière, celle de lier le bon sens à la théorie, tout particulièrement lorsqu'il s'agit de métrologie du quotidien.

Tous les enseignants que j'ai eu l'occasion de rencontrer dans le cadre de ce travail universitaire ont été très intéressés par la réflexion sur le thème de la métrologie. Ils sont demandeurs de compléments de formation en ce qui concerne la métrologie historique mais également demandent de mieux appréhender la réalité métrique actuelle. J'espère que ce travail de thèse leur apportera quelques indications et permettra d'approfondir ensemble cette vaste question que constitue le lien entre le monde de l'enseignement et celui de la métrologie. Enfin, je remercie ici encore les enseignants rencontrés d'avoir apporté leur concours, leur intérêt, leur témoignage et leurs réflexions sur l'enseignement usuel de la mesure et la métrologie.

Les industriels

Démarche suivie

Pour approcher la métrologie comme elle est perçue et pratiquée au quotidien dans les entreprises, j'ai demandé entre 1999 et 2002 à huit entreprises de m'aider à mieux comprendre comment la métrologie fonctionne au quotidien pour eux, professionnels d'entreprises.

⁷² EM02

Méthode et partenariat

Un réel partenariat est sollicité auprès des entreprises contactées⁷³. Les professionnels acceptent, dans un souci de dialogue, de répondre aux questions proposées concernant la métrologie, l'assurance-qualité et les besoins de formation de leur entreprise dans ces domaines.

Les personnes qui ont donné leur avis pour cette étude complémentaire sont :

Responsable Environnement et Assurance Qualité, Technicien de maintenance du Service de Métrologie, Surveillante du Bloc opératoire, Responsable Qualité Environnement, Responsable Assurance Qualité, Sécurité, Hygiène et Environnement, Membre du Club des entreprises certifiées⁷⁴ en Midi Pyrénées, Responsable Qualité, Technicien de maintenance du Service de Métrologie, Communication et Système étiquetage, Chef d'entreprise, enseignant à Paris 11, élu à la Chambre de Commerce, délégué par la profession des optométristes auprès de l'AFNOR et l'ISO, Chef d'entreprise, Chef d'atelier, Agent commercial et Bureau d'étude, Chef de Service Qualité et Gérant d'une SARL fabricant du fromage de chèvre.

Entretiens et transcription

Les entretiens ont lieu dans l'entreprise où je me déplace. Ils sont enregistrés sur un dictaphone, (grille d'entretien en annexe). Les entretiens sont ensuite retranscrits numérisés avec un logiciel de traitement de texte. L'anonymat des personnes est respecté.

Les premiers constats

La métrologie est essentielle pour toutes les entreprises interviewées. Elle permet la validation des contrôles, la traçabilité⁷⁵ des mesures, le développement de l'assurance-qualité, la confiance nécessaire dans les instruments de mesure suivis et raccordés à une chaîne d'étalonnage nationale et la satisfaction des clients. Les mesures à développer semblent être

⁷³ Le choix des entreprises s'est fait sur les conseils et avec les informations des Chambres de Commerce et d'Industrie du Tarn-Nord et Tarn-Sud.

⁷⁴ Ce Club permet d'aider des entreprises en démarche de certification en répondant aux questions que se posent ces entreprises lorsqu'elles décident de mettre en place une Assurance Qualité et/ou un service de métrologie. Dans le Tarn, ce club est animé par les CCI et se réunit une fois par mois sur des sites différents.

⁷⁵ La **traçabilité** est la "propriété d'un résultat d'un mesurage ou d'un étalon tel qu'il puisse être relié à des références déterminées, généralement des étalons nationaux ou internationaux, par l'intermédiaire d'une chaîne interrompue de comparaisons ayant toutes des incertitudes déterminées. Note – 1- Le concept est souvent exprimé par **traçable**. 2 - La chaîne interrompue de comparaisons est appelée **chaîne de raccordements aux étalons** ou **chaîne d'étalonnage**. 3 - La manière dont s'effectue la liaison aux étalons est appelée **raccordement aux étalons**." VIM §6.10 – traceability -

celles qui existent déjà dans l'entreprise. L'incertitude de mesure est un gros souci pour certaines entreprises. L'importance de la métrologie dans les entreprises, comme fonction essentielle et transversale, ne fait aucun doute. Les certifications selon ISO semblent difficilement accessibles aux très petites entreprises. La réglementation ne semble pas adaptée. Une étude de besoins auprès de très petites entreprises est souhaitée.

Les entreprises qui depuis quelques années possèdent une culture métrologique solide cherchent à réduire les coûts métrologiques par une gestion du parc d'instruments de mesure au plus près de leurs besoins. Les entreprises en démarche de certification ou certifiées de fraîche date, disent que même lourde, la mise en place d'un service de métrologie et des services de qualité apportent un plus à l'entreprise en ce qui concerne les relations entre les salariés et le confort que représentent des procédés écrits et respectés. Les audits réguliers sont reconnus comme nécessaires, enrichissants et stimulants.

La métrologie est reconnue comme une fonction horizontale essentielle pour la cohérence d'une organisation : elle est l'interface entre les différents organes de l'entreprise ou du groupe. La métrologie dans les entreprises est nécessairement une fonction partagée.

Cette interface comporte deux aspects, le premier est celui d'un service de métrologie qui organise pour tout salarié opérateur de mesure, le suivi des instruments et fournit donc des instruments de mesure "capables"⁷⁶ au niveau de l'utilisateur. La fonction partagée se situe aussi dans une organisation globale d'entreprise où chaque opérateur de mesure est responsable de la validité de ses mesures parce qu'il utilise au mieux les procédures et protège les instruments de mesure dont il connaît la précision. Il s'adresse au service de métrologie si l'un des outils est détérioré ou hors limite de périodicité d'étalonnage.

Cette série d'entretiens révèle des évolutions sociales qui résultent du développement massif de la fonction « métrologie » dans les entreprises. Il apparaît une culture métrologique qui diffère d'un aspect traditionnel « fabrication-contrôle » : aujourd'hui tous les intervenants, opérateurs de mesure, à quelque niveau qu'ils soient dans l'entreprise, sont responsables d'une part du bon fonctionnement d'un ensemble métrologique dont la cohérence est nécessairement la qualité première.

Des besoins de sensibilisation, de formation et de compétences métrologiques sont fortement exprimés. Certaines entreprises font part de leur difficulté à évaluer leurs besoins dans le

⁷⁶ Dans la pratique un instrument est capable lorsque le rapport entre la tolérance à mesurer et l'incertitude de mesure est supérieure à 4.

domaine de la sensibilisation et la formation. (Les formations souhaitées en métrologie devant être adaptées et dimensionnées à l'entreprise).

Présentation générale de l'échantillon ⁷⁷

Entreprises contactées et indentification

Entreprises de + de 250 salariés	2	330 et 450 salariés
Entreprises de 20 à 250 salariés	3	110, 193 et 200 salariés
Entreprises de - de 20 salariés	3	4 et 15 salariés

Entreprises Indépendantes	3
Entreprises appartenant à un groupe	5
Total	8
<i>Site d'implantation des entreprises</i>	
Tarn	8
<i>Sites d'implantation des groupes</i>	
France	1
Europe	2
Mondiale	2

Secteur d'activité des entreprises des professionnels interviewés

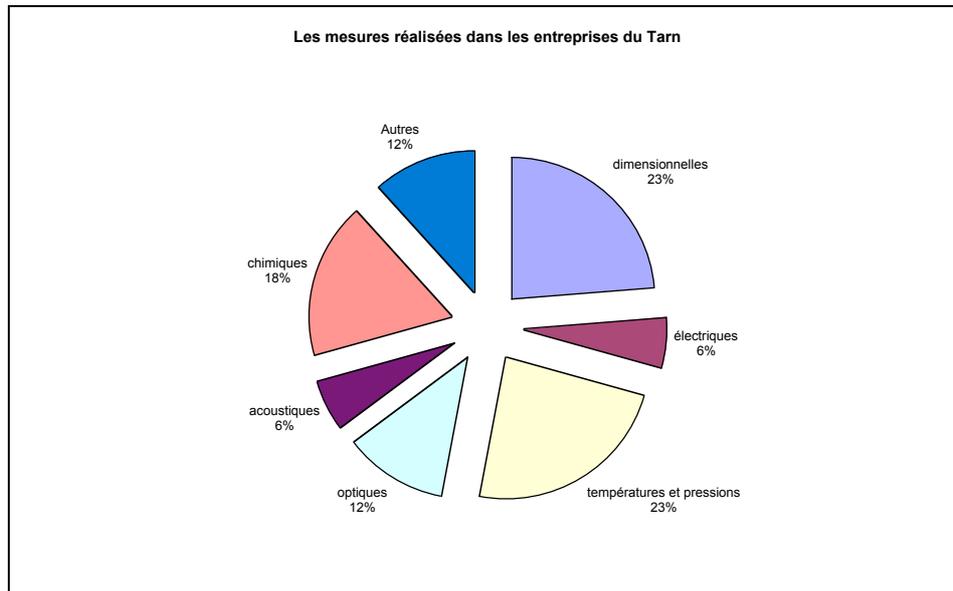
- Tubes et profilés en matière plastique
- Chirurgie
- Fabrication de verre creux
- Chimie fine
- Optométrie
- Fabrication de meubles meublants en bois
- Usinage. Spécialiste de machines usinage
- Agroalimentaire - Production de fromages de chèvre

Les mesures dans l'entreprise

Les mesures les plus utilisées sont des mesures dimensionnelles, de température et de pression. Les professionnels dans l'ensemble considèrent que les mesures à développer sont celles qui sont déjà utilisées aujourd'hui. Les entreprises mesurent des épaisseurs, des diamètres, des tubes, des profilés, des longueurs, des surfaces, des quantités de produits chimiques, des bouteilles, des pièces usinées, des écarts pupillaires. Elles mesurent des températures, des litres de lait, des fromages, des seuils sonores, des durées, des pressions, des

⁷⁷ Question 1 et 2 du guide d'entretien

niveaux, des débits, des procédés en cours de fabrication et des produits finis. Les entreprises mesurent également des instruments de mesure par comparaison métrologique.



Graph 5 : Les mesures réalisées dans 8 entreprises du Tarn

Y a-t-il des mesures plus importantes ou "critiques" que d'autres ?

À cette question, les industriels répondent unanimement « *Les mesures sont extrêmement liées les unes aux autres.* »⁷⁸ Cette même idée est exprimée différemment. En menuiserie, notamment « *Toutes les mesures sont importantes à partir du moment où la précision d'un mm est respectée.* »⁷⁹ Pour la fabrication de tubes et profilés « *C'est l'ensemble des mesures qui va donner la conformité du produit. Toutes les mesures sont nécessaires, aucune n'est plus importante qu'une autre.* »⁸⁰ Dans l'industrie chimique par contre les mesures de température, liées aux risques d'explosion, sont plus importantes.

Comment sont faites les mesures ?

En verrerie industrielle, « *les mesures des bouteilles sont faites en grande majorité par des machines automatiques de mesure. Ce qui permet de contrôler 100 % les bouteilles sur quelques caractéristiques importantes. Les appareils manuels permettent de vérifier que les machines automatiques fonctionnent correctement. Ces mesures sont prises par des opérateurs formés pour cela.* »⁸¹

⁷⁸ Entretien 5 – groupe C – Industriel

⁷⁹ Entretien 6 – groupe C – Industriel

⁸⁰ Entretien 1 – groupe C – Industriel

⁸¹ Entretien 3 – groupe C – Industriel

Dans une entreprise de produits chimiques « *les prises de mesure sont faites suivant des modes opératoires précis. Le service métrologie est là pour vérifier régulièrement le matériel de mesure. Sur certaines chaînes de mesure, il y a souvent plusieurs instruments, plusieurs courbes de températures par exemple.*

L'opérateur vérifie, selon des séquences déterminées, que l'ensemble de cette boucle indique bien la même température pour repérer les dérives et rester dans l'écart autorisé. Sur des « Fiches-point-mesure » sont consignées toutes les mesures prises par les opérateurs. »⁸²

Dans l'atelier de menuiserie : « *En menuiserie, la précision est au mm près. Cependant il faut être attentifs à ne pas utiliser n'importe quel mètre-ruban et bien vérifier que les degrés sont bons. Une précaution sera de ne pas utiliser la petite partie métallique du début car elle est vite hors d'usage et peut créer des écarts qui dépassent le millimètre toléré. Sur les machines, l'attention portera sur l'usure des lames, qui suivant l'état, peuvent également fausser la mesure »⁸³*

Dans une entreprise qui fabrique des machines qui serviront à usiner des pièces automobiles. « *Les pièces unitaires sont mesurées par deux niveaux de contrôle. L'opérateur est en autocontrôle, c'est-à-dire qu'il a à sa disposition des moyens pour contrôler ce qu'il a fabriqué. Les pièces avec un niveau de tolérance très sophistiqué, c'est-à-dire très petit, vont être contrôlées une deuxième fois par la section de contrôle. La section de contrôle comporte également deux niveaux de contrôle. La pièce courante précise et d'autres pièces stratégiques, qui elles, ont une fiche AQ⁸⁴ sur laquelle les critères à mesurer sont très précisément décrits. Ces critères peuvent être des cotes⁸⁵ de quelques microns, des parallélismes, des battements etc. ... »⁸⁶*

Les instruments de mesure

Les instruments de mesure utilisés sont très divers et très nombreux. Certaines entreprises gèrent un parc de plus de 2000 instruments de mesure. Ces instruments sont entre autres des micromètres, des pieds à coulisse, des palmers, des rubans circonférentiels, des thermomètres, des jauges de profondeur, des spectrophotomètres, des réglets, des mètres- ruban, des

⁸² Entretien 4 – groupe C – Industriel

⁸³ Entretien 6 – groupe C – Industriel

⁸⁴ assurance qualité

⁸⁵ tolérances ?

⁸⁶ Entretien 7 – groupe C – Industriel

vérificateurs, des capteurs, des niveaux à bulle et électroniques, des marbres et des machines à mesurer.

« Les machines à mesurer sont des machines à commande numérique avec des palpeurs qui vont mesurer des plans, des profondeurs, des circonférences. Les machines numériques à mesurer fonctionnent avec des programmes, si l'opérateur réalise un mauvais programme, les mesures peuvent être erronées même si la machine est très bonne. »⁸⁷

L'incertitude de mesure dans les entreprises

Les calculs d'incertitude de mesure restent un questionnement majeur pour les entreprises rencontrées (même pour des grandes). Cette difficulté à maîtriser l'incertitude contribue à la dépendance des entrepreneurs vis-à-vis des fabricants d'instruments de mesure. Ceux-ci peuvent sans peine vendre des matériels très sophistiqués et très chers pour un besoin réel largement surdimensionné. Et souvent ils ne s'en privent pas !

Les responsables des services de métrologie interviewés expriment des besoins de formation liés à la détermination d'une incertitude de mesure. Car comme le dit un responsable de la qualité: « *avant ce n'était pas nécessaire, aujourd'hui c'est une priorité* »⁸⁸. Plusieurs entreprises expriment leur incapacité à déterminer l'incertitude de matériels qui associent plusieurs grandeurs qui ne sont pas reconnues dans un système de chaîne nationale de raccordement. Ceci est fréquent pour des solutions chimiques ou certaines mesures optiques.

Les métrologues d'entreprises s'expriment au sujet de la détermination de l'incertitude de mesure et disent quelquefois leur désarroi devant leur incapacité à la déterminer.

« L'incertitude pose des problèmes quand un matériel qui associe plusieurs grandeurs pour lesquelles il n'y a pas forcément de référence étalon comme c'est souvent le cas pour une solution chimique. Le calcul d'incertitude de mesure est alors complexe. Nous arriverons à le faire, d'autant plus qu'il y a quelques personnes informées ce qui permet de passer l'information aux interlocuteurs. »⁸⁹

« En interne il y a un gros travail pour définir, organiser ce travail de détermination d'incertitude de mesure. C'est un des gros poids. Jusqu'à maintenant ce n'était pas fait, maintenant avec l'exigence de la norme. On a de très grosses difficultés à déterminer les incertitudes de mesure. C'est un travail qui est assez lourd. C'est simple lorsqu'il s'agit de pieds à coulisse ou d'équipements relativement simples mais après ... on a un mal fou pour déterminer l'incertitude de mesure. On ne sait pas la déterminer. »⁹⁰

⁸⁷ Entretien 7 – groupe C – Industriel

⁸⁸ Entretien 1 – groupe C – Industriel

⁸⁹ Entretien 1 – groupe C – Industriel

⁹⁰ Entretien 1 – groupe C – Industriel

«Aujourd'hui on a dépassé le stade de répertorier le parc d'instruments qui nous sont nécessaires. Nous commençons maintenant à définir les incertitudes. Avant ce n'était pas nécessaire, aujourd'hui c'est une priorité.

On a pas de grosses difficultés au niveau des vérifications. Notre gros soucis c'est l'incertitude. Quand on a l'incertitude de l'équipement-étalon que l'on envoie à l'organisme habilité, ça va. Mais nous les mesures que l'on fait en interne...on est même pas fichus de savoir l'incertitude. On le fait pour le pied à coulisse, les palmers ... mais pour le reste ... L'incertitude j'avoue que c'est quelque chose, quand on a ça, on ne sait pas le faire. »⁹¹

L'assurance qualité dans les entreprises

L'assurance-qualité permet aux entreprises de mieux satisfaire les clients, mieux assurer les revues de contrat et éviter les dysfonctionnements. « *L'assurance-qualité permet de maîtriser l'ensemble de la chaîne de mesure.* »⁹²

L'assurance-qualité repose sur un mode de fonctionnement nécessitant la formulation écrite. Cette formulation écrite a des conséquences importantes dans les entreprises où la culture technique se transmettait jusqu'à présent oralement et par la pratique.

«Le grand point qui a été mis en place par les certifications se situe dans la formulation. Dans la mécanique, la culture est une culture de bouche à oreille. Les gens du métier se transmettent des savoirs par contact. La démarche a été de demander aux professionnels d'écrire leurs procédures. Chaque secteur d'activité a écrit ses procédures et ce n'est surtout pas le service qualité qui s'en est chargé. Tout cela a conduit à une pléthore de procédures qui avait l'avantage de réellement décrire ce qui se passait dans les réalités. Ensuite ces procédures se sont ajustées par rapport à la norme avec les gens qui les avaient écrites. [...] La préoccupation se situe dans la formulation de ce qui est mesuré. Il est important de consigner les informations de mesure chaque fois que cela peut éviter une recherche ultérieure d'une même mesure ou de permettre, ensuite, des comparaisons par un autre opérateur.»⁹³

Le domaine médical, les très petites entreprises et l'assurance-qualité

« L'entreprise n'a pas encore d'assurance qualité, mais le projet est en route. Il semble que dans le domaine médical, tous les éléments ne sont pas encore réunis pour l'établissement de critères définis. Il manque un référentiel très précis.»⁹⁴

« Il n'y a comme pour les optométristes aucun référentiel, c'est le chaos, tout est à construire. Si on considère un référentiel ISO, la tâche est très importante. »⁹⁵

« Nous n'avons pas de démarche qualité selon ISO. Intellectuellement l'idée est séduisante. Toute l'équipe serait partante mais bloquée par l'énormité que représente une démarche de certification selon ISO. »⁹⁶

⁹¹ Entretien 2 – groupe C – Industriel

⁹² Entretien 4 – groupe C – Industriels

⁹³ Entretien 7 – groupe C – Industriels

⁹⁴ Entretien 2 – Groupe C- Industriels (clinique chirurgicale)

⁹⁵ Entretien 5 – Groupe C- Industriels

« Cela fait donc quatre ans où on est en démarche label. C'est-à-dire que pour ce produit de marché nous avons l'étiquette Cabécou d'Autan. Nous devons respecter le cahier des charges qui va de l'élevage, c'est-à-dire la production du lait, la manière dont on élève les bêtes, la manière dont elles sont nourries... Et pouvoir opposer à toute demande de justification les documents qui permettant de dire que l'on respecte les charges qu'on a mises en place. [...] »⁹⁷

L'évolution de la métrologie dans les entreprises

En France, les Très Petites, Petites et Moyennes Entreprises restent la base du système industriel. Une meilleure compétence et de meilleurs équipements en matière de métrologie leur sont nécessaires pour leur permettre de suivre les progrès techniques tant dans leurs rapports avec les plus grandes entreprises qu'à l'exportation. Ces progrès techniques actuels se traduisent notamment par une meilleure connaissance des précisions et une fiabilité accrue des mesures.

L'exigence des services certificateurs et celle des clients amènent les entreprises à mettre en place des stratégies concernant la métrologie en tant qu'élément essentiel de reconnaissance sur les marchés.

Les professionnels des entreprises disent que la culture métrologique diffère profondément du simple contrôle pratiqué auparavant. Il est essentiel pour l'ensemble de la chaîne de mesure que les salariés et les opérateurs de mesure soient conscients qu'un résultat de mesure dont la traçabilité n'est pas garantie n'est pas un résultat de mesure. Les compétences métrologiques nécessaires aux opérateurs et aux techniciens de mesure ne sont pas de même nature que celles de la profession de contrôleur. Le salarié, opérateur de mesure, confirme sa capacité métrologique en signant son relevé de mesures ou en alertant un technicien lorsque les résultats de mesure amorcent une dérive. Ces dérives fréquentes peuvent être liées à différents paramètres. Si elles ne sont pas repérées immédiatement, elles peuvent provoquer des manques à gagner considérables pour l'entreprise ou même provoquer une explosion si l'activité est la fabrication de produits instables comme des produits chimiques nécessitant une température constante. Et de fait les problèmes liés à l'organisation de la métrologie et au développement de la fonction « métrologie » de l'entreprise sont souvent des problèmes de sensibilisation et de formation des opérateurs de mesure.

La fonction « métrologie » est coûteuse si elle n'est pas proportionnée à l'entreprise. Les entreprises désirent s'approprier la fonction métrologique pour en réduire les coûts. Cela se traduit par une politique préventive pour alléger le dispositif d'ensemble, en restant dans les

⁹⁶ Entretien 6 – Groupe C- Industriels (menuiserie)

⁹⁷ Entretien 8 – Groupe C- Industriels

limites des normes de certification. Autrement dit, il est recherché de minimiser les coûts en gérant au mieux le parc des instruments de mesure, en renforçant les moyens internes et en sensibilisant les utilisateurs pour une meilleure protection des instruments utilisés. L'ensemble de ces actions permet entre autres de réduire les fréquences de contrôle des instruments en construisant un système de périodicité d'étalonnage et de vérification du parc des instruments au plus près des besoins de l'entreprise.

Les entreprises sensibilisent régulièrement les opérateurs de terrain à ces questions d'ordre, de méthode et de respect des instruments de mesure.

« Les appareils évoluent, ils sont le plus souvent plus faciles à utiliser, les affichages sont plus souvent numériques alors qu'une lecture moins aisée était le lot des anciens instruments. La mesure de l'opérateur en est allégée. Cependant l'utilisation de ces nouveaux instruments demande un certain niveau de compétence et de la formation. »⁹⁸

« Pour le moment la seule machine digitale de l'atelier est une ponceuse. Dans le cas de l'achat d'une nouvelle machine, le saut qualitatif est important. La métrologie sera nécessaire car la machine prévue ne fonctionne qu'avec une très grande précision. Ce saut met aussi en évidence que tout l'usage d'une mesure humaine, donc plus ou moins interprétée par l'ouvrier, disparaît. Toute l'incertitude humaine de la mesure est évacuée. C'est cela qui change énormément les choses. »⁹⁹

Quelques entreprises seraient curieuses de mieux connaître les programmes scolaires concernant le maniement des instruments de mesure dans les lycées professionnels ainsi que les enseignements concernant les pratiques d'autocontrôle.

Les opérateurs de mesure dans l'entreprise

Les personnes :

Tous les salariés, responsables d'une ligne de fabrication, chefs d'atelier, contremaîtres d'une unité industrielle sont des opérateurs de mesure. Toutes les infirmières d'un établissement de soins sont des opératrices de mesure. Tous les salariés d'une fromagerie sont des opérateurs de mesure ainsi que ceux d'un Centre de vision ou d'une menuiserie.

⁹⁸ Entretien 5 – groupe C – Industriel

⁹⁹ Entretien 6 – groupe C – Industriel

Les actions :

Les opérateurs de mesure utilisent un équipement dont ils connaissent la capacité, ainsi que la dérive maximum autorisée par rapport aux normes qu'ils appliquent. « *Les opérations de mesure par les opérateurs sont des relevés de mesure. Lorsque les opérateurs se rendent compte qu'il y a une dérive, ils en réfèrent immédiatement. [...]« quasiment tous les opérateurs et chefs d'ateliers sont des opérateurs de mesure. »*¹⁰⁰ Cependant peu d'opérateurs et de techniciens ne font que de la mesure. Le temps de mesure est difficilement quantifiable.

Compétences des opérateurs de mesure vues par les entreprises rencontrées

Les qualités professionnelles nécessaires à un métrologue sont l'ordre, la méthode et la rigueur. L'opérateur de mesure possède une bonne connaissance des instruments de mesure, il est capable pour fournir un résultat de mesure fiable, d'effectuer, de vérifier et de valider son résultat de mesure. Il comprend la notion d'incertitude. Il connaît la capacité de son matériel. Il a au moins un niveau CAP-BEP.

L'opérateur a des besoins et des obligations par rapport au service de métrologie de son entreprise. En tant que client, il a besoin d'un instrument capable pour fournir un résultat de mesure valide. Il signale toute dérive ou détérioration des instruments dont il se sert. L'opérateur de mesure, fournisseur de la mesure, atteste en signant sa fiche de mesure, qu'il a respecté une procédure écrite à laquelle il se réfère. Le technicien utilise un matériel de mesure précis et parfois complexe qui nécessite une formation non négligeable, il suit des modes opératoires écrits et précis, il est capable de définir une méthode qui va comprendre des processus et faire les calculs de statistiques. Le technicien est capable de mettre au point une instruction concernant des méthodes simples et les faire appliquer. Il a au moins un niveau BTS.

Nombre de salariés opérateurs de mesure dans les entreprises

Total des salariés des entreprises	1179	100 %
Opérateurs de mesure	550	50 %
Techniciens métrologues	12	1 %
Ingénieurs métrologues	0	

¹⁰⁰ Entretien 3 – groupe C – Industriel

Compétences et besoins de formation en métrologie

Certains professionnels ont acquis de solides bases concernant le respect de règles pour réaliser des opérations de mesure grâce à leur formation initiale. Cependant, pour les entreprises industrielles, une formation¹⁰¹ de tout le personnel est mise en place au moment où l'entreprise ou le groupe s'engage dans une politique de qualité ou de certification. Ce type de formation ponctuelle dure en général de 2 à 4 journées. Pour les formations de 2 jours, le système qualité dans son ensemble ainsi que la mise en œuvre dans l'entreprise du dispositif de la fonction métrologie sont expliqués. Des exercices pratiques sont prévus au cours de ces formations. Les professionnels d'entreprises en soulignent les aspects positifs.

«En se mêlant, les gens de fabrication et les gens de contrôle ont pu échanger sur leurs problèmes de mesure. Petit à petit les gens ont cessé de se battre lorsqu'ils sont en limite de tolérance parce qu'ils ont compris que l'appareil pouvait amorcer une dérive et que là est souvent le problème. [...] Lorsque la formation a pris en compte les instruments de mesure, les gens s'y sont intéressés, ils devenaient plus attentifs à l'utilisation et à la protection de leurs instruments de mesure. »¹⁰²

Des fascicules comportant les grandes règles de la métrologie à l'attention des opérateurs de terrain ainsi que des panneaux d'affichages sur les lieux de production sont de constants rappels à la réalité métrologique de l'entreprise. Enfin des entreprises incluent la culture métrologique dans leur plan de formation annuel. À tous les niveaux, en plus de leurs activités respectives, les salariés sont amenés à mieux connaître les services et les enjeux de l'organisation de la métrologie dans leur activité. Il y a alors deux aspects exprimés concernant les besoins de formation en métrologie

- des besoins liés à des actions de formation de l'entreprise, en tant que structure globale organisée suivant des procédures écrites et respectées dont dépendent les certifications ou simplement, en dehors du cadre d'une certification, la qualité de ses mesures.
- des besoins de formation professionnelle individuelle pour les salariés.

Les personnes, responsables de la fonction « métrologie » ou responsable « qualité » rencontrées disent leur difficulté à analyser finement les besoins de formation des opérateurs de mesure tout en les reconnaissant importants. Une analyse de ces besoins est souhaitée car les salariés aujourd'hui n'ont pas le même niveau de qualification qu'il y a quelques années.

¹⁰¹ Malgré le fait que les formations faites en interne se transmettent d'anciens à nouveaux, les entreprises interviewées se posent la question de savoir ce qu'il reste acquis par les opérateurs quelques années plus tard.

¹⁰² Entretien 3 – groupe C – Industriel

Conclusion relative aux entretiens avec les industriels

Si j'ai volontairement choisi d'aller interviewer des personnes dans des entreprises d'activités et de tailles différentes c'est que je cherchais à mieux comprendre comment est pratiquée la métrologie dans les entreprises. Je cherchais également, en allant rencontrer des grandes entreprises, moyennes et très petites entreprises, à voir et à approcher comment la métrologie appliquée fonctionne dans des contextes différents. Je cherchais l'existence qui montrerait, par-delà la taille et l'activité des entreprises, un ensemble de fonctionnements communs à l'activité métrologique.

Je constate que la **mise en place d'un suivi métrologique** dans une entreprise **réorganise les relations** entre professionnels mais **change** aussi **la perception** de la structure elle-même du point de vue des salariés. La métrologie **fait apparaître et favorise le fonctionnement global** de l'entité vivante « entreprise ».

La métrologie appliquée à l'activité **solidarise** de fait les salariés d'un bout à l'autre de la chaîne des mesures. « *Toutes les mesures sont importantes* »¹⁰³. Ce fait donne à l'opérateur de mesure, où qu'il soit dans l'entreprise, une part de la **responsabilité de la qualité métrologique globale de l'ensemble**. L'une des conséquences de cette nouvelle perception est que les salariés de l'entreprise, en comprenant mieux le fonctionnement de l'ensemble d'une démarche métrologique, **développent des attitudes de respect** pour les instruments de mesure et **améliorent ainsi la qualité des mesures tout en réduisant les coûts** de maintenance et de réparation des appareils de mesure¹⁰⁴.

Par sa fonction fondamentalement fédératrice, la métrologie crée au sein de l'entreprise **une identité professionnelle différente et nouvelle basée sur la collaboration** et la confiance plus que sur une opposition hiérarchique « fabricant/contrôleur ». Les systèmes de production où un ouvrier produisait et un autre contrôlait sa production disparaissent.

L'opérateur de mesure est autonome dans les limites d'un cadre conventionnel et respecté. L'opérateur de mesure, qui parfois ne passe qu'un huitième de son temps à mesurer (ou à lire les résultats des instruments de mesure sur un cadran) a une responsabilité¹⁰⁵ dans la chaîne des mesures de l'entreprise. Il est **acteur et responsable** et non plus simple exécutant dont la production sera contrôlée. Il est formé pour contrôler lui-même la validité de ses résultats.

¹⁰³ Entretien 6 – groupe C – Industriel

¹⁰⁴ jusque-là assez mal traités

¹⁰⁵ Il atteste de cette responsabilité lorsqu'il signe sa mesure.

L'objet de ces entretiens était aussi de repérer, pour ces huit entreprises, quels sont leurs besoins d'information, de sensibilisation à la culture métrologique et de formation en métrologie. Ces besoins exprimés sont de natures diverses.

Pour répondre aux réglementations et aux normes nationales, européennes et mondiales en matière de qualité des mesures, les entreprises ont des difficultés à évaluer leurs besoins métrologiques réels. Elles expriment la nécessité d'assurer la qualité des produits par une meilleure gestion métrologique des process de fabrication et ne veulent pas être prises en otage par les fabricants d'instruments de mesure qui leur proposent souvent une « surqualité » métrologique, coûteuse et inutile. Elles déplorent la surenchère métrologique.¹⁰⁶ Elles tentent de réduire leurs coûts métrologiques.

Une des manières de réduire les coûts métrologiques est de mettre en place, en interne, des actions de diffusion de la culture métrologique (souvent par le biais de l'assurance qualité). Ces actions ont pour objectif premier de développer chez tous les salariés un comportement métrologique de base. Elles consistent en particulier à sensibiliser le personnel au respect et à l'entretien des instruments de mesure.

Dans l'ensemble, les entreprises demandent un soutien pour acquérir les concepts de métrologie mal connus et des méthodes pour enregistrer correctement les mesures. Elles s'en feraient ainsi une alliée dans la prise de décision et le pilotage de l'activité de l'entreprise. Les très petites entreprises sont particulièrement conscientes de ce besoin métrologique d'aide à la décision.

Aujourd'hui, le dynamisme économique est tracté par les PME et les secteurs de l'artisanat, une « démocratisation » des fonctions métrologiques, jusque-là très favorables aux grandes entreprises sembler nécessaire¹⁰⁷. Cette « démocratisation » est en accord avec une métrologie au service du plus grand nombre. C'est, d'une certaine manière, retrouver l'universalité de la métrologie en développant les conditions d'un mouvement qui va de quelques privilégiés (grands groupes) à l'ensemble de la société civile et économique.

¹⁰⁶ La surenchère métrologique tient dans le fait que les entreprises ne sachant pas très bien évaluer les besoins métrologiques nécessaires à leur activité, surdimensionnent leurs équipements et écourtent la périodicité d'étalonnage ou de vérification de leur parc d'instrument

¹⁰⁷ et en particulier à celles de l'armement

Les métrologues

Démarche suivie

Pour approcher la métrologie scientifique telle qu'elle est perçue et pratiquée au quotidien dans les laboratoires de métrologie, je suis allée demander entre 2001 et 2002 à des métrologues de m'aider à mieux comprendre ce qui constitue la culture métrologique des professionnels de la métrologie. La démarche choisie est ici aussi de laisser largement la place aux métrologues. Ce sont eux les témoins et les experts d'un domaine peu connu du public : la métrologie scientifique. Et je les remercie de leur aide.

Méthode et partenariat

Un réel partenariat est sollicité auprès des métrologues qui acceptent de répondre aux questions proposées concernant **les qualités d'un métrologue, les caractéristiques de la métrologie, l'évolution de la métrologie depuis quelques décennies, l'assurance qualité.**

Les métrologues donnent leur avis sur les liens entre **la confiance et la métrologie.** Ils définissent **la culture métrologique** et ce que devraient être, d'après eux, les **éléments d'une culture métrologique de base nécessaire à transmettre au grand public et aux publics scolaires.**

Les métrologues qui ont participé aux entretiens sont :

G.B., E.R. et M.E. scientifiques, métrologues en thermométrie; B.R., scientifique, métrologue en radiométrie, photométrie ; A.R. métrologue et scientifique dans le domaine de la longueur ; M.F., métrologue en pyrométrie et P.G. scientifique et métrologue, Directeur honoraire du BIPM, P.A, Métrologue, ingénieur général des Mines, C.K. neurobiologiste.

Entretiens et transcription

Les entretiens sont enregistrés soit à l'aide d'un dictaphone soit sur une caméra vidéo. Les entretiens retranscrits sont en annexe. Les entretiens sont préparés à l'avance. Leur but est pédagogique.

Premiers constats

« Mesurer, c'est comparer une grandeur physique inconnue avec une grandeur de même nature prise comme référence, à l'aide d'un instrument. C'est exprimer le résultat de cette comparaison à l'aide d'une valeur numérique, associée à une unité qui rappelle la nature de la référence, et assortie d'une incertitude qui dépend à la fois des qualités de l'expérience effectuée et de la connaissance que l'on a de la référence et de ses conditions d'utilisation. Les méthodes et conventions qui régissent la définition,

l'évaluation et l'expression des résultats de mesure, unités et incertitudes sont partie intégrante du langage commun, à vocation universelle, de la métrologie. »¹⁰⁸

La métrologie est souvent considérée comme une discipline théorique et scientifique, ce qui est vrai pour une bonne part mais cela ne suffit pas à contenir le domaine des relations de proximité qui sont à la base des échanges marchands ou non marchands. Les usages du mesurage sont très anciens et liés à l'expérience sensible, au bon sens et aux pratiques quotidiennes.

Qu'est-ce qu'un métrologue et quelles sont ses principales qualités ? – Synthèse -

Dans l'ensemble, le métrologue est quelqu'un à qui l'on peut faire **confiance** car si ses résultats de mesure ne lui semblent pas cohérents, il cherchera par tous les moyens à savoir ce qui ne va pas et il recommencera ses mesures autant de fois qu'il lui sera nécessaire. « *Une des caractéristiques essentielles d'un métrologue c'est que l'on ait confiance dans ses résultats.* »¹⁰⁹ « Mesurer, c'est comparer », le métrologue transmet à d'autres des mesures comparables. « *Une fois que le métrologue a fait ses mesures correctes, il doit faire en sorte que ces résultats soient compréhensibles pour les utilisateurs ultérieurs.* »¹¹⁰

« Le métrologue est un spécialiste qui consacre ses activités à l'ART du MESURAGE, c'est-à-dire à la recherche de la démarche quantitative adéquate permettant d'observer et apprécier expérimentalement, avec objectivité, avec circonspection et avec rigueur – en conformité avec des étalons de référence – les phénomènes qui nous entourent et qui se manifestent. Cette démarche est impérativement nécessaire à toute prise de connaissance, à toute prise de décision, à tout passage à l'acte dans des conditions optimales. »¹¹¹

Les qualités d'un métrologue

Dans un sondage auprès de 17 métrologues, la rigueur est sans aucun doute la qualité professionnelle première. Ensuite, l'honnêteté vient en deuxième position. L'esprit critique vient en troisième, le sens de la responsabilité en quatrième, acquérir la notion d'incertitude en cinquième position. Cinq autres métrologues, après la rigueur, privilégient le doute perpétuel, l'honnêteté scientifique et l'humilité en tant que qualités du métrologue.

Les caractéristiques de la métrologie

La nécessité de définition

¹⁰⁸ Marc Himbert, Conférence Conférence de l'Ecole doctorale PROMEN NANCY 12-13 mai 1997 publiée dans « Récents progrès en Génie des Procédés » 1997

¹⁰⁹ EM1

¹¹⁰ EM1

¹¹¹ EM7

La métrologie oblige ses praticiens à définir ce qu'il font. A à la base de la métrologie, il y a une exigence de « *définition* »¹¹². La métrologie nécessite de définir ce que l'on mesure, afin « *de donner des résultats sous forme comparable* »¹¹³.

La question métrologique n'est pas de définir parfaitement un objet et un dispositif de mesurage parfait « *mais de le définir en incorporant dans le processus toutes les faiblesses que l'on ne peut pas éviter.* »¹¹⁴

Les qualités de la métrologie

Pour les métrologues qui ont participé au recueil des données, la métrologie est **Objective**. Ensuite elle est **universelle et repose sur la confiance. Elle est ingrate, coûteuse en temps et en efforts et incertaine**. Elle est **neutre**.

L'évolution de la métrologie

Plusieurs métrologues s'expriment sur le sujet. Les évolutions récentes en métrologie sont d'ordres divers. Les unes sont celles de la métrologie scientifique, les autres de la métrologie légale et encore celles liées à l'élargissement de la culture métrologique et des pratiques de mesure de haute exactitude dans l'industrie et les métiers.

La métrologie bénéficie des avancées scientifiques dans les domaines tels que ceux de la physique quantique, de l'électronique ou de la photonique. Elle profite des performances des lasers, de la fibre optique et des micro-processeurs. La dématérialisation des unités de mesure est aussi un grand changement car, si « *les unités du SI sont de plus en plus précises elles sont également de plus en plus loin de "l'utilisateur final"* ». ¹¹⁵

Un problème majeur reste celui du calcul des incertitudes. Et celui de transmettre aux entreprises des connaissances et des pratiques métrologiques qui leur sont utiles mais qu'elles trouvent difficiles à mettre en œuvre.

L'exigence des réglementations et l'application de normes métrologiques se développent au niveau européen et international. Ceci nécessite d'élargir et de consolider la fonction «métrologie» des entreprises (en interne et en relation avec les chaînes d'étalonnage). De cet élargissement de la fonction «métrologie» dans les entreprises, il résulte un transfert de compétence depuis les laboratoires métrologiques vers les entreprises. Les métrologues

¹¹² EM1

¹¹³ EM1

¹¹⁴ EM02

¹¹⁵ EM4

scientifiques en sont conscients. Ils sortent des laboratoires et aident et conseillent les entreprises sur leur problèmes de mesure et de métrologie en France et à l'étranger. La métrologie des laboratoires et celle de l'industrie et des entreprises n'ont pas un même environnement. Ceci pose souvent des problèmes, entre autres, celui de la nécessité d'étalonner les instruments de mesure sur site.

Avant, c'est-à-dire il y a quelques années, les métrologues scientifiques et d'entreprises avaient un même bagage intellectuel ou presque, se connaissaient et se faisaient mutuellement confiance. Ils affinaient ensemble « *les détails techniques pour satisfaire au mieux leurs besoins de précision.* »¹¹⁶ Aujourd'hui le développement de la fonction métrologique de l'entreprise semble parfois remettre en cause cette culture métrologique commune de proximité basée sur la reconnaissance et la confiance. La reconnaissance de compétences diffère et nécessite une vigilance accrue de la part des auditeurs de la qualité. Des actions de transfert de connaissance, de savoir-être et de savoir-faire se multiplient.

Les métrologues les plus anciens, ayant entre 20 et 35 ans de métier et plus, sont unanimes sur le fait qu'une nouvelle population de métrologues professionnels apparaît.

« Il y a plusieurs modèles de métrologues. Ceux que j'appellerais de l'ancienne mode qui sont essentiellement des gens d'une patience inépuisable. »¹¹⁷

« Il y a quelques années avec le système et la mise en place des systèmes d'assurance qualité, il est apparu des métrologues qui étaient complètement différents de ceux que j'avais connu avant. Ces métrologues là voulaient et veulent obtenir une accréditation mais en général ils n'ont pas encore fait leurs preuves de métrologie. Ce qui fait que l'on se retrouve à évaluer en même temps les métrologues et les systèmes d'accréditation. C'est complètement nouveau. »¹¹⁸

« On s'aperçoit que l'on commence à avoir deux types de métrologues, ceux qui sont capables de faire des étalonnages dans un milieu contrôlé et contrôlé par d'autres qu'eux-mêmes et ceux qui sont capables d'aller dans les entreprises pour voir ce qui s'y fait réellement et d'être capables de faire des étalonnages sur site et là on se rapproche ici de la mesure industrielle. »¹¹⁹

Avant

Avant que la métrologie ne devienne nécessaire dans la quasi-totalité des entreprises, les métrologues de laboratoire comme l'exprime G.B se devait « *de faire la plus belle métrologie*

¹¹⁶ EM1

¹¹⁷ PG EM2

¹¹⁸ GB E.M1

¹¹⁹ GB E.M1

*possible sans se préoccuper vraiment des incidences sur le milieu industriel. »*¹²⁰ Seules les très grandes entreprises notamment celles de l'armement entretenaient des laboratoires de métrologie qui se rattachaient aux chaînes d'étalonnage universelles.

Les métrologues d'entreprises et ceux des laboratoires se connaissaient. Un métrologue, responsable d'un laboratoire du BNM pratiquant la métrologie depuis plus de 35 ans de métier dit : *« on savait ce qu'ils avaient fait, ce qu'ils avaient publié, on les considérait comme des scientifiques et on savait qu'ils étaient bon. »*¹²¹

Maintenant

Avec la mise en place des réglementations liées à la traçabilité des produits, l'environnement, la sécurité alimentaire, chimique ou nucléaire par exemple et le développement des certifications et de l'assurance qualité, la métrologie entre de plus en plus largement dans les entreprises. Les métrologues scientifiques sortent des laboratoires pour aider les industriels. Ils viennent en aide particulièrement à ceux qui veulent se faire accréditer. Ils les accompagnent lors de l'adaptation de leurs dispositifs de production aux spécificités nouvelles exigées par le cadre législatif et réglementaire des marchés mondiaux, européens ou nationaux. Cependant lorsqu'un laboratoire d'entreprise demande à être certifié, il n'a pas forcément le personnel nécessaire. Et il semblerait même que certaines entreprises ne cherchent à obtenir une certification que pour l'aspect commercial qui en découle sans chercher à se servir des dispositifs métrologiques nouvellement et volontairement développés pour améliorer ses procédés de fabrication !

Certains métrologues s'indignent contre ce qui pour eux est une perversion de l'esprit métrologique. Un métrologue expérimenté pose la question : *« Combien d'entreprises utilisent les certificats d'étalonnage pour appliquer les corrections ? Quand un instrument a besoin d'être étalonné, l'auditeur qualité demande à ce que lui soit présenté le certificat d'étalonnage, c'est bien, mais l'auditeur devrait aussi regarder si ce certificat d'étalonnage est utilisé ! »*¹²²

L'incertitude de mesure

Tous les métrologues le disent : un résultat de mesure sans incertitude associée n'est pas un résultat de mesure !

¹²⁰ BG E.M1

¹²¹ BG E.M1

¹²² GB EM1

« De nombreuses causes d'erreur viennent affecter le résultat brut d'un mesurage : la grandeur mesurée elle-même est parfois mal définie, varie dans le temps, ou l'espace, ou bien est affectée par le procédé de mesure ; les capteurs et instruments utilisés présentent le cas échéant des défauts ; le mode opératoire utilisé introduit des erreurs ; de nombreuses "grandeurs d'influence" caractérisant les conditions d'ambiance influent sur le résultat... Il faut introduire des corrections pour compenser ces erreurs. Ce résultat n'est pas une valeur certaine: il est issu de résultats présentant une certaine dispersion, et de plus il existe une certaine méconnaissance de la valeur de chaque correction individuelle, donc de la correction totale. Une fois prises en compte toutes ces causes d'erreur, on appelle incertitude de mesure le paramètre associé au résultat qui caractérise la dispersion des valeurs numériques et qui peut être, raisonnablement, attribuée au mesurande¹²³. »¹²⁴

« Chaque mesure est polluée par quelque chose qui n'est pas toujours évident à imaginer. L'étude critique du processus de mesure est toujours très difficile même dans les processus de mesure (ou qui paraissent les plus simples), il y a des phénomènes polluants dont la contribution à l'incertitude est quelquefois très difficile à évaluer. »¹²⁵

L'incertitude de mesure résulte du fait qu'un résultat de mesure est entaché d'erreur. Pour calculer le plus justement possible l'incertitude de mesure, l'opérateur de mesure doit définir un ensemble des paramètres d'influence qui peuvent modifier l'objet mesuré et les résultats du dispositif de mesure. C'est pourquoi l'opération de mesure nécessite de définir ce que l'on mesure, avec quel instrument ou dispositif de mesure, dans quelles conditions d'utilisation, en prenant également en compte l'opérateur lui-même. Entrent dans le calcul d'incertitude de nombreux paramètres d'influence.

Les laboratoires de métrologie sont en condition de minimiser les paramètres d'influence.

« Quand on compare deux thermomètres dans un bain déterminé, on s'est débrouillé pour que ce bain soit bien homogène, bien stable pour que l'on utilise un même instrument pour mesurer l'un et l'autre instrument. Les instruments sont immergés de la même façon pour que l'incertitude soit la plus faible possible. Dit autrement, on a mis en place un système où les corrélations jouent de telle façon que l'on a un système d'étalonnage robuste. Si on fait une erreur, elle est reproduite de même façon sur les instruments ce qui fait que d'une certaine manière l'erreur disparaît. Même si mon bain n'est pas à la bonne température, utilisé pour les deux instruments, l'étalonnage sera correct. Et donc on voit que la caractéristique d'un laboratoire d'étalonnage c'est de s'être affranchi des paramètres d'influence. »¹²⁶

Les entreprises, par contre, utilisent leurs instruments de mesure dans des conditions totalement différentes de celles des laboratoires. Un métrologue de laboratoire explique les

¹²³ On appelle mesurande, m une grandeur particulière soumise à un mesurage. Exemple : pression de vapeur d'un échantillon donné d'eau à 20 ° (extrait du VIM § 2.6 – p. 20.)

¹²⁴ Marc Himbert

¹²⁵ PG EM2

¹²⁶ EM1

conditions de la métrologie sur site, en entreprise :« *Nous ne sommes pas maître du démarrage du tour, de la mise en route de l'ascenseur qui passe à côté, de l'humidité ou de l'eau qui environne tous les instruments de mesure. Nous sommes obligés de faire avec.* »¹²⁷

De ce fait les calculs d'incertitude s'avèrent parfois très complexes pour les métrologues d'entreprise même si leurs instruments sont raccordés à une chaîne d'étalonnage robuste.

« Et là d'un seul coup, on touche un des problèmes essentiels des industriels qui apparaît depuis quelques années. En fait ce qu'il faut pour améliorer les processus industriels ce sont les mesures et non pas les étalonnages ! Dans le domaine des températures par exemple, l'incertitude d'étalonnage sur le capteur, ce n'est rien du tout à côté des paramètres d'influence. »¹²⁸

L'incertitude et le métrologue

« Pour lui l'incertitude fait partie de la règle du jeu et c'est une partie fondamentale surtout au Bureau international des poids et mesures où l'on est sensé procurer des étalons à tous les pays qui en ont besoin. »¹²⁹

« Pour toute mesure, il est nécessaire d'avoir un schéma que l'on doit respecter mais à mon avis cette approche théorique n'est pas suffisante, elle doit s'alimenter de scepticisme et d'un scepticisme inépuisable. C'est-à-dire même pour une mesure que l'on a faite et refaite, on n'est jamais sûr de ne pas avoir oublié quelque chose dans un petit coin. »¹³⁰

¹²⁷ EM1

¹²⁸ MH

¹²⁹ EM2

¹³⁰ E.M02

Les étalonnages et le raccordement métrologique

L'étalonnage des instruments de mesure est une obligation réglementaire pour les entreprises certifiées mais aussi pour toutes celles des domaines réglementés par des dispositifs de normalisation obligatoires, par exemple la distribution d'eau potable.

« Mesurer a aussi pour finalité d'asseoir les résultats de mesure sur des bases reconnues sans équivoque par plusieurs partenaires, que ce soit à des fins scientifiques, commerciales, ou d'expertise légale. Cela nécessite l'existence de références dont les caractéristiques sont clairement établies. Ce peut être la référence de travail d'un établissement ou d'un laboratoire, périodiquement étalonnée, par comparaison (à nouveau !) à une référence d'incertitude plus faible, c'est-à-dire située à un niveau plus élevé dans ce qu'on appelle la hiérarchie d'une chaîne d'étalonnage.

Au sein de cette hiérarchie, les comparaisons sont entreprises selon des méthodes et des procédures de plus en plus élaborées et contraignantes. Le stade ultime de la hiérarchie nationale est la matérialisation dite primaire des unités les plus fondamentales permettant d'accéder à la grandeur. Il n'est plus question alors d'étalonnage, mais de mise en pratique de la définition de l'unité. Seules des inter-comparaisons effectuées entre des montages indépendants permettent de préciser l'incertitude, on dit l'exactitude de réalisation. Le Bureau National de Métrologie est en France le garant de la traçabilité des mesures »¹³¹

Les métrologues mettent donc au point des chaînes d'étalonnage internationales où viennent se raccorder les utilisateurs de différents domaines. Dans les laboratoires, un maximum de paramètres d'influence peuvent être stabilisés. Les calculs d'incertitude se font dans des conditions d'optimisation. Ceci est important car les laboratoires sont responsables de la solidité des chaînes d'étalonnage par le raccordement à des étalons traçables et stables. « *Une des caractéristiques essentielles d'une chaîne d'étalonnage est d'être robuste.* »¹³²

La solidité des chaînes d'étalonnage repose aussi depuis plusieurs années sur la multiplication des comparaisons inter-laboratoires. Ces comparaisons internationales demandent la mise en place de protocoles et une discipline spécifique afin de pouvoir comparer des résultats entre eux.

« Comparer des mesures faites dans différents pays nécessite de les faire sur des objets comparables. Il y a toute une discipline à mettre au point qui consiste à comparer des objets comparables, à les manipuler de façon comparable, de donner des résultats sous forme comparable. Il y a donc tout un corps de discipline à formaliser. »¹³³

Le rapport entre confiance et métrologie

Je rapporte les avis des métrologues sur cette question qui lie la confiance et la métrologie :

¹³¹ Marc Himbert

¹³² EM1

¹³³ EM2

« Les liens entre confiance et métrologie sont particulier : on lie une mesure (la métrologie) à une qualité (la confiance), donc du quantitatif est lié au qualitatif, ce qui correspond à une problématique scientifique peu courante. »¹³⁴

« L'art de la métrologie c'est de donner confiance dans des mesures qui par définition sont incertaines. C'est aussi l'art d'adapter, quand c'est possible, l'incertitude aux besoins de l'utilisateur pour qu'il puisse avoir confiance dans un résultat adapté à ce qui lui convient. »¹³⁵

« Les pseudo-experts se méfient souvent des métrologues (qui risquent d'ébranler leurs certitudes). La métrologie est parfois subversive. »¹³⁶

« Pour que cette confiance en la métrologie soit justifiée, il est en plus nécessaire d'avoir confiance :

- dans l'impartialité de la source d'informations métrologiques
- sur l'expérience des échanges avec l'auteur des informations métrologiques
- accepter d'avoir confiance (nombre de personnes refusent a priori d'avoir confiance dans des organismes et n'accordent crédit qu'aux mesures qu'ils effectuent eux-mêmes, parfois (souvent) avec moins de compétence.)¹³⁷

« La métrologie sert à avoir confiance et à inspirer confiance dans les résultats de mesures et les résultats d'essais, afin d'utiliser ces résultats pour prendre des décisions dans les meilleures conditions. »¹³⁸

« La métrologie est ce qui permet de rétablir la confiance lorsqu'il y a divergence d'appréciation. C'est aussi ce qui permet de faire confiance à un fournisseur, même éloigné, lorsqu'on sait qu'il est raccordé aux chaînes d'étalonnage pertinentes et qu'il respecte correctement les spécifications. »¹³⁹

La métrologie pour tous, oui, mais que transmettre ?

La réunion a eu lieu en 23 mars 2000, dans la salle de lecture de l'Institut national de Métrologie et a duré une heure. Six métrologues ont participé à la rencontre dont l'objet était de discuter cette question. Les réponses sont condérées comme des indicateurs de tendance.

D'un avis général, dans les classes du primaire, les élèves devraient savoir d'où vient la métrologie et à quoi elle sert. Il faudrait leur montrer d'où est issue et en revenant aux origine pourquoi elle est telle qu'elle est aujourd'hui. L'histoire de la mesure est importante pour montrer l'intérêt universel de la métrologie, car d'une manière ou d'une autre, elle existe partout dans le monde.

¹³⁴ BDL

¹³⁵ JB

¹³⁶ JM

¹³⁷ JM

¹³⁸ MH

¹³⁹ TG

En partant de l'expérience, il faudrait raccorder les mesures avec la réalité et le quotidien, c'est-à-dire faire mieux comprendre aux enfants que dans leur vie de tous les jours ils ne peuvent pas se passer de mesure. On peut aborder la mesure du quotidien de façon pragmatique (exemple : la pesée au supermarché) et raccorder ce quotidien à ce que les élèves apprennent de façon plus théorique.

Il faudrait que les enfants comprennent que la mesure est une question de comparaison. Il serait donc intéressant de commencer la sensibilisation par la comparaison et ensuite introduire la notion de métrologie, c'est-à-dire comparer un résultat à un étalon dont on connaît la valeur. Il devient nécessaire d'introduire la notion d'incertitude et d'erreur de mesure, en donnant par exemple un même objet à mesurer à plusieurs élèves et en les aidant à réaliser un bilan des causes possibles d'incertitude¹⁴⁰. Il faudrait montrer aux élèves que la métrologie est une science vivante et qu'elle évolue.

À la fin du cycle primaire, sans amener les élèves à définir les unités, il serait nécessaire qu'ils connaissent bien les unités et qu'ils soient capables d'exprimer une longueur en mètre, (m), un temps en seconde, (s). Etc. Au collège, les élèves devraient commencer à aborder la métrologie avec une sensibilisation à l'incertitude de mesure¹⁴¹ (pendant les travaux pratiques). Pour les élèves de BEP ou CAP, il serait nécessaire de développer leur intérêt pour la métrologie par des bases solides et pragmatiques, sans calculs savants. Il serait important que tous les futurs professionnels comprennent qu'il faut s'assurer que l'indication que donne un appareil de mesure est une valeur vraisemblable et qu'une indissociable incertitude est liée au résultat de mesure. Enfin il faudrait vérifier et mettre à jour les définitions des manuels scolaires et ceux des apprentissages.

¹⁴⁰Les amener à considérer la pratique des 5 M – c'est-à-dire considérer que l'incertitude de mesure peut provenir de la Main d'oeuvre, de la Méthode, du Moyen, de la Matière et du Milieu.

¹⁴¹et d'intervalle de confiance

Sensibiliser le public

Plus qu'une meilleure connaissance des grandeurs fondamentales, il faudrait que les gens se posent la question de la justesse de leur instrument de mesure, soit être en mesure de valider raisonnablement un résultat donné par un instrument de mesure. La sensibilisation du public devrait réveiller une sorte de doute face à l'idée que ce qui est écrit est vrai. C'est prendre conscience que ce qui est écrit sur un écran est une information traitée par plusieurs dispositifs de mesure électroniques, des capteurs et d'autres appareils, que tout cela peut changer, dériver, rencontrer des problèmes annexes, comme le fait que les piles de l'appareil peuvent être déchargées, etc. Ceci est d'autant plus vrai que les résultats de mesure donnés par les appareils sont de plus en plus souvent affichés sur un écran. Sensibiliser aussi le public aux incertitudes de mesure et au concept de mesures traçables.

Conclusion des entretiens avec les métrologues

Les métrologues mettent en évidence de profonds changements entre un « avant » où la métrologie sortait peu des laboratoires et un « maintenant » où elle se développe de plus en plus dans toutes les activités de la société. La fonction métrologique d'entreprise, allant en s'amplifiant, nécessite une mobilisation des métrologues scientifiques qui doivent à la fois assurer une part des transferts de compétences vers les industriels mais aussi transmettre des savoir-être. « *Etre métrologue, c'est d'une certaine manière plus une manière d'être que quelque chose qui s'apprend.* »¹⁴² La confiance dans les échanges métrologiques ne peut se perpétuer que si les « nouveaux » professionnels acquièrent des qualités spécifiques liées à la culture métrologique. Parmi ces qualités, la rigueur est première, mais aussi l'honnêteté et le sens des responsabilités sont essentiels. Les métrologues posent la question de la difficulté réelle des entreprises pour répondre aux exigences métrologiques. Le calcul d'incertitude reste un souci, même pour des métrologues expérimentés. Dans les laboratoires du BIPM ou du BNM, les professionnels agissent sur leur environnement pour réduire fortement les paramètres d'influence. Ce problème de calculs d'incertitude de mesure plus complexe dans les entreprises où les paramètres d'influence sont plus nombreux et moins connus et maîtrisés que dans les laboratoires de métrologie scientifique. Enfin, tous les métrologues rencontrés sont conscients de la nécessité de transmettre une culture et des savoir-être métrologiques de base.

¹⁴² EMI

Conclusion générale des entretiens

Les entretiens que nous avons présentés montrent clairement que la perception du mot « métrologie » est parfois inexistante jusqu'à être confondu avec « météorologie » quand ce n'est pas avec « la science des transports urbains ».

La métrologie peut être floue ou inexprimée (comme ce fabricant de fromages découvrant au cours de l'entretien qu'il fait bien plus de mesure qu'il ne le pensait), voire réduite à quelques notions squelettiques (le système métrique).

Elle est très variable selon les personnes interrogées. Mais, et cela sera très important pour la suite de notre travail, cette variation de l'interprétation du mot ne se fait pas au hasard. Elle est liée à la situation objective où se trouvent les différents interlocuteurs.

Ainsi, pour les industriels interrogés, la mesure est une activité permanente, qui peut mobiliser pour la fabrication plus de la moitié des effectifs de l'établissement. Elle est utile pour s'assurer que l'on ne s'éloigne pas des spécifications prévues, ni des tolérances acceptables. Cette attitude correspond à la situation objective où se trouve l'entreprise. Son rôle est de transformer la matière pour satisfaire ses clients. Pour elle l'univers de référence est constitué, d'une part d'un produit idéal, et de l'autre de matériaux indisciplinés et de machines approximatives. Le métier de l'entreprise est d'obtenir un produit réel qui s'approche autant que possible du produit idéal sans jamais arriver à l'atteindre. Bien plus, il est de gérer un compromis, car la grande précision coûte cher et les défauts de qualité encore plus. Dès lors, on comprend pourquoi les industriels arrivent très vite à la notion d'incertitude, aux calculs d'approximation, même lorsqu'ils opèrent dans des techniques classiques, telles que la menuiserie ou la fabrication de tuyaux plastiques.

Certaines entreprises travaillent au micron, d'autres au dixième de millimètre, d'autres au millimètre seulement, mais tous parlent le même langage : celui de l'incertitude et de l'effort nécessaire pour se conformer aux spécifications. Les professionnels signalent que la métrologie a beaucoup progressé dans les entreprises pendant les dix dernières années sous l'influence des normes selon ISO et de l'informatique.

La situation des enseignants est autre. Leur discours reflète, là encore, les caractères particuliers de leur situation. Pour eux, le mot métrologie évoque la connaissance des unités, celles du système métrique décimal d'abord, et aussi les unités anglo-saxonnes et les difficultés de conversion qu'elles posent. Ils regrettent que le système métrique ne soit plus enseigné dans le primaire et que les élèves ignorent les ordres de grandeur usuels. Ils trouvent ce qu'on leur demande d'enseigner trop « abstrait », en ce sens qu'il présente pour acquis des

chiffres dont on n'apprend pas à vérifier comment ils ont été obtenus (enseignant d'économie). La notion d'incertitude est très peu présente dans leur discours, alors qu'elle revient constamment dans celui des industriels. On ne peut se défendre de l'impression que les enseignants subissent et regrettent une dérive cléricale (ou dogmatique) de l'institution scolaire, en ce sens que les résultats y sont présentés comme des certitudes.

Pour mieux faire comprendre le contraste entre l'approche des industriels et celle des enseignants, supposons, pour fixer les idées, un objet simple, par exemple une petite cale cylindrique en acier de 2 cm de diamètre et de 0,5 mm d'épaisseur. L'industriel la verra comme un solide approximatif, se demandera avec quelle précision elle a été usinée, et qu'est-ce qu'il lui faudrait comme outil pour la reproduire avec une tolérance correcte. L'enseignant la verra au contraire comme un cylindre parfait, incarnation contemporaine de l'archétype platonicien du cylindre, et se demandera avec quoi il pourrait le mesurer. La mesure étant là pour détecter la forme théorique qu'il représente, laquelle est prioritairement objet d'enseignement. Cependant les enseignants dénoncent les difficultés et déplorent un enseignement qui accentue la distance entre l'abstrait et le sensible. Enfin les métrologues scientifiques qui sont au cœur de l'activité métrologique internationale. Ils partagent ici une culture métrologique et s'expriment sur leur métier. En valorisant ici quelques-unes des paroles d'enseignants, d'industriels et de métrologues, il faut en convenir et pour plagier Petit, je dirais que « *tout n'est pas dit, il s'en faut bien, mais je crois qu'il y a assez de choses pour remplir mon objet* » :¹⁴³ Celui étant de poser des bases, même modestes, d'un nouveau mouvement de réduction en art. Hélène Vérin fait l'hypothèse que « *la réduction en art constitue un paradigme de la connaissance, c'est-à-dire que l'on peut y repérer un modèle qui structure des pratiques de connaissance identifiables* ».¹⁴⁴

La réduction en art, à toutes les époques où elle apparaît et se développe, tente de rendre intelligibles et utiles au plus grand nombre, des connaissances et des savoir-faire d'un art ou d'une science. « *en vue du bien général.* »¹⁴⁵

¹⁴³ R. Petit. *Opus cit*, p.2

¹⁴⁴ Hélène Vérin, "Généalogie de la "réduction en art" Aux sources de la rationalité moderne" In Les nouvelles raisons du savoir Prospective de la connaissance Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 2002, p. 34

¹⁴⁵ Hélène Vérin, *Opus cit* p.29

L'ÉCOLE ET LA MESURE

Lien entre école et métrologie

D'après les documents historiques étudiés, **il semblerait qu'un lien indissociable existe à l'origine entre la métrologie et l'enseignement.** Il semblerait même qu'à chaque changement de système métrologique, apparaisse aussi un changement scolaire. Ainsi Charlemagne unifie les mesures et développe l'école. La Révolution française institue le système métrique décimal et contribue au développement de l'école pour tous. Cette concomitance n'est sans doute pas le fait du hasard, mais il reste à découvrir ce qui détermine cette co-évolution de la mesure et de l'enseignement. C'est à l'aune de l'usage quotidien qu'il faut comprendre ces évolutions par-delà les différences de culture ou même en surmontant l'éloignement dans le temps et l'espace. Des exercices scolaires de comptabilité d'élèves, apprentis ou étudiants ont été retrouvés sur des tablettes d'argile mésopotamiennes. Les Mésopotamiens étaient comptables et bons commerçants. Ils étaient aussi des enseignants. Il existait un enseignement du calcul et de la mesure, au moins pour les apprentis scribes. Jim Ritter dans sa conférence à l'Université de Tous les Savoirs (UTL) en l'an 2000 montra une tablette d'argile qui était à l'origine un exercice d'arithmétique scolaire, dont les résultats par ailleurs étaient faux.

«A peu près 85 % des 3900 tablettes trouvées à Uruk [en Mésopotamie] sont des textes de comptabilité, les 15 % restants sont des listes de signes, groupés par thèmes (nom des professions, villes, plantes, etc.), et utilisées dans l'enseignement. »¹⁴⁶

Ce que l'on sait de la métrologie mésopotamienne, par les collections de poids et l'abondance des documents comptables, est le plus souvent lié à l'activité commerciale. La situation de la Mésopotamie, entre la Méditerranéenne et l'Inde, et sa fertilité génèrent des surplus agricoles, qui sont des facteurs favorables au développement des échanges. Or, les outils de l'échange ne sont-ils pas l'écriture (pour prendre acte des transactions et des droits de propriété), la mesure (pour s'entendre sur les termes de l'échange) et l'école (pour perpétuer et unifier les pratiques) ? On pourrait y ajouter aussi les tribunaux saisis des litiges commerciaux. Il y a donc quelques raisons de supposer qu'en Mésopotamie, la concomitance de l'invention de l'écriture, de la mesure, de l'école et du judiciaire (le code d'Hammourabi) sont en quelque sorte une **conséquence du développement de la pratique des échanges**, laquelle imposait progressivement les nécessités de sa régulation par **le respect d'une métrologie commune.**

¹⁴⁶ Jim Ritter. "Les nombres et l'écriture" in *Qu'est ce que L'univers ?* Yves Michaud, Sous la direction de. UTLS. Tome 4., Paris O. Jacob, 2001 P.118

Les Egyptiens n'étaient pas commerçants, néanmoins ils avaient leurs écoles. Ils étaient de remarquables artisans, leurs monuments l'attestent. Les mesures d'usage dans les métiers étaient donc enseignées. On peut supposer que cette transmission se faisait sous forme « compagnonique », c'est-à-dire dans le cercle restreint des professionnels, lesquels constituaient un sous-ensemble fortement personnalisé, comme le laissent supposer les fouilles du village des artisans de la Vallée des Rois.

L'Europe, carrefour d'échanges entre le Nord et le Sud, entre l'Est et l'Ouest, présente plus d'analogie avec la Mésopotamie qu'avec l'Egypte.

Charlemagne, Henri II, les législateurs républicains, tous à l'origine d'une unification des poids et mesures, songent aux moyens de faire savoir aux populations que les règles métrologiques changent dans l'espace métrologique commun. Lors des grandes unifications métrologiques, l'école est chargée de diffuser les nouvelles mesures. Les populations sont concernées par le changement de systèmes de valeur de mesures dont ils vont se servir au quotidien.

À la Révolution, les nombreuses propositions d'uniformisation des poids et mesures incluent les moyens de « rendre familier l'usage de ces poids et de ces mesures »¹⁴⁷. Réciproquement les projets concernant l'instruction présentée en nombre à l'Assemblée nationale à partir de 1790 incluent la pratique de la mesure. Les projets et plans diversement nommés « Instruction publique », « Education publique » ou « Education nationale » prévoient un enseignement du calcul, du mesurage, du toisé ou de l'arpentage (pour les garçons en premier lieu).

Enseignement de la nouvelle mesure

« Il faut apprendre à lire au peuple, à écrire et à compter – c'est la formule consacrée qui revient dans tous les projets. Mais pas à lire n'importe quoi – déjà l'abécédaire introduira l'enfant dans l'univers pur et transparent de la morale républicaine. De même, pas à compter n'importe quoi. Avec l'introduction du nouveau système des poids et mesures et l'instauration du nouveau calendrier, il s'agit d'initier les masses aux calculs impliqués par ces deux institutions républicaines chargées elles-mêmes des fonctions éducatives. [...] »¹⁴⁸

Les *Observations du Comité royal d'agriculture sur l'unification des poids et mesures*¹⁴⁹ présentées à l'Assemblée nationale par Tillet et Abeille le 6 février 1790 rappelle cette double

¹⁴⁷ Observations de la Société royale d'agriculture sur l'uniformité des Poids et mesures. Opus cit,

¹⁴⁸ Bronislaw Baczo. Une éducation pour la démocratie Textes et projets de l'époque révolutionnaire. Ed. Droz, Genève, 2000, p. 28

¹⁴⁹ "Observations de la Société royale d'agriculture sur l'uniformité des Poids et mesures", *Archives parlementaires*, Opus Cit., Tome 11, p. 467

nécessité : l'unification métrologique, c'est à la fois déterminer des poids et des mesures et créer les conditions de la diffusion et de l'adoption de ces mesures par les populations.

«Les difficultés à vaincre, pour remplir un si vaste projet, [l'unification des poids et mesures en France] sont de deux espèces : la détermination des poids et mesures qu'il serait le plus utile d'adopter, et le choix **des moyens propres à rendre familier l'usage de ces poids et de ces mesures**. Il paraît que c'est sous ce double rapport que la proposition dont il s'agit, doit être examinée.»¹⁵⁰

Talleyrand présente à l'Assemblée nationale sa *Proposition sur les poids et les mesures, faite à l'Assemblée nationale* le 9 mars 1790. Il propose des moyens de diffusion.

«Il est seulement une difficulté qu'il importe d'éclaircir, et dont la solution est une partie même du projet : celle qui est fondée sur les obstacles qu'on rencontrerait en voulant introduire tout à coup, dans toute l'étendue du royaume, une multitude de mesures nouvelles et de poids différents, soit que l'on conservât les anciens noms, soit que l'on se crût obligé d'en changer. Il n'est point douteux que, quoique parfaites que fussent ces mesures, leur introduction subite et inattendue ne produise du désordre. [...]Mais, poursuit-il, pourtant que l'on ne pense pas qu'une telle résistance nécessite de bien grands efforts. Des moyens simples, prudemment aménagés, de la patience dans l'exécution, **surtout une instruction claire qui pénétrera doucement tous les esprits**, doivent suffire pour opérer un changement qui n'est au reste que ce que vous avez déjà fait. [...]»¹⁵¹

Talleyrand propose de comparer les mesures locales aux mesures nouvelles et de réaliser des « instructions » et des tables de conversion qui seront largement distribuées dans toute la République.

« Il sera envoyé de nouveaux étalons à toutes les municipalités avec **des instructions** qui feront sentir la nécessité d'une réforme à cet égard, et **auxquelles seront jointes des tables imprimées** [...]. Dans ces tables se trouveront les rapports exacts de toutes les anciennes mesures avec les nouvelles.»¹⁵²

¹⁵⁰ Observations de la Société royale d'agriculture sur l'uniformité des Poids et mesures, *Archives parlementaires*, Opus Cit., Tome 11, p. 467.

¹⁵¹ Talleyrand, Proposition sur les poids et les mesures faite à l'Assemblée nationale en séance du 9 mars 1790. *Archives parlementaires*. Opus Cit., T. XII. P. 107.

¹⁵² Talleyrand. *Opus cit*, p. 107.

L'Assemblée nationale Constituante en séance du 8 mai 1790 :

« Décrète en outre que **ces livres élémentaires seront adressés à la fois dans toutes les municipalités pour y être répandus et distribués**; qu'en même temps, il sera envoyé à chaque municipalité un certain nombre de nouveaux poids et mesures, lesquels seront délivrés gratuitement par elles à ceux que ce changement constitueroit dans des dépenses trop fortes; enfin, que six mois seulement après cet envoi les anciennes mesures seront abolies et remplacées par les nouvelles. »¹⁵³

Mirabeau introduit l'art de la mesure dans ses plans d'éducation publique : « *Travail sur l'Education publique trouvé dans les papiers de Mirabeau l'aîné, et publié par P.J.G. Cabanis* »¹⁵⁴ en 1791.

« Art. 4 – [...] Le maître d'école sera autorisé à recevoir une rétribution de ses élèves : il enseigne à lire, écrire, calculer, et même s'il est possible **à lever des plans et arpenter.** »¹⁵⁵

Les 10, 11 et 19 septembre 1791

Au nom du Comité de constitution, un projet de loi sur l'instruction publique est présenté par Talleyrand du Périgord, rapporteur.

Dans les écoles primaires, il sera enseigné :

« 1° Les principes de la langue nationale, soit parlée, soit écrite, ; car le premier besoin social est la communication des idées et des sentiments. Les règles élémentaires du calcul seront placés presque en même rang, puisque **le calcul est aussi une langue abrégée** dont les rapports inévitables de la société rendent à tous l'usage nécessaire. **Il faut joindre celle du toisé qui est l'application du calcul à la mesure** des héritages et des bâtiments, objets de l'intérêt journalier des citoyens, et par rapport auxquels les lumières générales peuvent prévenir ou terminer la plupart des contestations qui les divisent. »¹⁵⁶

Les 20 et 21 avril 1792

Condorcet présente à l'Assemblée législative, au nom du Comité d'instruction publique, un projet de décret sur l'organisation de l'Instruction publique.

« ART. 1^{er} - Dans les Ecoles primaires des campagnes, on apprendra à lire et à écrire; **on y enseignera les règles de l'arithmétique, les premières connaissances morales, naturelles et économiques, nécessaires aux habitants des campagnes.**

¹⁵³ Extrait du Décret de l'Assemblée nationale du 8 mai 1790 *Opus cit.*

¹⁵⁴ Législation de l'Instruction primaire en France de 1789 jusqu'à nos jours. P. 7

¹⁵⁵ Législation de l'Instruction primaire. *Opus cit.*, p. 8

¹⁵⁶ Bronislaw Baczo. *Opus Cit.*, p. 128.

ART. 2 – On enseignera les mêmes objets dans les Ecoles primaires des bourgs et des villes ; mais on insistera moins sur les connaissances relatives à l’agriculture, et davantage sur **les connaissances relatives aux arts et au commerce.** »¹⁵⁷

Le 13 juillet 1793

Le Plan d’éducation nationale de Michel Le Pelletier¹⁵⁸ est présenté à la Convention nationale par Maximilien Robespierre :

« ART. 11 - Les garçons apprendront à lire, écrire, compter, et il **leur sera donné les premières notions de mesurage et d’arpentage.**

ART 12 – Les filles apprendront à lire, écrire, compter. »¹⁵⁹

Le 1er août 1793

Le décret sur l’uniformité et « *le système général des poids et mesures, fondé sur la mesure du méridien de la terre et la division décimale, servira uniformément dans la République.* »¹⁶⁰

Art. 10 – La Convention charge l’Académie de la composition **d’un livre à l’usage de tous les citoyens**, contenant des **instructions simples** sur la manière de **se servir des nouveaux poids et mesures, et sur la pratique des opérations arithmétiques** relatives à la division décimale. »¹⁶¹

Le 21 octobre 1793

Le Décret relatif à l’organisation et à la distribution des première écoles, voté sur la proposition de Romme organise la première éducation des enfants.

« ART 3 – Ils apprennent à parler, lire, écrire la langue française. On leur fait connaître les traits de vertu qui honorent le plus les hommes libres, et particulièrement les traits de la Révolution française les plus propres à leur élever l’âme et les rendre dignes de la liberté et de l’égalité. Ils acquièrent quelques notions géographiques de la France. On leur donne les premiers notions des objets naturels qui les environnent, et de l’action naturelle des éléments. **Ils s’exercent à l’usage des nombres, du compas, du niveau, des poids et mesures, du levier, de la poulie et de la mesure du temps.** On les rend souvent témoins des travaux champêtres et des ateliers ; ils y prennent part autant que leur âge le permet. »¹⁶²

Le 24 novembre 1793

¹⁵⁷ Extrait du projet de décret sur l’organisation de l’instruction publique présenté par Condorcet à l’Assemblée nationale le 20 et 21 septembre 1791.

¹⁵⁸ Michel Lepelletier avait été assassiné en janvier de la même année.

¹⁵⁹ Extrait du Plan d’éducation nationale de Michel Lepelletier, présenté à la Convention nationale par Robespierre le 25 messidor an I (13 juillet 1793)

¹⁶⁰ Extrait du Décret sur l’uniformité et le système général des poids et mesures du 1 août 1793. Législation de l’Instruction primaire. *Opus cit.*, p. 63

¹⁶¹ Législation de l’Instruction primaire. *Opus cit.*, p. 64.

¹⁶² Décret relatif à l’organisation et à la distribution des première Ecoles du 21 octobre 1793.

la Convention nationale décrète la décimalisation des mesures de temps et de durée dans la loi « *Sur l'ère, le commencement et l'organisation de l'année, sur les noms des jours et des mois.* »

«La Convention nationale, après avoir entendu son Comité d'Instruction publique, décrète ce qui suit :

ART. 12 – Le Comité d'Instruction publique est chargé de faire **imprimer en différents formats, le nouveau calendrier avec une instruction simple** pour en expliquer les principes et l'usage. »¹⁶³

Le 24 août 1794

La loi relative à la réorganisation des Comités de la Convention nationale décrète la mise en place d'un Comité d'Instruction publique.

« ART. 10 – Le **Comité d'Instruction publique a la surveillance** des Monuments nationaux, Bibliothèques publiques, Musées, Cabinets d'Histoire naturelle, Collections précieuses, **des Ecoles, du mode d'enseignement**, des inventions et recherches scientifiques, **de la fixation des poids et mesures** et des spectacles et des fêtes nationales. »¹⁶⁴

Le 18 germinal de l'An III (7 avril 1795)

Cette loi relative au nouveau système des poids et mesures est considérée comme la loi fondamentale du système métrique décimal.

«ART. 12 – Les fonctions principales de l'agence temporaire seront :

3° **De faire composer et de répandre les instructions convenables pour apprendre à connaître les nouvelles mesures et leurs rapports avec les anciennes.**

4° De s'occuper des dispositions qui deviendraient nécessaires pour régler l'usage des mesures républicaines, et de **les soumettre au Comité d'Instruction publique**, qui en fera un rapport à la Convention nationale. [...]»¹⁶⁵

Le système métrique décimal est donc institué comme enseignement de base dans l'école où il assure deux fonctions. Il devient une connaissance obligatoire et l'instrument de mesure de la performance des élèves par la note décimale. Il devient également un instrument organisateur et normalisateur de l'espace scolaire.

L'enseignement de la mesure sous les Troisième et Quatrième Républiques

¹⁶³ Extrait du Décret sur l'ère, le commencement et l'organisation de l'année, sur le noms des jours et des mois du 4 frimaire de l'an II. *Législation de l'Instruction primaire. Opus cit*, p. 81

¹⁶⁴ Extrait de la loi relative à la réorganisation des Comités de la Convention Nationale. *Législation de l'Instruction primaire. Opus cit*, p. 97

¹⁶⁵ Extrait de la loi du 18 germinal de l'an III. *Législation de l'école primaire. Opus cit*, p. 110

Certains se souviennent des exercices de calcul mental et des conversions du système métrique décimal et des milliers de problèmes liés à la vie de tous les jours, tels que ceux-ci :

«On a vendu 6 décimètres de ruban à 1 fr 50 centimes. Quel est le prix du mètre ? ». «Le prix d'un mètre de drap est de 16 francs; j'en voudrai seulement avoir 25 centimètres. Que dois-je payer ? »¹⁶⁶

«Une bonne femme voulant acheter de l'étoffe, il lui manquait 50 centimes pour avoir un mètre; de sorte que, pour l'argent qu'elle possédait, elle n'a pu en recevoir que 0 m, 90 centimètres Quel était le prix du mètre de cette étoffe ? »¹⁶⁷

Ces exercices étaient le plus souvent des exemples de problèmes quotidiens à résoudre et liés à des situations concrètes : une métrologie du quotidien en quelque sorte qui permettait aux citoyens même modestes de gérer leurs affaires familiales ou artisanales. Son enseignement comporte des applications pratiques. Les anciens élèves, aujourd'hui souvent grand-parents, gardent le souvenir du Compendium métrique qui trônait dans chaque classe. Cette armoire contenait une balance de Roberval, des poids en laiton, des mesures de capacité en fer blanc et des règles graduées. L'enseignement du système métrique décimal est sous la Troisième et Quatrième Républiques encore très fortement lié à ses origines révolutionnaires.

La note scolaire décimale

Avec l'école, la Révolution invente aussi la note scolaire décimale qui permet de mesurer et de comparer n'importe quel élève sur le territoire avec n'importe quel autre. Cette « métrologie » dans l'école est des plus paradoxales. Les examens nationaux évaluent uniquement des connaissances scolaires en définissant une valeur décimale d'un élève, en rapport avec une somme de connaissances. Cette production des élèves est nécessairement faite de connaissances scolaires instituées. La valeur décimale va correspondre à une sorte de savoir-étalon scolaire, qui devient alors une norme. Par ailleurs des études et des recherches sérieuses (Pénombre – Lettre grise – c'est la note qui compte), montrent assez bien la subjectivité de la notation scolaire. Cependant, les résultats de mesure scolaires qui sont éventuellement une ou des moyennes, sont consignés dans le carnet scolaire des élèves et traités par la suite comme des données objectives, importantes voir décisives dans le parcours scolaire des élèves. Ceci est une métrologie contestable.

La normalisation de l'espace scolaire

¹⁶⁶ Leysenne *La deuxième année d'Arithmétique, Opus cit.*, (cours supérieur (11 à 13 ans) inscrit sur la liste des ouvrages fournis gratuitement par la ville de Paris à nos écoles communales. 44 e édition, 1888, p.120

¹⁶⁷Leysenne. *Opus cit*, p.123

Le système métrique décimal entre dans l'organisation de l'enseignement national en tant qu'agent normalisateur du temps, de l'espace et de la distance « obligatoire » entre les sexes. En lisant les textes législatifs de l'école, il semble qu'apparaît l'influence de Jeremy Bentham. Il eut une reconnaissance tant en France qu'en Europe en tant que pionnier de la gestion industrielle des institutions en général et de l'école.

Il écrit en 1771, dans son ouvrage « *Panoptique Mémoire sur un nouveau principe pour construire les maisons d'inspection, et nommément des maisons de force.* »

« Messieurs, écrit-il, Si l'on trouvoit un moyen de se rendre maître de tout ce qui peut arriver à un certain nombre d'hommes, de disposer tout ce qui les entoure, de manière à opérer sur eux l'impression que l'on veut produire, de s'assurer de leurs actions, de toutes les circonstances de leur vie, ensorte que rien ne pût échapper ni contrarier l'effet désiré, on ne peut pas douter qu'un moyen de cette espèce ne fut un instrument très-utile que les gouvernements pourroient appliquer à différens objets de la plus haute importance.

L'éducation, par exemple, n'est que le résultat de toutes les circonstances auxquelles un enfant est exposé. Veiller à l'éducation d'un homme, c'est veiller à toutes ses actions : c'est le placer dans une position où on puisse influencer sur lui comme on veut, par le choix des objets dont on l'entoure et des idées qu'on lui fait naître.»¹⁶⁸

Dans l'utopie de Bentham, tout est pensé, réglé, organisé et mesuré. Placés sous le regard permanent d'un « pouvoir furtif »¹⁶⁹, des individus sans âme obéissent dans un monde restreint et stérile où la créativité est devenue suspecte, voire impossible. Avec l'avènement, non de la Science mais du scientisme et la quasi-disparition de la notion d'incertitude de mesure, se réalise progressivement une dangereuse utopie : celle d'une maîtrise totale du monde physique et une maîtrise de la pensée des élèves, des clients, du public et des citoyens.

L'école du XIX^e siècle

Presque un siècle après la Constitution de 1791, au milieu du XIX^e siècle, l'école pour tous est en devenir, mais la tâche est encore grande. À l'école et à l'asile, les enfants du peuple reçoivent quelques rudiments de lecture, d'écriture, d'hygiène de vie et une bonne dose de préceptes moraux.

Les élèves apprennent à utiliser le système métrique décimal en même temps que quelques gestes professionnels. La hiérarchie sociale est fortement construite par l'école et si la

¹⁶⁸ Jeremy Betham, *Panoptique Mémoire sur un nouveau principe pour construire les maisons d'inspection, et nommément des maisons de forces*, Paris, Imprimerie nationale, 1771, 56 p. Ouvrage inclus dans « Jeremy Betham *Le Panoptique précédé de L'œil du pouvoir* entretien avec Michel Foucault », Ed. P. Belfond, Paris, 1977, pp.3- 4.

¹⁶⁹ selon l'expression de Michel Foucault.

servitude a disparu légalement, les conditions de vie des ouvriers sont très difficiles. Certains ouvriers en France au début du XIX^e siècle vivent dans des conditions bien plus difficiles que les domestiques d'anciens domaines ecclésiastiques ou seigneuriaux bien gérés.

« Il n'est, à travers toute l'Europe de mots trop forts pour décrire la situation dégradée de la classe ouvrière, des classes populaires. En France selon *L'Ami de l'Enfance*, les classes pauvres sont « dégradées », « abâtardies ». En Belgique elle sont réduites à « l'état d'abjection », « déprimées, perverses et meurtrières », en Angleterre, « démoralisées » à Pise, à Berlin, à Genève, à Florence. Partout les enfants sont abandonnés par des parents obligés de gagner leur vie en atelier. »¹⁷⁰

La création des crèches répond à une situation de danger réel des enfants du peuple en bas âge. Les parents ne peuvent pas s'occuper de leurs enfants et les confient à des nourrices aussi indigentes qu'eux. La pauvreté des ouvriers est grande. Lorsque Dickens écrit *Oliver Twist* et Victor Hugo « *Les misérables* », ils n'inventent pas. Ils rendent compte de la situation du peuple à leur époque. Face à l'absence des parents, les écoles et les asiles qui deviendront les écoles maternelles se multiplient. A ce moment de l'histoire industrielle, les parents dans la situation qui était la leur, furent en effet incapables de nourrir, vêtir et éduquer correctement leurs enfants. L'industrialisation naissante et déjà régnante détruit à fur et à mesure de son développement une grande part de l'organisation sociale ancienne où l'artisanat et les petits métiers faisaient vivre de nombreuses familles. La disparition des communs est une tragédie. Un nombre important de familles pauvres sont venues massivement s'agglutiner autour des villes¹⁷¹. Toute une part de la production artisanale et familiale disparaît avec le changement technologique. La production industrielle, non encore automatisée avec des robots, utilise une main d'œuvre considérable dont les enfants et souvent dans les pires conditions. Zola en écrivant « *Germinal* » ou « *l'Assommoir* » rendait compte aussi de ses observations. Les descriptions de P. Pietra-Santa, *Sur les salles d'asile* de Paris en 1854, Napias dans « *Hygiène des écoles primaires et des écoles* » en 1884, parlent de « *Membres tristement distendus, poitrine aplatie, face petite et rabougrie* » ou « *faiblesse et pâleur excessives* ».

Les enfants sortis de la rue ou de la garde des nourrices incompetentes furent de plus en plus nombreux à fréquenter les institutions préscolaires et scolaires.

¹⁷⁰ Michel Bouillé, *L'école, l'histoire d'une utopie ? XVII – début XXe* Rivages/Histoire, Paris 1988, p.20

¹⁷¹ Le phénomène se poursuit de manière similaire aujourd'hui. Une multitude de paysans sont chassés de leurs terres par des multinationales occidentales. Les familles affamées viennent ensuite massivement s'agglutiner dans des bidons-villes à proximité des grandes villes.

L'organisation de l'espace scolaire au XIX^e siècle

A la lecture des textes réglementaires tentant d'organiser de manière rationnelle l'école du XIX^e, il semble que l'école subit une avalanche de normes scolaires, un « délire rationnel » pour une sorte d'industrialisation de l'école : tout comme on produit des objets en série, on tente de produire des élèves en série.

«L'organisation d'un espace sériel fut une des grandes mutations techniques de l'enseignement élémentaire. Il a permis de dépasser le système traditionnel (un élève travaillant quelques minutes avec le maître, pendant que demeure oisif et sans surveillance le groupe confus d'enfants de ceux qui attendent). En assignant des places individuelles, il est rendu possible le contrôle de chacun et le travail simultané de tous. Il a organisé une nouvelle économie du temps d'apprentissage. Il a fait fonctionner l'espace scolaire comme une machine à apprendre, mais aussi à surveiller, à hiérarchiser, à récompenser. »¹⁷²

L'école au XIX^e siècle se « métrise » et se normalise

L'école semble devenir un lieu idéal pour l'exercice de la rationalité. Tout s'y régleme, l'espace, le temps, la disposition géographique des élèves, les contenus enseignés, l'air que l'on respire, la discipline et les récompenses.

«Le plan de l'école est l'inscription dans l'espace d'un savoir multiforme : technique, scientifique, médical, pédagogique, politique. Il rend compte de l'aménagement des volumes – salles de classe, cours de récréation, préaux -, de l'implantation du mobilier scolaire, des échanges avec l'extérieur – lumière, aération -, de la situation par rapport aux autres édifices. On ne peut être étonné par l'incroyable minutie des dispositions, l'étonnant dispositif mis en place, si surprenant qu'il en est quasiment irréalisable. »¹⁷³

Par le décret organique du 22 mars 1855, le volume d'air dont dispose chaque enfant admis dans une salle d'asile est de deux mètres cubes. Les fenêtres sont régulièrement ouvertes pour aérer les classes et en chasser l'air vicié par les respirations des élèves et les moyens de chauffage. Par la loi du mois de mars 1855, les salles d'asile sont situées au rez-de-chaussée. Elles sont (ou devraient être) « *planchéiées et autant que possible éclairées, des deux côtés* »¹⁷⁴ La réglementation définit le bon éclairage. Les problèmes de vue sont nombreux. Une bonne luminosité améliorerait la position assise des élèves qui se déforment la colonne vertébrale en essayant de mieux voir.

Par arrêté du 17 juin 1880, la salle de classe sera rectangulaire. La classe de 48 à 50 élèves est meublée de tables-bancs à deux places ou de tables-bancs à une place. Elle formera un rectangle de 10 par 6 mètres. Chaque élève dispose de 1, 25 m². Les élèves des écoles

¹⁷² Michel Foucault. *Surveiller et punir*, Gallimard, Paris, 1975, p.172

¹⁷³ Michel Bouillé. *Opus cit*, p.51

¹⁷⁴ Décret organique concernant les salles d'asile. Art 4. 22 mars 1855.

maternelles ont à leur disposition une surface de 3,20 m² chacun. Le volume d'air par élève est 4 m³ en 1830, 5 m³ en 1880 et 6 m³ en 1951.

«L'architecte Bouillon développe de savants calculs pour déterminer la superficie des salles de classes pouvant contenir de 48 à 210 élèves. La surface disponible pour chaque élève variera entre 1,10 m² pour une classe de 48 à 0,93 m² pour une classe de 210 élèves. L'enseignement simultané nécessitera une surface de 0,71 m² par élève. La loi du 15 mars 1850 prévoit que les élèves disposeront d'un mètre carré chacun, la hauteur des classes sera de 4 m. »¹⁷⁵

En Août 1851, le Règlement adopté par le Ministre de l'Instruction publique, sur l'avis du Conseil supérieur de l'Instruction publique, pour les écoles publiques arrête au Titre III : Du local et du mobilier :

«Article 8 – L'instituteur tiendra son école dans une état de propreté et de salubrité. Elle sera arrosée et balayée tous les jours ; l'air y sera fréquemment renouvelé. Même en hiver, les fenêtres resteront ouvertes pendant l'intervalle de classe.

Article 9 – Les tables, au plan légèrement incliné, devront être large d'environ quarante centimètres et ne contenir qu'un rang d'élèves, de sorte qu'ils se trouvent tous en face du maître. Les bancs seront attachés aux tables.

Article 36 – Dans les écoles qui reçoivent des enfants des deux sexes, les garçons et les filles ne pourront jamais être réunis pour les mêmes exercices. Ils seront séparés par une cloison au moins d'un mètre cinquante de hauteur, disposée de manière que l'instituteur ait vue sur les deux côtés de la salle. L'entrée et la sortie auront lieu à des heures distinctes. L'intervalle sera d'un quart d'heure au moins. »¹⁷⁶

Métrologie et enseignement

Avant que l'école telle que la connaissons depuis les lois De Jules Ferry existe en France, la transmission de la métrologie se faisait par la pratique des arts et des métiers, du commerce et de l'artisanat, sur les marchés, à la maison et aux champs. À la fin du XVIII^e siècle, avec la disparition massive de l'artisanat et des corporations, se pose la question de l'école et de la métrologie dans une société « nouvelle ». Les besoins métrologiques changent et passent de l'espace local et de celui des marchés à un espace scientifique et industriel. L'espace politique commun en devenant national génère des institutions nationales dont celles *conjointes* de la métrologie et de l'Instruction publique. Des masses d'écoliers fréquentent l'école de la République. Les exercices de « calcul » utilisent abondamment le système métrique décimal. On apprend à l'école à arpenter un champ et calculer un prix au mètre carré ou à l'hectare. On apprend à acheter et à vendre des quantités visibles, à poser un problème et à y répondre dans le cadre des activités familiales et artisanales. Les références aux origines du système métrique décimal, à la loi et à l'égalité au droit, sont très présentes dans les enseignements de

¹⁷⁵ Michel Bouillé. *Opus cit* p.59

¹⁷⁶ Bulletin administratif de l'Instruction publique. T 5. (INRP)

la troisième et quatrième République, puis ces références disparaissent. Un bond formidable se poursuit du côté de la métrologie scientifique, légale et industrielle (et notamment dans le champ de la recherche militaire) et d'un autre côté le lien entre la métrologie et l'école s'amenuise.

Evolution contemporaine et prospective :

L'effacement progressif de l'enseignement de la métrologie depuis les années 60 ne semble pas résulter d'une volonté délibérée. Il s'agirait plutôt d'une perte de mémoire, d'une sorte d'évaporation, comme si cette discipline, à laquelle étaient autrefois portée tant d'attention et attaché tant d'espoir, était soudain devenue secondaire, facultative voire contingente.

On ne peut pas dire que cette évolution procède d'un constat objectif. La mesure, en effet, est de plus en plus présente, avec des nécessités et des performances accrues, dans la technique contemporaine.

- Elle l'est dans l'industrie : comment assembler les pièces d'un satellite européen provenant de quelque quatre-vingts sites de fabrication différents situés dans des pays ne parlant pas la même langue sans des raccordements de métrologie dimensionnelle fiables et dûment vérifiés ? Comment serait-il possible d'interconnecter des ordinateurs par Internet sans référence commune des horloges des routeurs ? Et, pour illustrer la précision exigée dans l'informatique et les télécoms, celle des connecteurs de fibres optiques est telle que les taux de rebut en fabrication peuvent atteindre 30 % !

- Elle l'est tout autant pour le public : soumis aux micro-ondes des téléphones portables, obligé de boire les nitrates et les pesticides que les agriculteurs ont déversé dans les nappes phréatiques, de manger les conservateurs, les colorants et autres adjuvants que l'industrie alimentaire répand dans ses différentes productions, de respirer les oxydes de carbone dégagés par les véhicules et les agents infectieux variés errants dans les transports en commun, les bureaux et les hôpitaux, ce public aurait bien besoin des moyens de mieux mesurer et contrôler son environnement !

Sans doute, de temps en temps, certains risques devenus trop évidents donnent lieu à des opérations de communication : après que des centaines d'adolescents ne soient devenus sourds d'avoir écouté leur baladeur à pleine puissance, les médias ont daigné faire une place à la notion de décibel et alerter, sans trop insister, sur le danger des bruits trop puissants.

Sans doute, on ne peut s'empêcher de remarquer la coïncidence entre cette discrétion et les intérêts des médias : la plupart des causes de danger sont le fait d'entreprises ou d'organisations qui sont aussi des « annonceurs », comme disent les publicitaires, lesquels

sont la principale et dominante source de financement des dits médias. Leur absence de motivation est donc claire. Mais elle l'est moins pour l'école. Une des explications possibles de son désintérêt pour la métrologie est peut-être due au mouvement de la technique elle-même. En effet, depuis la fin du XIX^e siècle, les performances des instruments de mesure permettent de « voir l'invisible » et, plus généralement, de percevoir l'imperceptible.

Alors que la plupart des mesures s'accordaient avec un « mode d'existence »¹⁷⁷ marchand, c'est-à-dire en relation directe avec les perceptions et la sensibilité humaines, dès la microbiologie pastoriennne le public se trouve concerné pour sa santé, c'est-à-dire de la manière la plus vitale qui soit, des êtres vivants imperceptibles à l'œil, les microbes.

Dans la première moitié du vingtième siècle, l'école ne décroche pas : la métrologie y reste présente, et le microscope vient s'ajouter, dans la mesure des crédits d'équipement, aux instruments antérieurs.

Puis arrivent les années 60, l'époque du microscope électronique. L'ordre de grandeur du prix de l'équipement de base change. Il n'est plus question que chaque école puisse en disposer. Et cependant, la santé est encore concernée : l'échographie ultrasonore, qui permet d'apercevoir le fœtus dans le ventre maternel, et le scanner, qui visualise avec une grande précision, tranche par tranche, l'ensemble de l'intérieur du corps humain, deviennent d'usage courant, mais seulement en milieu médical.

Ainsi, depuis la seconde moitié du vingtième siècle, on entre subrepticement, par la conjonction du coût des équipements et de l'intérêt des industriels à maintenir une certaine discrétion sur leurs fabrications, dans une époque de silence métrologique, en ce qui concerne l'éducation et l'information du public. Les « boîtes noires » se multiplient en matière de métrologie. Les industries de l'armement sont particulièrement au point en ce qui concerne la métrologie de pointe. Ceci n'est pas anecdotique car faute d'une transmission actualisée de la métrologie dans l'école et le public, le citoyen moyen est ignorant et donc difficilement capable de savoir discerner le vrai du faux. Le système métrique décimal avait comme ambition de permettre à chacun de gérer ses propres affaires, le citoyen est aujourd'hui obligé de faire aveuglément confiance à des experts. Et force est de constater que si certains de ces experts sont de bonne foi, d'autres ne le sont pas. Il y a, d'après moi, un rapport étroit entre une meilleure connaissance de la métrologie et la liberté des individus et des communautés à exercer leur sens critique et leur résistance face au développement des sciences et des

¹⁷⁷ cette expression est de Gilbert Simondon dans *Du mode d'existence des objets techniques*, *Opus Cit.*

techniques au service de la puissance de quelques-uns et non en vue de l'intérêt du plus grand nombre, de tous.

E-learning et métrologie

Sans tirer de conclusions hâtives de ce fait mais en considérant la question de la diffusion de la culture métrologique résolument, l'expérience montre qu'Internet est un lieu où une part de la connaissance métrologique commune peut être organisée et disponible, c'est-à-dire à la portée du plus grand nombre. Cependant pour accéder à toute connaissance en utilisant Internet, l'apprenant doit être capable d'aller chercher l'information, la croiser avec d'autres sources disponibles, comparer des données entre elles, les organiser, les traiter pour se les approprier et éventuellement en construire des connaissances nouvelles. L'e-learning ne peut fonctionner que si les attitudes d'autonomie sont favorisées et développées chez les individus.

Quand un projet d'enseignement est l'enseignement de la culture métrologique, cela pourrait être une manière de donner au plus grand nombre les moyens de leur propre autonomie. À cela il semblerait qu'il y ait deux préalables :

1. Que les enseignements permettent aux élèves et aux apprenants de tous les âges de développer les mêmes aptitudes que les autodidactes¹⁷⁸
2. Que la culture métrologique soit rendue accessible au plus grand nombre

Chaque époque a ses propres méthodes pour transmettre la métrologie au sein de l'espace culturel commun. Il est d'actualité de poser la question de l'e-learning au service de la métrologie.

Un autodidacte est une personne qui a le désir d'être responsable de sa propre acquisition de connaissances. Elles doivent développer des aptitudes souvent acquises par des situations d'apprentissage personnelles d' « essai-erreur ». Cela ne veut en aucun cas dire qu'il reste en dehors de tout enseignement face à face mais il peut moduler ses acquisitions en fonction de ses besoins, de ses objectifs, de son temps et de ses disponibilités. L'autodidacte n'est pas sans lien avec le savoir institué dispensé dans les lieux plus classiques d'enseignement, mais il est plus libre de ses mouvements et de ses choix que s'il était dans une salle de classe ou un amphithéâtre. En contrepartie de cette « liberté », l'autonomie et la rigueur sont essentielles, en particulier s'il veut dépasser le cap qui consiste à accumuler des connaissances diverses mais superficielles. Si par exemple son objectif est une remise à niveau à distance pour

¹⁷⁸ Par autodidacte, je considère ici la capacité et l'autonomie des personnes qui développent leur compétence pour apprendre à apprendre par soi-même en utilisant les ressources qui sont à leur disposition.

préparer un examen, il devient nécessaire pour lui de se constituer un cadre et des limites, de respecter des rythmes, se donner des objectifs à atteindre et prévoir des relais humains compétents de confiance.

Une personne devient autodidacte par choix ou par nécessité. En dehors d'un cadre classique d'enseignement présentiel, elle met en action (souvent seule) un ensemble de compétences. Une meilleure connaissance des compétences mobilisées par les autodidactes et plus particulièrement ici celles des internautes autodidactes permettrait de mettre à la disposition d'autres apprenants plus classiquement formés.

Il semble que le développement des NTIC et celui conjoint d'une somme considérable et constamment renouvelée de données, d'informations et de connaissances disponibles oblige, d'une certaine manière, à reconnaître la nécessité de favoriser des situations d'apprentissage autonomes et de développer chez tous les apprenants des compétences qui sont celles des autodidactes.

Le défi pédagogique qui s'impose est de favoriser l'autonomie des apprenants. Et cette autonomie n'est pas à favoriser uniquement dans les écoles d'ingénieurs ou à l'Université mais aussi dans l'école primaire et les formations professionnelles de tous les niveaux. Pour cela il serait nécessaire d'amorcer un changement d'attitude pédagogique, une révolution (dans le sens de tourner), qui va vers une réelle autonomie.

« Observons déjà que les NTIC provoquent *un renversement de paradigme pédagogique* : l'analogie avec le théâtre (notons que les cours traditionnels de l'enseignement supérieur sont encore souvent dispensés dans un amphithéâtre ») permet de la résumer :

Σ *l'acteur principal* est l'apprenant et non plus l'enseignant ;

Σ *il n'y a plus d'unité de lieu* : l'apprenant peut apprendre depuis n'importe quel endroit : chez lui, à son travail, dans un centre pédagogique proche, depuis l'étranger ;

Σ *il n'y a plus d'unité de temps* : l'apprenant peut apprendre à n'importe quel moment ; il a en outre possibilité d'étaler la période d'acquisition des savoirs et de parvenir à la situation "d'apprendre tout au long de sa vie" ;

Σ *il n'y a plus unité d'action* : au lieu du programme unique, l'organisation du programme est adaptée chaque fois aux paramètres de l'apprenant ;

∑ *il y a spécialisation des fonctions* entre l'évaluateur des besoins de formation, enseignant dispensateur du savoir, tuteur, sélectionneur des moyens techniques, metteur en scène du cours, évaluateur des acquis. »¹⁷⁹

Cependant, il ne faut pas imaginer que l'e-learning est une panacée, qu'il serait plus facile à mettre en œuvre et moins cher que des formations traditionnelles. Mais il est difficile de faire comme si ces nouvelles technologies n'existaient pas et sans penser, ici, à les mettre au service du partage de la culture métrologique.

« L'erreur d'interprétation qu'induit l'expression : « société de l'information » me paraît tellement énorme que cette expression mérite, à mon avis, d'être considérée elle-même comme une désinformation. Ne sommes-nous pas, d'ailleurs entrés subrepticement dans une société de désinformation ?

Considérons le volume des messages publicitaires, la manière de présenter les actualités, le fonctionnement des échanges économiques et les relations sociales. Ce ne sont partout que langue de bois, discours institutionnels, propos de circonstances destinés à influencer imperceptiblement le jugement de ceux qui écoutent.

La vigilance des défenseurs de la liberté, dès lors, doit se porter vers d'autres questions que celles portées par le siècle des lumières. La théorie économique dite « classique », fondement de la doctrine libérale, est prise en défaut si les acteurs ne sont pas parfaitement informés, lucides et libres de leurs jugements. La démocratie n'est plus elle-même si l'opinion est manipulée.»¹⁸⁰

Je suis consciente que lier e-learning et métrologie est discutable. Cependant dans les deux domaines il s'agit d'une aspiration de libération par la connaissance.

¹⁷⁹ Claude Trink. "L'impact des technologies de l'information et de la communication sur les liens entre enseignement supérieur et industrie" in *Les nouvelles raisons du savoir Prospective de la connaissance* sous la direction de Thierry Gaudin et d'Armand Atchuel, Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 2002, p. 184

¹⁸⁰ Thierry Gaudin. "La connaissance ne sera plus ce qu'elle était". *Les nouvelles raisons du savoir Opus cit*, pp. 318-319

INTERVENTION DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA MÉTROLOGIE

Les actions qui suivent sont des éléments de réponse à la question suivante : est-il possible de faire évoluer le système éducatif ? Plus précisément d'y (ré-) introduire des enseignements et pratiques métrologiques utiles à la vie quotidienne ?

La question peut paraître audacieuse, voire outrecuidante. Les travaux sociologiques du dernier demi-siècle n'ont-ils pas démontré par de multiples approches que les choses sont ce qu'elles sont et qu'il y a de nombreuses et excellentes raisons pour qu'elles restent ainsi. Elles sont modelées par les intérêts de la classe dirigeante, laquelle sait parfaitement comment établir et maintenir les « construits sociaux » nécessaires à sa « reproduction ». Mon idée n'est aucunement de rajouter à ces estimables travaux un codicille supplémentaire, mais au contraire de m'intéresser, non pas à la question : « Pourquoi les choses sont ce qu'elles sont ? » mais à la question « comment changent-elles ? ». Car en effet elles changent nécessairement parce que l'éducation est un système vivant.

Par ce questionnement, je n'hésiterai pas à défendre que je me rapproche du cœur des Sciences de l'éducation. L'éducation n'est-elle pas en effet la conduite d'un changement, d'abord celui qui amène l'apprenant de l'état non connaissant à l'état connaissant, et par extension à la mise en place des conditions dans lesquelles les changements d'attitude ou de vision du monde peuvent se produire.

Le présent travail universitaire est aussi un travail de vérification. En histoire, cela consistait à vérifier à travers l'histoire que mes points de vue singuliers sur la métrologie ne sont pas incompatibles avec la réalité historique. Cette réalité repose sur des objets et des écrits originaux de référence. Un système pondéral cohérent, attesté par des mesures de pierre ou de métal datant d'environ 5000 ans dont certaines sont visibles au Musée du Louvre, est ce que j'appelle une réalité historique de référence. Les textes d'origine concernant la construction philosophique, scientifique et légale du système métrique décimal constituent aussi une réalité historique de référence. Une part de ces textes sont reproduits fidèlement et méthodiquement dans les Archives Parlementaires que j'ai consultées à la Bibliothèque Mazarine à Paris.

Pour soutenir le projet d'origine, celui qui lie fondamentalement la reconnaissance et le partage d'une identité commune à la métrologie et par là même, à la diffusion de la culture métrologique au plus grand nombre, je suis allée vérifier quels sont les tendances de sympathie ou de résistances face à l'idée de mettre en mouvement les conditions d'un partage plus large de la culture métrologique. J'ai recueilli le discours de métrologues professionnels, du public, d'enseignants, d'élèves, ceux de professionnels d'entreprise et du monde de la

formation professionnelle. Cet ensemble de données permet d'approcher une réalité conjugée de personnes plongées dans différents contextes professionnels et un « grand public » ciblé. Ces « vérifications », confirment d'autres études et enquêtes antérieures comme celles qui ont été réalisées dans le cadre du Programme européen Leonardo et l'ouvrage « *Quelle métrologie à l'aube du XXI^e siècle ?* » mentionnés plus haut.

Enfin, je vérifiais que le projet qui consisterait à redonner une place à la métrologie dans l'enseignement de base est une réalité plausible. Il ne manque pas d'auteurs réclamant de profonds changements du système éducatif, mais il importe autant de donner des indications pratiques et opérationnelles sur la manière dont ce changement pourrait s'opérer¹⁸¹. Le poids de la littérature démontrant les causes de l'immobilité, de l'inertie, de l'asservissement voire du dressage en vue d'une exploitation ultérieure de la force de travail, jointe à l'image sociale du système éducatif, toute habitée de bureaucratie et de corporatisme rend d'autant plus utile le récit d'expériences, même modestes, montrant des voies de transformation. Ce récit est important surtout si, comme c'est ici le cas, les énergies mobilisées viennent directement des métrologues, des enseignants et des élèves, sans que l'environnement administratif n'entrave ce qui est en train de s'opérer. M'appuyant sur ma motivation qui consiste à considérer l'intérêt d'une culture métrologique partagée par le plus grand nombre et constatant l'absence généralisée d'un enseignement de base de la métrologie en France¹⁸², je cherchais à développer des processus d'innovation pédagogique pour réactiver l'intérêt de cet enseignement. Un processus d'innovation est d'autant plus nécessaire qu'il est impensable d'utiliser à nouveau les formes d'enseignement préalables, en phase avec leur époque, mais déphasées par rapport à la nôtre. Les méthodes pratiquées pour l'enseignement du système métrique décimal pendant la Troisième et Quatrième Républiques sont des modèles obsolètes. Il existe donc aujourd'hui un défi pédagogique en matière d'enseignement de la métrologie par rapport à ce qu'ont connu les anciens : l'innovation.

Une innovation, quelque elle soit, suppose un respect, une connaissance consciente (ou inconsciente) des origines. À l'origine, la métrologie et l'enseignement sont liés dans un idéal

¹⁸¹ Sauf, par instruction du ministère, l'étude des processus d'innovation montre qu'ils ne procèdent pratiquement jamais de décision venue de la hiérarchie. Il n'est que de regarder le spectacle des innombrables « réformes » de l'éducation menées sans résultats depuis cinquante ans et celui de la production surabondante, du Bulletin officiel de l'Éducation nationale qui montre que ce contresens hiérarchique est encore très présent.

¹⁸² Et aussi en Europe et dans le monde comme semblent le prouver les contacts européens et internationaux pris pendant la préparation de cette thèse concernant la réflexion sur le développement d'un enseignement des principes métrologiques de base.

qui affirme la libération des hommes, leur égalité et la fraternité universelles. Le système métrique décimal sort la métrologie du domaine privé où elle était captive depuis des siècles pour redevenir **un bien commun qui appartient de fait à la communauté humaine entière**. C'est sur cette idée fondamentale que sont construites les actions de vérification de faisabilité d'un projet qui consiste à diffuser plus largement des connaissances et des compétences utiles à tous.

Depuis la Révolution française, la métrologie a évolué. Elle est basée aujourd'hui sur des concepts physiques (et philosophiques) liés à une certaine vision du monde tout comme le système métrique décimal incarne l'état scientifique, politique et social d'une époque. Pour illustrer cette évolution il est intéressant de suivre les définitions successives du mètre.

L'évolution de la définition du mètre-étalon.

En 1795, le mètre est défini comme la dix millionième partie du quart du méridien terrestre. La définition de l'unité de poids lui est reliée, c'est le poids du décimètre cube d'eau, (1 litre). La première définition du mètre a été édictée par le décret de l'Assemblée du 1er août 1793, il représentait la longueur du dix millionième du quart du méridien terrestre symbolisé par un étalon en mousse de platine agglomérée de section rectangulaire.

En 1799, la première définition est maintenue, mais il est ajouté : le mètre et le kilogramme en platine, déposés aux Archives, sont les étalons définitifs. Ces étalons matériels, représentants de définitions théoriques, deviennent la base pratique et légale du système métrique décimal.

1889, les prototypes internationaux du mètre et du kilogramme reproduisent aussi exactement que possible, l'un la longueur, l'autre la masse de l'étalon des Archives correspondant. La définition des unités ne fait plus références aux définitions de 1793.

En 1899, la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) sanctionna le prototype du mètre choisi par le Comité International des Poids et Mesures et déclara : « Ce prototype représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité métrique de longueur. »

Le mètre était défini par la distance à 0°C entre deux traits gravés sur le prototype, en platine iridié à section en x, déposé au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Cet étalon servit de base de référence internationale jusqu'en 1960.

1960, la définition du mètre change avec les moyens optiques. Le mètre est alors défini comme la longueur égale à 1 650 763, 73 longueurs d'onde dans le vide d'une radiation orangée émise par l'isotope 86 du krypton. (11^{ème} CGPM). La relative imprécision de la

précédente définition, 0,1 mm sur 1 mètre, a mené à la recherche d'une nouvelle définition du mètre. Cette nouvelle définition ayant été adoptée par la 11^{ème} CGPM, sa précision était estimée être 100 fois supérieure à celle de la précédente. Il sembla bientôt évident que la radiation de référence, celle du krypton devrait tôt ou tard être remplacée par une radiation de laser.

En 1983, le mètre est défini comme la longueur du trajet parcouru par la lumière, dans le vide, pendant une durée de $1/299\,792\,458$ seconde. (17^{ème} CGPM)) La définition proposée à la 17^{ème} CGPM et adoptée le 20 octobre 1983 est la suivante : « Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ s. »

Sa précision potentielle est celle de l'unité de temps. Elle est 100 000 fois meilleure que celle de l'unité de longueur fondée sur le krypton et elle pourra sans doute être encore améliorée. Cette nouvelle définition s'appuie sur une constante physique universelle et non plus sur un objet matériel ni même sur une radiation émise par une substance particulière. Elle aurait donc de très bonnes garanties de pérennité. Le mètre n'est donc plus lié à la géographie (longueur du méridien terrestre) mais représente un rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide, qui est une constante physique, et la seconde, qui est elle-même matérialisée à partir d'une fréquence atomique, le césium 133.

La métrologie n'est-elle pas la science qui traite des limites de la connaissance et participe de la connaissance en faisant évoluer ces limites ? Aujourd'hui dans la société cognitive émergente, poser la question des origines, celle du partage d'une commune mesure, base de reconnaissance, de connaissance et de fraternité entre les peuples semble être une question de bon sens. Car si la métrologie est un ensemble de connaissances et de pratiques sociales, historiques, philosophiques et scientifiques, en phase avec une époque et un état d'organisation politique donné, la question de son enseignement n'est pas neutre. J'ai entendu des enseignants dire que cela n'avait aucune importance si les élèves considèrent le mètre-étalon des Archives comme référence métrologique. Je prétends le contraire : la connaissance de la métrologie et la compréhension des concepts qui la sous-tendent sont importantes car il semble impossible d'envisager un monde cognitif et plus pacifique, plus responsable sans le partage d'une commune mesure.

Les définitions du mètre et des autres unités du SI transportent un état de connaissance qui est celui de l'époque présente. Ces connaissances sont l'expression d'une certaine représentation du réel. La question de l'enseignement de la métrologie est alors à poser en toute honnêteté :

est-il concevable d'agir en toute conscience dans le monde actuel avec un « outillage intellectuel » et une culture métrologique de la fin du XVIII^e siècle ?

La question de savoir ce que représentait la longueur du méridien terrestre pour la population à la fin du XVIII^e, alors que l'unité *myria*, représentant 10 000 se transforme rapidement dans le langage commun en myriade, qui exprime l'idée d'un grand nombre indéfini, c'est-à-dire beaucoup¹⁸³ est intéressante. Est-ce plus difficile aujourd'hui de comprendre les concepts sur lesquels s'appuie la métrologie actuelle, l'incertitude des résultats de mesure et l'organisation légale de la métrologie que ne le fut à la fin du XVIII^e et au XIX^e siècles pour des populations laborieuses et rurales en grande partie analphabètes l'utilisation du système métrique décimal ? La difficulté est-elle plus grande que celle qui consista à diffuser de nouveaux principes métrologiques et aux populations, qui depuis des générations comptaient en « grosses » et « petites » mesures, en hommées, journaux, pouces, pieds, muids, septiers, litrons, emfans, charretées, journées, et à instaurer l'usage commun d'un système aussi abstrait pour elles que le système métrique décimal ? Il n'est pas plus difficile pour nous d'apprendre à faire un bilan d'incertitude que pour ces populations qui comptaient en fractions simples depuis des siècles, d'utiliser les mécanismes opératoires de l'arithmétique décimale. Est-ce plus difficile d'admettre aujourd'hui que la mesure est entachée d'incertitude que d'apprendre que la terre est ronde et que la température de la glace fondante est de 0° pour les populations de la fin du XVIII^e siècle ? Enfin est-il plus difficile de reconnaître nos différences culturelles comme une grande richesse tout en partageant une commune mesure que de tenter d'anéantir comme l'on fait les Révolutionnaires la richesse des particularismes culturels, identitaires et locaux ?

Etat actuel de la diffusion de la culture métrologique

Prenons deux expériences de mesure de pesage¹⁸⁴ diffusées en direction du public. L'une propose au public de peser un point sur le "i" avec une balance de précision. La balance « montre » au public qu'un point tracé avec un gros feutre ou un minuscule trait en graphite n'ont pas le même poids. Une autre démonstration est fréquemment réalisée lors d'expositions scientifiques. Une pomme de terre¹⁸⁵ coupée en deux est posée sur le plateau d'une balance de précision. L'évaporation de l'eau contenue dans le légume est « visible » sur le cadran. Le public peut alors « voir » l'évaporation qui se produit dans l'air ambiant.

¹⁸³ Mais qui peut réellement se représenter la femtoseconde ou la femtomole ?

¹⁸⁴ Le matériel utilisé est prêté par des entreprises de pesage ou de fabrication d'instruments de mesure.

¹⁸⁵ ou un autre légume et quelque fois un verre d'eau

Chacun peut constater que les légumes sèchent, mais ici l'instrument de mesure rend « visible » en temps réel un processus physique imperceptible à l'œil nu.

Ces expériences présentent des performances métrologiques. Mais si on les interprète non plus comme des illustrations scientifiques, mais comme l'expression d'une relation entre la Science et le public, leur message paraît alors pour le moins ambigu. Elles montrent en effet des phénomènes physiques que l'on ne peut voir sans instruments extrêmement sophistiqués et hors de prix, instruments que seuls les métrologues possèdent, auxquels le public n'a pas normalement accès. La signification implicite et sans doute involontaire de ces expériences, qui touchent quasiment à la « magie » pour les néophytes, peut être interprétée comme émanant d'un collectif de scientifiques et de métrologues qui savent de grandes choses et qui ont de grands pouvoirs !

La plupart des actions de diffusion de la science en direction du public depuis la Loi d'Orientation et de Programmation pour la recherche et le développement technologique de la France ¹⁸⁶(LOP, 1982)¹⁸⁷ sont des discours valorisant la science. Elles ne la mettent pas pour autant à la portée du public. Mettre le comportement scientifique à portée du public consisterait non pas à montrer un dispositif de mesure « admirable » mais par exemple, à lui donner les moyens de mesurer la qualité de l'eau qu'il boit ou de l'air qu'il respire. Les expériences de la pomme de terre ou du point sur le « i » sont spectaculaires, mais ne sont pas des expériences de métrologie du quotidien. Elles n'apportent pas un savoir-faire utile aux gens ni la compréhension de ce que sont une démarche scientifique et un réel comportement métrologique. Dans ces deux expériences, la métrologie scientifique est mise en spectacle. Ces dispositifs de mesure très coûteux « montrent » *aussi* que les relations existantes entre la communauté scientifique et le public ne sont affiliées ni à la pensée de Petit, dont le but était de transmettre des connaissances directement utilisables, ni même à l'idéal démocratique de Condorcet.

En arrivant dans la communauté métrologique, j'ai pu observer deux comportements divergents. D'une certaine manière et même quelquefois de façon implicite, les métrologues ont conservé la mémoire de la pensée fondatrice et nombreux parmi eux vont dans les écoles, participent à des journées de diffusion organisées par des entreprises ou des écoles

¹⁸⁶ Loi n° 82610 du 15 juillet 1982.

¹⁸⁷ « L'Education scolaire, l'enseignement supérieur, la formation continue et tous les niveaux et le service public de la radiodiffusion et de la télévision doivent favoriser l'esprit de recherche, d'innovation et de créativité et participer au développement et et la diffusion de la culture scientifique et technique. » LOP de 1982, Art 7.

spécialisées qui enseignent la métrologie. Mais leur pratique est dans l'ensemble différente du projet des origines. On peut expliquer cette différence par le fait que la précision de la mesure s'est considérablement affinée. Le perfectionnement même de la métrologie l'a amenée à s'éloigner du quotidien des gens. Les instruments de mesure, de plus en plus sophistiqués, sont difficiles à comprendre par le public. Ils traitent de mesures qui s'éloignent du quotidien. Dans le quotidien, le micromètre ou l'angström¹⁸⁸ ne sont pas nécessaires, le plus souvent le millimètre ou le dixième de millimètre suffisent. Pour faire la cuisine, le nanogramme n'est pas utile, le gramme fait largement l'affaire. Mais encore faut-il s'astreindre à bien le mesurer.

D'autre part, les métrologues scientifiques des laboratoires nationaux se trouvent face à des intermédiaires. La chaîne métrologique comprend plusieurs maillons avant d'atteindre l'utilisateur de base, même si celui-ci utilise une métrologie précise, comme c'est le cas dans les industries de pointe. L'utilisateur final, le citoyen moyen, bénéficie aussi de vérifications métrologiques institutionnelles qui portent par exemple sur les pompes à essence ou les balances des commerçants. Mais celles-ci se font discrètement, sans que le public en soit informé. Celui-ci reste le plus souvent absent des activités métrologiques même s'il bénéficie de leurs résultats. Et, comme le montrent les exemples ci-dessus, lorsque la communauté scientifique ou celle des métrologues vont le voir, c'est pour lui faire des démonstrations de prestidigitateur (même si le « truc » n'est que la précision d'une balance).

Lorsque j'arrivai chez des métrologues, j'avais lu l'Arithméticien de Petit et j'étais fidèle à Condorcet. La métrologie était (et est) pour moi un instrument à la portée de tous, au service de tous. Face à l'inculture métrologique du public, je proposai de tenter de mettre sur pied un projet de diffusion de cette culture en accord avec la pensée des origines.

Je constate que malgré un réel désir de servir le public et le sentiment profond d'être les gardiens de l'héritage de la pensée des Lumières, ni les métrologues, ni les enseignants ne se sentent concrètement responsables de la diffusion de la culture métrologique actuelle. Les métrologues, parce que leur métier est de pousser la précision encore plus loin pour servir de socle aux recherches de pointe et aux chaînes métrologiques. Quant à la responsabilité des enseignants, leur problème n'est pas tant d'apprendre aux élèves à mesurer mais de leur présenter des résultats qui serviront à passer des examens. Il en résulte, par un effet quasi mécanique, un enseignement qui développe certains types de performances mais laisse en jachère le comportement exploratoire qui est le propre des autodidactes. S'il développe la

¹⁸⁸ Un angström est égale à 10^{-10} m

discipline intellectuelle, il reste néanmoins à l'opposé de ce qui est nécessaire à l'individu autonome, c'est-à-dire la capacité à baliser et mesurer et le désir d'explorer.

En métrologie, hors du domaine spécialisé, l'organisation des enseignements est tellement faible que le public est de plus en plus éloigné des pratiques effectives. L'enseignement de la métrologie est même paradoxalement absent de la plupart des formations d'ingénieurs, comme on peut le constater en consultant le site <http://www.cefi.org>¹⁸⁹.

De la recherche à l'action

Le système métrique décimal sur l'Internet

J'entrepris dès l'année 1996 de construire un site sur l'Internet : « Le système métrique décimal¹⁹⁰ ». La première page de ce site contient le petit « *Arithméticien décimal pour l'an 1809*¹⁹¹ ». Ayant transcrit dans un format html l'« *Idée générale* » et la « *Petite métrologie* » et une fois sur l'Internet, j'eus un sentiment de satisfaction : une ancienne et généreuse pensée « mise en lumière » sur l'Internet pouvait vivre à nouveau dans le monde ! Mon implication dans ce travail méthodique est forte, consciente et entière. Je m'appuie pour développer un espace métrologique commun sur une technicité et une expérience professionnelle antérieure, qui loin d'être occultée ici, est mise entièrement au service d'un projet d'innovation pédagogique concernant la diffusion de la culture métrologique et la formation à la métrologie pour le plus grand nombre.

En développant le premier site-test « Le système métrique décimal » sur des pages personnelles, je fis en sorte que le site soit techniquement « solide » et accessible depuis des postes très faiblement équipés¹⁹². Sur ce site, nul « Java script » compliqué et nécessitant des appareils puissants mais des pages accessibles même par des internautes ne pouvant que capter du texte. Je m'assurais que les pages se téléchargeaient rapidement pour ne pas pénaliser ceux qui n'ont pas un gros budget pour la consommation téléphonique, qu'ils soient en France ou dans un pays éloigné. Je fis en sorte que ce site soit suffisamment « ouvert » pour que ceux qui désirent donner leur avis ou faire des remarques le fassent sans contrainte. C'était une manière de tester l'intérêt des internautes pour la métrologie d'une part, et de construire un outil pédagogique favorisant le e-learning, de l'autre.

¹⁸⁹ Centre d'Etudes des Formations d'Ingénieurs (CEFI) où sont détaillés les différents programmes des « grandes écoles ».

¹⁹⁰ <http://www.quartier-rural.org/smd-si/index.html>

¹⁹¹ R. Petit. *Opus cit*,

¹⁹² En 1996, les équipements informatiques n'étaient pas aussi répandus qu'aujourd'hui.

Ce site était aussi un peu une bouteille à la mer. Je vivais pendant plus de trois années volontairement reculée et loin de toutes sollicitations extérieures, ma seule fenêtre sur l'extérieure était Internet et c'est avec émotion que je commençais à recevoir des messages de félicitations et d'encouragement ! Je me rendis compte que, tout comme je le faisais, d'autres personnes, en France, à Québec, aux Etats-Unis ou en Grande-Bretagne donnaient aussi une part de leur temps et de leurs compétences pour diffuser la culture métrologique. La gratuité de ce don nous était commune. Il créa des liens et confirme un fait : depuis la campagne tarnaise, j'appris à effectuer un bilan d'incertitude avec « Jack » comme professeur, métrologue à Québec.

Le site fut repéré par le directeur de la Sous-Direction de la Métrologie au Ministère de l'industrie¹⁹³. C'est en grande partie grâce à lui que le site ébauché commença à être connu, reconnu des métrologues et référencé sur les sites officiels des instances de la métrologie. C'est aussi par l'Internet qu'en 1998 je fus invitée à rencontrer les responsables du Bureau national de métrologie qui avaient alors des interrogations similaires aux miennes : comment diffuser plus largement une culture métrologique de base dans le public ?

Après trois années (96-99), je constatais que le site était de plus en plus visité. Dans un deuxième temps, (mars 2000) metrodiff.org fut créé. Accueilli par l'Ecole des Mines de Paris, le site bénéficie d'un bon appui technique et de moyens de mesures « wébométriques »¹⁹⁴. Il bénéficie aussi de l'intérêt et de l'apport de contributions de métrologues, de professionnels d'entreprise, de scolaires et de particuliers.

L'Institut national de métrologie du Conservatoire des Arts et Métiers

En octobre 1999, je rejoins l'Institut national de métrologie qui est le laboratoire primaire du BNM où sont matérialisées 4 des 7 unités du Système International d'Unités. Il était important de situer cette recherche au Conservatoire des arts et métiers. C'était suivre une logique de « raccordement historique » et considérer des traces fondamentales plus anciennes. A l'origine plus de deux cents ans auparavant, la métrologie est mise à la disposition de tous les citoyens. Le système métrique décimal est le premier système cohérent de métrologie scientifique, symbole de citoyenneté éclairée par la raison, de libération des hommes et de

¹⁹³ Il s'agit de Jean-François Magana devenu depuis Directeur de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML).

¹⁹⁴ Une part des mesures concernant les flux d'information sur Internet constitue la wébométrie.

fraternité des peuples. La métrologie est comme inscrite dans les vieilles pierres du Conservatoire dont la devise est « *docet omnes ubique* »¹⁹⁵.

« Le 19 vendémiaire an 3, la Convention nationale créa le *Conservatoire des arts & métiers*. L'objet de cet établissement est de recueillir les machines, outils, desseins, descriptions, procédés relatifs au perfectionnement de l'industrie & d'en répandre la connaissance dans toute l'étendue de la République. [...]

D'après la loi de son institution, le Conservatoire réunit les instruments de tous les arts à l'aide desquels l'homme peut, - Se nourrir - Se vêtir - Se loger - Se défendre - Etablir des communications dans toutes les parties du globe. [...]

Ce foyer d'instruction étant organisé, tous les moyens de perfectionnement de l'industrie étant recueillis et classés, il s'agira de faire participer les départements au bienfait de cet établissement. [...] Les moyens d'instruction doivent être disséminés sur la surface de la République, comme des réverbères sont répartis dans une cité. »¹⁹⁶

J'avais, avant de venir au CNAM, une représentation de la métrologie imprégnée de mon éducation. Le mètre était toujours la barre de métal conservée au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres. Je savais pourtant que le mètre était depuis 1983 la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde mais la première fois où je suis entrée dans la salle des lasers, l'ensemble du laboratoire que j'avais sous les yeux et les explications qui m'étaient données sur le fonctionnement des instruments de mesure me firent une forte impression. J'étais à la fois émerveillée par la découverte de ce présent métrologique et effrayée par le gouffre qui s'ouvrait devant mes yeux entre ce que je savais de la métrologie et ce que je constatais de sa réalité scientifique. Comprendre puis transmettre une culture métrologique de base, ce qui est mon objectif, me sembla compromis, mais je compris bientôt que la métrologie est une activité de nature collective et le partage d'une culture métrologique commune de base est de même essence.

Un réseau humain pour la diffusion de la métrologie

En venant demander leur aide aux métrologues, je soutenais l'idée que la culture métrologique est non seulement nécessaire à l'enseignement des ingénieurs mais *aussi* à celui de l'ensemble de la population, c'est-à-dire de tous. Il s'agit de technologies de pointe mais *aussi* de retour aux sources. Le pari est de demander aux métrologues et aux enseignants mais *aussi* aux élèves et au plus grand nombre d'aider à réfléchir aux moyens¹⁹⁷ à mettre en œuvre pour rendre réel le partage d'une culture métrologique commune, vivante et actuelle.

¹⁹⁵ « Il enseigne à tous et partout »

¹⁹⁶ Extrait du rapport fait par le citoyen Grégoire au nom d'une commission spéciale Sur le Conservatoire des arts & métiers. Séance du 17 floréal an 6 (en annexe)

¹⁹⁷ moyens matériels et immatériels

Le projet de construire un réseau humain dont l'objet serait la diffusion de la culture métrologique commença donc à l'Institut national de métrologie. L'équipe de l'INM prit ce projet de recherche en sympathie et aida à faire en sorte que le réseau en construction puisse se développer sur des bases solides. Pour constituer ce réseau, les métrologues prirent en main l'organisation des contacts et me demandèrent de rencontrer quelques « sages »¹⁹⁸ de la métrologie. C'est ce que je fis. J'ai rencontré d'éminents professionnels. Nous avons ensemble discuté le projet pendant plus de cinq mois à la bibliothèque du CNAM¹⁹⁹. À chaque personne rencontrée, j'expliquais d'où je venais, ce que j'avais vu sur le terrain de la pauvreté et quelles étaient mes motivations en préparant cette thèse.

Je montrai à chacun l'arithméticien décimal de Petit. Je dis combien il me semblait important de se préoccuper du partage de la culture métrologique comme un gage d'égalité dans une société cognitive où les plus faibles et les ignorants ne seraient plus à la merci des campagnes de désinformations orchestrées par les plus forts. Je perçus que mon enthousiasme était partagé. Cela renforça ma motivation personnelle et mon implication.

Qu'avais-je réveillé avec mes questions ? L'on pourrait penser que mon enthousiasme et la recherche en sciences de l'éducation suffirent à susciter l'intérêt de ces éminents professionnels. Il semble qu'il y ait une autre interprétation possible.

Mon interrogation sur l'absence de projets concrets d'envergure concernant la diffusion d'une culture métrologique de base dans le public et dans l'enseignement avait fait l'objet de plusieurs constats dans des études récentes. Notamment celle dirigée par Jean Kovalski, « *Quelle métrologie à l'aube du XXI e siècle ?* »²⁰⁰. D'autres études suivirent dont celles du Programme européen Leonardo mettaient en lumière les besoins en formation de métrologues pour les entreprises européennes. Malgré les expositions du bicentenaire de la Révolution française en 1989 et diverses manifestations ponctuelles présentant la métrologie au grand public, d'excellents romans²⁰¹ et des ouvrages d'histoire de la mesure parus récemment, la

¹⁹⁸ Les “ sages ” sont reconnus et hautement respectés au niveau international.

¹⁹⁹ La bibliothèque du CNAM est fermée au public le matin mais reste ouverte pour les salariés et les doctorants du Conservatoire.

²⁰⁰ Jean KOVALEVSKI. *Quelle place pour la métrologie en France à l'aube du XXIe siècle ?*, CADAS, Paris 1996, ISBN 2-7430-0108-9

²⁰¹ Notamment *Le mètre du monde* de Denis Guedj (et en 2002 une *Histoire universelle de la mesure* de Franck Jedrzejewski. Ed. Ellipses, Paris, 2002, 416 p)

communauté des métrologues avait identifié le problème de l'éloignement entre la métrologie de pointe et le public en France et en Europe.

La communauté métrologique depuis plusieurs années perçoit une défaillance par rapport à une vocation originelle initiale. Il semble que ce fait ait été longuement occulté tout comme une personne en difficulté ne peut pas s'avouer complètement l'état de délabrement dans laquelle elle se trouve. Ce délabrement n'a rien à voir avec les performances de la métrologie de pointe mais avec un non-dit concernant l'éthique lié au fait que la métrologie fut et est encore souvent tractée par un apport massif de crédits militaires. Entre ce fait et le mètre-étalon libérateur, il y a une contradiction. Entre la finalité profonde, essentielle de la métrologie en tant qu'outil de libération des hommes et de fraternité entre les peuples et l'hyper précision des « frappes chirurgicales » ou la métrologie appliquée à développer des armes du type des mines anti-personnelles, il y a un énorme fossé, voire un contresens

Beaucoup de métrologues sont conscients qu'il est temps de restituer la part libératrice de la métrologie au monde mais aussi de restaurer une part de bon sens lié à la pratique de la mesure en prenant en compte l'intérêt des gens pour la métrologie du quotidien.

Face au manque endémique de culture métrologique de base dans le public et dans l'école à combler, ce projet de recherche sortit de son cadre « individuel », pour devenir un projet collectif.

L'association Métrodiff fut créée au Conservatoire National des Arts et Métiers où elle est domiciliée. Les buts de l'association sont de « *mettre en place tout type d'actions pour la diffusion de la culture métrologique et la formation à la métrologie.* »

L'association Métrodiff

Constituer l'Association Métrodiff n'a pas été difficile car existait l'idée latente qu'il fallait « faire quelque chose » pour la diffusion de la métrologie au plus grand nombre. Chaque personne rencontrée avant la constitution de l'association est bien consciente que l'intention de cette recherche est de constituer *avant tout* un réseau **humain**. Les plus éminents métrologues français ont volontiers accepté, à titre personnel, de siéger au Conseil d'administration aux côtés de professionnels des sciences sociales et de l'éducation. Métrodiff a une place complémentaire dans le paysage de la diffusion de la culture et de l'enseignement existant. Elle ne cherche aucunement à s'opposer pour s'imposer mais à construire autour d'un intérêt commun, des relations de reconnaissance et de collaboration entre les acteurs de tous les niveaux, élèves, enseignants, métrologues, scientifiques, industriels et professionnels des

institutions d'enseignement et de métrologie. Le mouvement va dans le sens de la transparence et de l'intérêt général en créant la reconnaissance mutuelle par le développement de réelles synergies entre les personnes et les groupes. C'est là prendre modèle sur le fonctionnement original d'Internet :

« C'est une démarche qui se règle sur une tradition scientifique expérimentale basée sur le partage. L'Internet fut le premier protocole à publier ses standards et à tout mettre en oeuvre pour que ces standards n'appartiennent pas à une entreprise privée mais à l'humanité entière. Le logiciel libre est la suite logique de cette démarche. Chacun trouvant beaucoup plus pratique de ne pas s'appuyer sur les entreprises mais plutôt de créer ses propres logiciels, fonctionnant avec les standards de base. À force d'améliorations collectives par contributions et apports de savoirs et de compétences, ces logiciels libres sont beaucoup plus performants que ce que n'importe quelle entreprise pourrait faire. [...] Mis à la portée de tous, ces logiciels libres sont gratuits et téléchargeables depuis n'importe quel point du globe.»²⁰²

Sur metrodiff.org, n'importe qui peut donner son avis et participer à l'élaboration et la mise en accès libre de contenu concernant la culture métrologique. Les apports pertinents sont pris en compte et publiés.

Cette méthode demande du temps. Elle est aussi cohérente avec la pratique du développement des logiciels libres, lesquels sont accompagnés d'évaluations et de commentaires permanents et de critiques des usagers, publiés dans des listes de discussion, des forums ou des sites, par les développeurs eux-mêmes.

Des instruments de mesure peu ordinaires

Quant il s'agit de diffuser la culture métrologique, une discipline métrologique même sommaire devient nécessaire. Pour ce travail chaque action donne lieu à des formes originales, fussent-elles approximatives, de mesure de ses résultats.

Les résultats obtenus sont à la fois qualitatifs (données orales ou transformation des comportements d'élèves ayant participé à un atelier de sensibilisation à la métrologie) et quantitatifs (statistiques de fréquentation du site web ou nombre d'heures données bénévolement pendant le Fête de la Science 2000).

Chaque action décrite représente un exemple d'une distance parcourue entre un incréé et un existant. Chaque action a des méthodes de mesure, « sur mesure ».

L'association Métrodiff a été déclarée en avril 2000 à la Préfecture de Paris. Le site web met en place son forum « Métrologie du quotidien » pour la première journée mondiale de la métrologie le 20 mai 2000. Le 12 mai 2000, une rencontre est organisée à l'initiative de

²⁰²Extrait d'un entretien avec un ingénieur informaticien –développeur, membre de l'ISOC.

l'association Métrodiff dans la salle de lecture de l'INM au CNAM. L'objet de la réunion est de réfléchir ensemble à comment diffuser le plus largement possible la culture métrologique dans le grand public et dans l'école. Les personnes invitées ont des responsabilités dans le domaine de l'éducation et de la métrologie.

L'équipe réunie pour l'occasion s'engage dans un premier temps pour réaliser une action de sensibilisation pour la Fête de la science en octobre 2000. Nous sommes conscients que le temps est court et que l'association n'a pas de fonds propres. Nous aurions pu décider de nous arrêter là et attendre longuement des financements préalables mais même sans moyens de trésorerie l'équipe présente décide d'agir.

La Pyramide de la Mesure

L'idée d'une « Pyramide de la mesure » est émise par Eric Cattelain, linguiste et spécialiste de terminologie. Pourquoi une Pyramide ? Il ne l'explique pas en détail, mais la force du symbole est telle que l'adhésion des participants est rapidement acquise. Les références possibles sont multiples : l'Égypte, pour évoquer la métrologie comme construction millénaire ; le cristal, pour évoquer la recherche de la perfection... L'énigme est laissée en suspens, le mystère contribuera à stimuler la curiosité des visiteurs. Lieu de rencontre, la pyramide est un outil symbolique de diffusion de la culture métrologique. Elle repose sur l'idée est de favoriser la rencontre entre des scolaires, du public et des métrologues. « Une pyramide de la mesure » est une opération destinée aux scolaires et au grand public. Son objet est de faire découvrir la notion fondamentale de mesure, ses moyens et ses applications, comme porte d'entrée décisive pour la compréhension des autres sciences.

Raymond Montery réalise gracieusement les plans. Compte tenu des moyens disponibles, la pyramide sera haute d'un mètre cinquante et aura une base carrée de 1,78 m, longueur de la canne de Toulouse, patrie de l'architecte.

Un découpage cartonné contenant une pyramide en modèle réduit, rappelle les principes métrologiques de base.

Les cinq faces (4 + 1 base) de la pyramide sont exploitées pour poser aux publics ces 5 questions essentielles à toute mesure :

1ère face : Que mesure-t-on? (- Quelle est la grandeur mesurée ?)

2ème face : Pour quelles applications ? (- Avec quels objectifs et contraintes ?)

3ème face : Avec quels instruments? (- Avec quels modes opératoires ?)

4ème face : Avec quelle référence ? (- Unités)

5ème face dite cachée : Avec quelle incertitude ?

Dès le début de la réalisation, le projet bénéficie de nombreuses collaborations au sein du Conservatoire des arts et métiers. Des entreprises nous font confiance alors que nous n'avons aucune garantie de paiement²⁰³.

En tant qu'instrument, la pyramide mesure la capacité de mobilisation d'un ensemble de personnes, de métrologues et d'enseignants autour d'un projet pédagogique. L'intérêt du public, des entreprises et des élèves peut se mesurer, la pauvreté des moyens matériels mis à la disposition de la diffusion de la culture métrologique aussi. Cette pauvreté est loin de faire obstacle au projet de sensibilisation à la métrologie mis sur pied : cette pyramide-prototype a plus de valeur pédagogique que n'en aurait eu une pyramide « parfaite et finie ». De fait, il n'était pas question à mettre la science métrologique en spectacle de manière plus ou moins condescendante, mais de montrer comment, avec de faibles moyens matériels et beaucoup de motivation, le résultat humain dépasse ce qu'une grande exposition aurait pu générer.

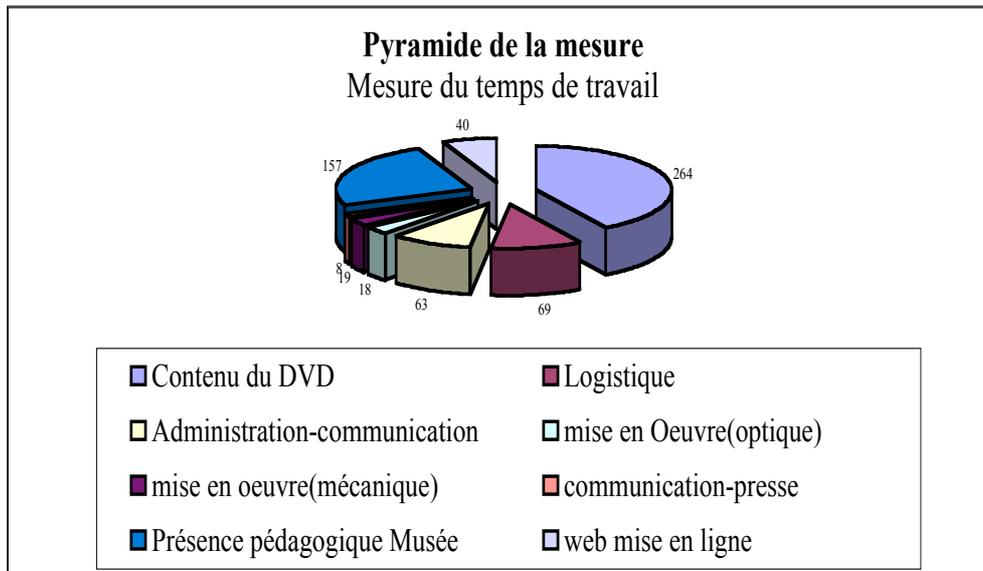
Les circonstances font de la pyramide de la mesure un prototype qui demande des améliorations. Et malgré l'adversité et les conditions difficiles de mise en œuvre nous pouvons faire un bilan positif à la fin de l'action et constater que les effets de la pyramide de la mesure sont encore à l'œuvre. Les effets de la sensibilisation dure dans le temps. Il semblerait que cette pyramide, confiée actuellement à des élèves de BTS du Lycée Fresnel, pourrait être à nouveau opérationnelle pour la Fête de la science 2003 et fêter les vingt ans du « mètre-lumière » (octobre 1983/ octobre 2003).

La pyramide est un instrument peu ordinaire. Elle mesure un degré de motivation. Cette motivation s'exprime par **un don en temps et en compétences** mis volontairement au service du public dans le cadre d'une action collective de diffusion de la culture métrologique.

Dans la société, le temps de travail rémunéré est le plus souvent considéré comme une valeur en soi, voici un ensemble de mesures représentatives d'un temps de travail *donné*.

Les valeurs des rubriques du graphe ci-après sont tout simplement une somme d'heures de travail comprises entre le 12 mai et le 31 octobre 2000.

²⁰³ Nous n'avons alors aucune pièce écrite concernant les subventions allouées pour cette réalisation.



Graphe 6 : Pyramide de la mesure : Mesure du temps de travail donné

Total des heures données entre le 12 mai 2000 au 31 octobre 2000 : 638 heures

Entrent dans les rubriques génériques un certain nombre d'opérations. Le lieu central des opérations pour la construction de pyramide est le CNAM. Il est arbitrairement ajouté aux heures effectivement passées en réunion de travail une heure pour un trajet aller-retour quand une personne vient au CNAM depuis l'extérieur ou lors des déplacements hors du CNAM.

Contenu du DVD

Entrent dans de cette rubrique :

- la somme des heures passées à la recherche d'informations concernant les supports pédagogiques existants et utilisables dans notre contexte²⁰⁴
- le temps passé à discuter avec les représentants des instances de métrologie et les professionnels de la métrologie pour approcher une réalité métrologique transmissible au plus grand nombre
- la mise en œuvre du DVD, c'est-à-dire, la recherche et le traitement des photos, des images, des textes et leur agencement pédagogique et technique²⁰⁵.
- le temps de vérification de la cohérence de notre message auprès des métrologues et des instances de métrologie.

Sont également comptabilisées sous cette rubrique, les heures passées avec les responsables pédagogiques du Rectorat de l'Académie de Paris, des professionnels de l'IUFM et d'autres personnes actives dans des associations de diffusion de la culture scientifique et technique.

²⁰⁴ Opération de diffusion visant à mettre en route un mouvement de diffusion plus important dans les années à suivre.

²⁰⁵ En 2000 les logiciels de traitement, de gravure et de lecture de DVD sont encore peu développés.

Cette rubrique ne comptabilise que les heures effectivement utilisées à construire le dispositif pédagogique.

Communication

Sous la rubrique « communication », entrent :

- les heures de rédaction de comptes-rendus de réunions et leur communication,
- le temps passé à développer le réseau des partenaires potentiels,
- le temps d'appel téléphonique, de rédaction et d'envoi des courriers

Logistique

Dans la rubrique « logistique » entrent :

- les heures d'organisation des réunions,
- la réservation des salles,
- la commande des services ou de pièces matérielles et leur réception,
- la vérification avant l'impression du dépliant cartonné. ...

Mise en oeuvre (optique)

Cette rubrique comptabilise les heures passées à la conception et au montage du dispositif optique. Ce dispositif imaginé par des ingénieurs du CNAM est loin d'être simple. Le fait de prévoir cette rubrique indépendante permet aussi de suivre par la suite le temps « nécessaire » entre la mise en œuvre par des ingénieurs opticiens et métrologues d'un prototype à celui nécessaire à des élèves de BTS « optique » pour l'améliorer.

Mise en oeuvre (mécanique)

Cette rubrique contient le temps de toutes les discussions, de calcul et la mise en œuvre du dispositif mécanique. Cette rubrique ne comptabilise pas la réalisation de la structure métallique en entreprise mais la conception, les plans, les essais, les réglages, le montage et le démontage de l'objet « pyramide de la mesure ».

Communication-presse

Sous cette rubrique entrent les heures réellement passées avec un journaliste. L'activité « presse » a été en grande partie assurée par des organisateurs de la Fête de la science et le site metrodiff.org. Cependant, c'est un temps différent de celui de communication plus général et régulier.

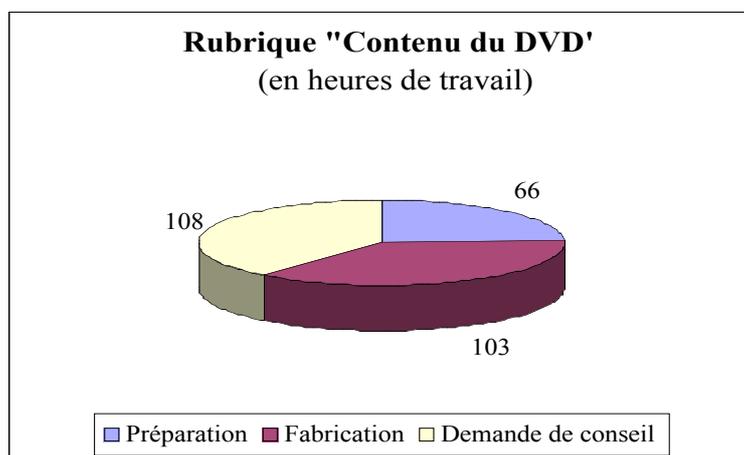
Accueil au Musée

Cette rubrique comptabilise les heures de présence des 29 métrologues venus au Musée des arts et métiers auprès de la pyramide à la rencontre du public et les élèves entre le 17 et le 22 octobre 2000. Entrent également dans ces heures mes 50 heures de présence et d'accueil pendant cette semaine.

Mise en ligne sur le site metrodiff.org

Ici entrent les heures passées à mettre en valeur l'opération sur Internet. Ce qui représente le traitement d'informations et de documents de nature diverse²⁰⁶ et leur mise en page sur Internet.

Chacune de ces rubriques peut être décomposée en des mesures plus fines.



Graphe 7 : Heures de travail données pour la construction du DVD de la pyramide de la mesure « Contenu du DVD ».

Préparation

Dans la rubrique « préparation » sont additionnées les heures passées à mettre au point l'idée de la pyramide et parvenir à la réaliser. Par exemple, la réunion du 12 mai 2000 réunit neuf personnes à l'Institut national de métrologie. Nous passons deux heures à définir les besoins immédiats et les apports possibles pour commencer concrètement une action de diffusion de la culture métrologique. Huit personnes viennent de l'extérieur. Nous comptabilisons donc vingt six heures pour une réunion effective de deux heures. De même la réunion du 13 mai 2000 réunit trois personnes pendant trois heures. Deux personnes se déplacent. le total est de onze heures pour trois heures effectives de travail, hors de la rédaction et de la communication du compte-rendu.

Demande de conseils

Cette rubrique « demande de conseils » regroupe les heures plus particulièrement consacrées à la conception du message du DVD et à la recherche des éléments. Nous allons par exemple voir les responsables des chaires²⁰⁷ du CNAM pour leur demander ce qu'ils pensent nécessaire

²⁰⁶ Photos, enregistrements audio, textes, images au format gif, JPEG, etc. ...

²⁰⁷ Physique, optique, chimie, mécanique, acoustique, formation pour adultes ...

de transmettre en matière de métrologie à un public néophyte. Ces rencontres ont un double objectif. Elles permettent de prendre en compte les idées et les conseils de professionnels et d'enseignants qui utilisent la métrologie sans être métrologues eux-mêmes. Elles font savoir à l'ensemble des équipes du CNAM qu'une démarche de diffusion de la culture métrologique pour tous est en route. Cette double approche nous a semblé nécessaire car elle montre une vraie motivation (et mobilisation) collective lorsqu'il s'agit de créer et construire un outil symbolique lié à la connaissance de la mesure. Les demandes de conseils sont aussi l'occasion de rencontrer d'autres associations de diffusion de la culture scientifique et technique pour mettre en œuvre des synergies. L'avis des professionnels déjà actifs dans le domaine est nécessaire. La spécificité à la fois métrologique et humaniste de la démarche pédagogique cherche à produire de réelles collaborations en créant un espace commun.

Il n'est pas rare de constater que la métrologie (ou la mesure) est souvent « évidente » même pour des animateurs scientifiques. Elle n'est pas toujours considérée comme la base même d'une démarche scientifique et technique. Sensibiliser aux sciences et aux techniques sans métrologie car il manque alors un pan entier des conditions de la démarche d'expérimentation scientifique ou technique.

Fabrication de la pyramide de la mesure

Sous cette rubrique, sont comptabilisées les heures effectivement passées à fabriquer concrètement le DVD. C'est-à-dire l'organisation et le traitement de toutes les données préalablement collectées dans la phase « demande de conseils » et leur mise en œuvre technique. Ont travaillé à cette phase²⁰⁸, des professionnels du CNAM des Services « Photos », « Production vidéo », « Dessin » et moi-même. Les images ont toutes nécessité des traitements informatiques importants.

Toutes ces heures généreusement données contribuent à la diffusion de la culture métrologique. Cependant comme de nos jours l'évaluation des projets est souvent une évaluation financière, la somme d'heures de travail donné est réduite ici et pour la circonstance à une estimation en valeur monétaire.

La base de calcul est le coût horaire moyen d'un ingénieur d'étude du Conservatoire des arts et métiers. Ce coût est chargé des prestations sociales et d'un coût moyen de fonctionnement qui lui sont inévitablement liés. Ces coûts sont calculés sur les valeurs comptables légalement appliquées sur des salaires de la fonction publique en 2000. C'est un choix simplifié mais il

²⁰⁸ Et même le samedi !

n'est pas cherché à prendre en compte des différences de coûts salariaux que représenterait l'analyse détaillée et exhaustive des différences de statuts des personnes qui ont collaboré à la pyramide de la mesure, ni d'approcher le millième d'euro. Ce calcul est uniquement là pour évaluer un *don d'heures et de collaboration pour la co-crédation* d'un objet symbolique *illustrant une volonté pédagogique*.

Prendre comme référence le salaire d'ingénieur d'étude du CNAM s'accorde avec le fait que la majorité des contributeurs de ce projet sont ingénieurs ou techniciens supérieurs. L'heure d'intervention d'un ingénieur est environ 100 euros. Considérant que la pyramide de la mesure a bénéficié d'un don de 638 heures de travail entre le 12 mai 2000 et le 31 mai 2000 : le coût virtuel et symbolique de la pyramide est de 63 800 euros (hormis la valeur des dons matériels dont elle a bénéficié). Le coût de la gratuité de la pyramide de la mesure fut approximativement de 418 528 F.

«Appel à contribution » pour l'amélioration de la pyramide

Dès son origine, la pyramide de la mesure est conçue comme un lien, un lieu de rencontre entre élèves, enseignants, publics, scientifiques et métrologues de laboratoires scientifiques ou industriels. L'aspect vivant et humain est premier. C'est une manière de ne pas oublier que depuis son origine, humanisme, éducation et métrologie sont intimement liés à ce lieu prestigieux.

La pyramide de la mesure, en tant que prototype, permet *aussi* de donner la parole aux publics. Leurs avis sur des améliorations possibles et pensables à apporter dans l'avenir à la pyramide de la mesure ont été sollicités comme un « appel à contribution ». Ces témoignages et critiques ont été enregistrés sur place, pendant toute la durée de son exposition sur un dictaphone et transcrits ensuite.

Les critiques des élèves et du public

Dans une large mesure, il est souhaité:

- une pyramide de la mesure où l'on entrerait
- des images plus grandes et plus visibles
- que les questions soient écrites sur le chapeau de la pyramide
- des posters autour de la pyramide
- des manipulations ludiques pour mieux comprendre la matérialisation des unités

Les élèves et le public restent fascinés par les instruments de mesure. Une demande importante porte sur le nom des instruments de mesure, leurs domaines d'application, leur précision, leur fonctionnement...

Les critiques des métrologues

- La pyramide de la mesure est une réussite. Tout d'abord une réussite technique et esthétique. La pyramide est véritablement belle. Elle attire les regards et suscite l'intérêt ; j'ai pu le constater pendant mon après-midi au musée. Une réussite aussi parce qu'elle constitue une initiative en faveur de la Science en Fête, de la promotion du CNAM et de la métrologie.
- Mon impression générale de la pyramide de la mesure est assez positive. D'un point de vue technique, la pyramide aurait besoin d'être révisée essentiellement pour la taille de l'image.
- Un grand bravo pour oser la vulgarisation de la métrologie. »

Les témoignages des élèves

À l'issue des rencontres avec les métrologues, deux questions sont posées aux élèves²⁰⁹.

- Maintenant pour vous c'est quoi la métrologie ?
- Est-ce que la métrologie vous semble importante ? Pourquoi ?

Voici les réponses les plus significatives :

« La métrologie ça touche à tout »

« C'est une découverte pour nous »

« On prend conscience que pour faire de la science, il faut connaître la métrologie »
(élève de seconde)

« La métrologie c'est quand on mesure quelque chose. » (élève de 5^{ème})

« Quand je prendrai un thermomètre, je ne le regarderai plus de la même manière »
(élève de 5^{ème})

« J'ai appris la candela, l'unité de la lumière et le kelvin, l'unité de température. »
(élève de 5^{ème}) ;

« la métrologie mesure tout ce dont on a besoin. La métrologie c'est la science des mesures, c'est important parce que sans mesure on est perdu. Si on veut construire sans mesure on est perdu. » (élève de CM1)

« on prend conscience de l'univers ou de choses très petites par rapport à nous. »
(élève de CM1) –

« La mesure c'est important parce que l'on a toujours besoin d'avoir des repères. »

« On a besoin de mesurer les choses pour comprendre ce qui se passe autour de nous, c'est pour ça que la métrologie est importante. »

« La métrologie c'est quand on est pas sûr du résultat qui peut être différent si on a plusieurs instruments. »

« C'est important la métrologie pour avancer dans les connaissances des sciences. En fait c'est important pour les études scientifiques et techniques. C'est aussi technique puisqu'il y a les instruments que l'on utilise et il faut que l'on sache comment ça marche pour aller plus loin dans les sciences. » (élève de seconde)

« Ce n'est pas ce que l'on nous demande. Participer à des ateliers mis en place dans l'école ce serait bien pour mieux comprendre. Pourquoi en cours de physique il n'y a pas une option métrologie ? » (élève de première)

Les témoignages de métrologues

Après avoir demandé aux élèves de réagir sur ce qu'ils avaient compris ou entendu concernant la métrologie, leur témoignage est demandé aux métrologues venus nombreux rencontrer les publics au Musée des arts et métiers.²¹⁰ Voici quelques réponses significatives :

²⁰⁹ qui acceptent de répondre ou pas

²¹⁰ Y compris le samedi et le dimanche! Parfois jusqu'à cinq métrologues sont présents pour expliquer leur métier et répondre aux demandes des gens et des élèves.

« La rencontre avec une classe de troisième est très vivante. Le mot 'métrologie' ne fait pas partie de leur vocabulaire mais la « mesure », elle, est bien connue. Elle est conçue comme l'outil qui permet de mesurer les choses complexes dans les laboratoires de recherche ou de l'industrie. Ils imaginent moins qu'elle a des incidences quotidiennes. Il a fallu les aiguiller fermement pour qu'ils pensent à leur thermomètre médical ou de salon, pour qu'ils pensent à la balance du boucher et à l'indicateur de la pompe à essence. »

« L'incertitude est finalement une notion que les élèves acceptent. Mais ils la prennent comme un mal nécessaire dont ils ne savent pas quoi faire. La classe de seconde beaucoup plus studieuse ne connaît pas non plus le mot de métrologie. Pour eux aussi la mesure est quelque chose de lointain (pour des laboratoires). Ils connaissent la plupart des unités de base, mais ils ne conçoivent pas de nécessité d'avoir des étalons sauf pour les unités « vedette » : le mètre, le kilogramme et la seconde. Par conséquent ils ne voient pas trop l'intérêt d'une discipline telle que la métrologie. Ils pensent que tout le travail est déjà fait depuis longtemps. »

« Après avoir expliqué l'intérêt des étalons, de leur évolution, et beaucoup insisté sur l'idée d'incertitude, j'ai donné l'exemple du dénombrement des billes d'un sac comme n'étant pas de la métrologie. Une élève a alors conclu que tout ce que l'on pouvait bien connaître n'était pas de la métrologie et que ce qui était mal connu était de la métrologie. Le message est peut-être passé un peu abruptement. »

« Quelques questions ont eu trait aux métiers de la métrologie. J'ai à ce propos évoqué le mot de « qualité » qui est tout aussi inconnu pour les élèves rencontrés que celui de métrologie. »

« La classe de cinquième est remarquablement préparée par leur professeur. Cette visite est un élément de la pédagogie de l'année qui va inclure la métrologie. Ils ont mesuré les arêtes de la pyramide et obtenu évidemment des résultats variés. Les unités autres que le mètre, le kilogramme et la seconde sont bien mystérieuses. Pour eux l'incertitude est facile à admettre même s'ils ne savent pas trop quoi en faire. »

Conclusions relatives à la pyramide

La pyramide est *un instrument de mesure* qui montre un intérêt commun où agit une motivation collective. Elle est aussi prévue comme un départ d'un mouvement plus exhaustif en matière de diffusion de la culture métrologique.

Considérée par chacun comme le départ d'une plus vaste campagne de sensibilisation à la culture métrologique, aujourd'hui, après deux ans d'existence²¹¹, la pyramide de la mesure continue sa vie physique et symbolique dans l'école. Pendant l'année scolaire 2001-2002, le dispositif optique prototype de la pyramide a été confié à une équipe d'élèves préparant un BTS au Lycée Fresnel. Cette opération commencée en 2001-2002 se continue pendant l'année scolaire 2002-2003 avec la même équipe d'enseignants mais avec d'autres élèves. L'événement « pyramide de la mesure » a également incité certains enseignants à inscrire leur classe dans un des deux **ateliers de sensibilisation à la métrologie**.

²¹¹ Dont huit mois dans une cave du CNAM

Ces ateliers expérimentaux ont donné des résultats intéressants, mais il est encore difficile de développer tous les aspects concernant ce travail dans cette thèse. Il semble prudent d'attendre quelque temps pour tenter une évaluation des résultats.

Un entretien avec l'enseignante de mathématiques qui a animé deux de ces ateliers en classe de cinquième pendant l'année scolaire 2000 – 2001 est en annexe.

Au 31 août 2002, la page « Le microscope », page réalisée par des élèves au cours d'un de ces ateliers de sensibilisation à la métrologie est la plus demandée sur le site metrodiff.org.

Le site Internet de Métrodiff

Dès que l'association Métrodiff est fondée, elle bénéficie officiellement de l'aide du CNAM et de l'Ecole des Mines de Paris. L'Institut national de métrologie²¹² héberge un bureau au CNAM et le Centre de recherche informatique (CRI) de l'Ecole des Mines héberge le site de Métrodiff sur un de ses serveurs.

Ce site Internet a plusieurs fonctions. Celle qui permet de **rassembler** dans un même lieu virtuel un ensemble de liens qui montre de façon non exhaustive mais importante un ensemble de sites officiels ou non, contenant des liens et des informations du domaine de la métrologie. Cette action de rassemblement de liens est *aussi* l'occasion de « rencontrer » des personnes. Chaque lien ajouté sur les pages est une occasion de prendre contact avec l'administrateur du site mis en lien et de faire connaître l'association, son site, ses buts et ses actions.

Pour vérifier que e-learning et métrologie ne sont pas incompatibles, des capteurs installés sur le site metrodiff.org ont mesuré la fréquentation de metrodiff.org pendant un temps défini (qui correspond à la durée de la préparation de cette thèse²¹³). Les résultats positifs permettent d'envisager dans un deuxième temps de tenter de développer l'e-learning sur metrodiff.org. Pour que le site metrodiff.org fonctionne en tant qu'instrument de mesure, il n'a pas été cherché de construire un site « parfait » mais un site vivant où chacun est invité à participer au développement de l'espace commun. Les premières pages contiennent un rappel systématique notifiant qu'un appel à contribution reste ouvert et permanent pour l'amélioration du site, sa qualité ergonomique, ses contenus, son image, sa lisibilité, etc.. L'espace est ouvert à une démarche de construction collective. Celles ou ceux qui le désirent peuvent participer à la

²¹²BNM-INM-CNAM

²¹³ 1999-2002

construction, au développement et à la qualité du site considéré comme un espace commun construit collectivement²¹⁴. La participation effective des personnes dans ce mouvement est « mesurable », et autant le dire, considérable. Les compétences qui sont données pour le bon fonctionnement de l'ensemble du site Internet, du forum et de la liste de discussion sont autant de résultats qui montrent le passage d'un incréé à une réalisation collective. L'ensemble des développeurs de ce site participe à l'animation, à la construction et à l'organisation de contenus du site et par là même à son histoire et à son identité. Pour ne donner qu'un exemple : les abonnés à la liste de discussion “Météologie du quotidien” ont collectivement et à distance écrit un ensemble d'articles où peuvent venir puiser les journalistes lorsqu'ils abordent la question météorologique ou l'histoire de la mesure. Les articles issus de cette collaboration sont toujours en ligne et régulièrement téléchargés.

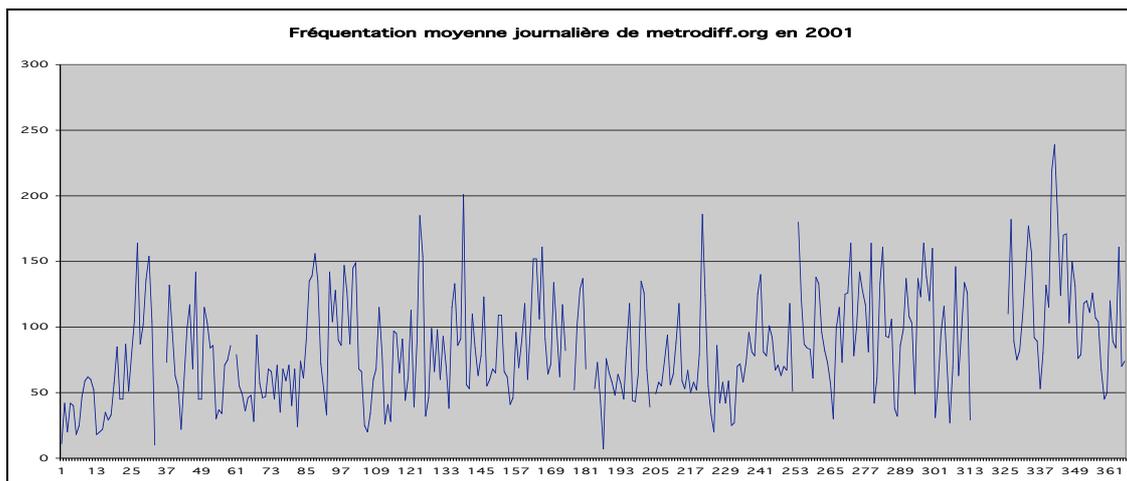
Le site web comme instrument de mesure

Le Site de metrodiff.org est hébergé par le Centre de recherche informatique de l'Ecole des Mines de Paris. Grâce à une analyse systématique des « logs »²¹⁵, la fréquentation du site est mesurée en continu. Les résultats présentés ci-dessous sont extraits de cette analyse. Par ailleurs, la seule année complète dont nous avons les mesures de fréquentation est l'année 2001. Pour harmoniser les résultats et donner une idée de l'évolution du site depuis sa création (3 avril 2000), les moyennes mensuelles sont corrigées.

D'une année sur l'autre, on observe une croissance régulière de la fréquentation, qui passe de 1260 pages par mois en 2000 à 2600 en 2001 et 4079 en 2002. Le chiffre de 2002 devrait être plus important encore, la fréquentation ayant été obérée par d'importantes pannes du serveur en avril et en août 2002.

²¹⁴ En 2003, après plus de deux ans d'existence et à part quelques actions de *spam*, c'est à dire de publicité sauvage, le site n'a bénéficié que de volontés positives.

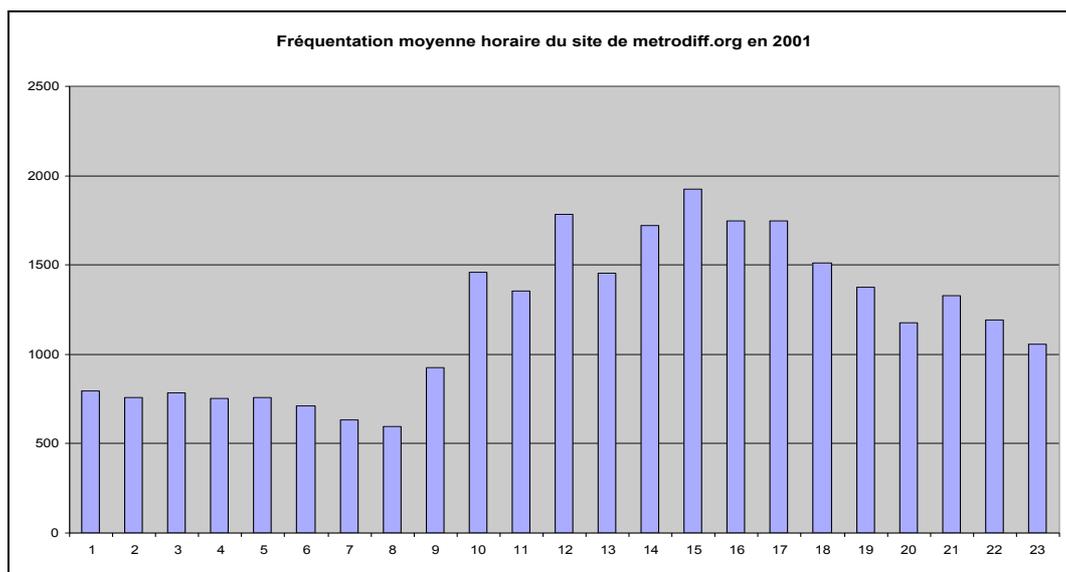
²¹⁵ Les logs sont des fichiers dans lesquels les serveurs écrivent des lignes de texte permettant de retracer les connections qu'il a reçu et comment il y a répondu.



Graphe 8 : Fréquentation moyenne journalière du site metrodiff.org en 2001

Ordonnées : nombre de pages visitées – abscisses : jours de l'année 2001

La fréquentation journalière pendant l'année 2001 donne d'autres informations. On constate, par exemple, la consultation du site pendant les week-ends, et même les 25 et 31 décembre.



Graphe 9 : Fréquentation moyenne horaire en 2001 du site metrodiff.org

Ordonnées : nombre de pages visitées – abscisses : heures de visite

Les chiffres de la fréquentation horaire montrent aussi que le site est appelé 24 h sur 24, avec certes, des pics de fréquentation de 9 à 11h et de 15 à 17, mais les visiteurs de la tranche 21-22h ne sont qu'un tiers de moins que ceux de ces pics aux heures de bureau. C'est là un signe parmi d'autres des mœurs autodidactes et des internautes. Leurs horaires ne suivent que de loin ceux du travail officiel.

Conclusion relative au site metrodiff.org

La première observation qui s'impose au vu de l'expérience de construction et d'animation de ce site est l'extraordinaire capacité de mobilisation que permet Internet. Une seule personne derrière son clavier peut espérer plusieurs milliers de lecteurs par mois, alors que les tirages éditoriaux des ouvrages techniques les mieux documentés atteignent cet ordre de grandeur (quelques milliers) pour la totalité de leur commercialisation.

Le site de Métrodiff, tout comme le site « Le système métrique décimal devenu SI » est conçu comme un outil et un lieu de diffusion de la culture métrologique vers le plus grand nombre. Ce site est de fait un espace commun. Sa conception et son organisation ont été orientées pour favoriser et mieux comprendre des comportements d'e-learning. Même si de grands mystères existent quant aux comportements des internautes, nous pouvons faire plusieurs remarques à partir des analyses. La première est que c'est « le microscope », une page réalisée à partir de travaux d'élèves de cinquième, qui est la plus « citée » en 2002 ! Ensuite viennent, en ordre décroissant, les autres pages les plus citées dont un document relatif aux thermomètres mis à disposition par un enseignant à l'Université de Montréal en 2001, abonné du forum de discussion « Métrologie du quotidien ». Ce document est téléchargeable sous format word. Ensuite vient la page qui renvoie vers un grand nombre de sites de métrologie. La page d'accueil et celle du vocabulaire spécifique à la métrologie viennent en quatrième et cinquième positions. L'intérêt pour la métrologie historique se manifeste en huitième position (sur dix-neuf).

Les internautes viennent sur les pages de metrodiff.org, c'est un fait. Par contre il est beaucoup plus difficile de savoir ce qu'ils y cherchent et ce qu'ils y trouvent. Il semblerait nécessaire d'approfondir la connaissance des pratiques et des comportements des internautes.

Les mesures effectuées montrent l'intérêt d'un large public pour la métrologie. Les professionnels d'entreprises cherchent des informations métrologiques particulières et répondent aux questions posées sur les forums. Néanmoins, cet outil soulève encore plus de questions qu'il n'apporte de réponses. Sans doute, les instruments de mesure donnent beaucoup d'informations par mesures wébométriques : on connaît la provenance des visiteurs (au moins le suffixe de leur adresse), les moteurs de recherche par lesquels ils sont arrivés, les horaires des consultations, mais on ne sait pas pour autant ce qu'ils cherchent, ce qu'ils aimeraient trouver, ni ce qu'ils sont disposés à entreprendre dans un réseau d'entraide. (Il est prévu prochainement d'organiser un « appel à contribution » pour bénéficier des remarques des internautes dans ce domaine.)

Par les forums de discussion, des questions précises peuvent trouver des réponses précises : la définition d'un terme de métrologie, l'adresse d'un laboratoire compétent, une recherche de spécialiste ont pu aboutir grâce aux forums de Métrodiff. C'est peut-être le début de la constitution d'un réseau d'entraide professionnel, tel que celui qui s'est construit autour de Bernard Béguin (Villeneuve d'Ascq) avec le forum Cap-com, lequel regroupe plus de 600 responsables de communication des collectivités locales. Les instruments de mesure en « webométrie » ne sont pas très précis pour indiquer ce que cherchent ou ce que trouvent les internautes, mais permettent seulement de savoir d'où ils viennent.

Les internautes arrivent le plus souvent en passant par le premier site construit de 1996 à 2002 - Le système métrique décimal devenu SI²¹⁶. Ce site renvoie vers la page d'accueil de metrodiff.org. Ceci n'est pas surprenant car comme il a été souligné plus haut, le mot métrologie étant presque inconnu du public et de certains professionnels, j'en déduis que lorsqu'une personne a besoin d'information concernant la mesure, elle demande au moteur de recherche « le système métrique ». Arrivée sur le site concernant le système métrique décimal, la personne va, de là, sur les pages de metrodiff.org où elle trouve des informations concernant la métrologie. Enfin la plupart des internautes sont orientés vers metrodiff.org depuis les moteurs de recherche. (google.fr, .be, .de.. voila, yahoo etc...) mais aussi de sites comme celui de metrologie.org²¹⁷, bnm.fr²¹⁸ ou cartable.net²¹⁹.*

Vers l'élaboration d'un contenu pédagogique de la métrologie du quotidien.

En tant qu'adulte, je ne suis pas sûre de bien savoir avec quel genre de manuel des enfants, qui sont ici des élèves, ont envie d'apprendre. Par ailleurs, je ne sais pas, en tant que non-métrologue, ce que des métrologues pensent qu'il est nécessaire que le public, les élèves ou les professionnels en formation qualifiante sachent, comprennent et s'approprient concernant leur culture²²⁰. C'est à partir d'une démarche pédagogique favorisant l'autonomie de chacun et la participation de tous que je suis allée demander à des élèves et à des métrologues de faire des propositions. La contribution d'un groupe d'élèves d'une classe primaire et celles de métrologues se répondent mutuellement et s'intègrent dans une réflexion d'ensemble.

²¹⁶ www.quartier-rural.org/smd-si/

²¹⁷ www.metrologie.org

²¹⁸ www.bnm.fr/divers/actualites.htm

²¹⁹ cartables.net/ressources/sciences.php3

²²⁰ Les avis des métrologues sur l'enseignement de base en métrologie sont pp. 236-239

En allant rencontrer les élèves de l'école de primaire de Varen et en leur demandant de donner leur avis sur ce qu'ils pensent être un manuel scolaire de métrologie, je reste fidèle à l'idée de construire *ensemble* un espace métrologique commun. Un espace coopératif, où l'intérêt commun prime sur les intérêts particuliers. Demander à des élèves comment ils imaginent un ouvrage pédagogique, c'est leur demander ce qu'ils savent le mieux. Ils sont compétents pour donner un avis pertinent sur les supports pédagogiques dont ils ont besoin pour apprendre et pour s'intéresser à ce qu'ils apprennent. Ce faisant, c'est leur confier une part de responsabilité dans la création, la construction et le développement de leur propre outil de connaissance. Cette étape de réflexion préalable est déjà une production de nouvelles connaissances.

Pour savoir si « ça marche et jusqu'à quel point ? », une mesure est nécessaire. Est-ce que les élèves et leurs enseignants jouent le jeu ou mieux encore « se prennent au jeu » ? Quelle est la qualité et la pertinence de leurs propositions ? Un dispositif de mesure adapté permet de rendre visibles la démarche utilisée et les résultats obtenus. Ce travail est loin du domaine de l'unité de mesure du SI mais il s'en rapproche par le respect de la négociation et de l'échange.

Contribution des élèves de Varen à la définition d'un manuel scolaire de métrologie

Le 11 mars 2000, préalablement préparée avec le directeur, la rencontre a lieu avec une classe de l'école rurale de Varen-Lexos (82). Cette rencontre a pour objectif de donner la parole aux destinataires potentiels de l'enseignement de la métrologie : les élèves de primaire.

En tant qu'adulte, je suis consciente que les experts ici ce sont eux. Ils acceptent volontiers de **contribuer** à un projet de réflexion sur l'enseignement de la métrologie. Leurs avis, intégralement mis à disposition sur Internet, seront pris en compte si les moyens permettent d'aller jusqu'à la réalisation d'un manuel « métrologie ».

C'est un samedi matin. Ce jour-là un vif soleil de mars brille de tous ses feux printaniers. Les élèves, réunis dans une salle de classe sont curieux et motivés pour cette séance peu ordinaire. Nous leur présentons, le maître et moi, l'objet de la rencontre : aider des adultes à réaliser un livre d'école en donnant leur *avis d'élèves*. La discussion dure 45 min. Elle est très animée. Les 22 élèves participent très sérieusement à la réflexion. Ils comprennent bien que *nous avons vraiment besoin d'eux*. La métrologie est présentée comme la science de la mesure, celle des centimètres, des grammes, mais qui, avec l'évolution de l'environnement technique et scientifique, s'est beaucoup compliquée. Est-ce qu'on mesure « la distance de la terre à la lune ? » demande l'un d'eux. Oui, on mesure les distances mais aussi les températures, l'électricité, la vitesse, le temps et bien d'autres choses encore.

C'est avec une bonne connaissance de l'utilisation des manuels scolaires qu'ils émettent des propositions pleines de bon sens sur la forme et le contenu d'une valise pédagogique « Métrologie ».

N'étant pas habitués dans cette école à utiliser la vidéo ni Internet, les élèves participent plus particulièrement à la définition de ce que serait un manuel de métrologie pour des élèves de l'école primaire mais pouvant servir aussi au collège et même peut-être au lycée et dans la formation professionnelle. Voici leur avis. Leur expression est respectée. Les mots écrits sont les leurs.

Un livre et une cassette vidéo, c'est une bonne idée.

Le personnage

L'idée d'un **personnage**, ami des métrologues en herbe et féru de métrologie est à retenir **ABSOLUMENT**. C'est un enfant. Il est en rollers ou en skate, avec ou sans cartable, ça dépend des fois. Il est « cool », rigolo, il fait des bêtises, bref : il a de l'humour ! Il devra présenter les exercices de façon ludique.

Le personnage est-il un garçon ou une fille ?

Après discussion, il est conclu que de toutes façons, il est habillé. - Il sera habillé en astronome quand on sera sur les pages de l'astronomie, en chinois en Chine ... Dans 10 ans, les rollers et le skate ne seront plus à la mode, le personnage pourrait être sur un objet volant.

L'organisation pédagogique du manuel :

Des couleurs sur les pages permettraient de **repérer la difficulté de l'exercice**. Il est proposé une pastille rouge pour le très difficile et du bleu pour le facile. (Une autre idée, un bonhomme qui sourit ou qui fait la moue.)

Un manuel scolaire n'est pas une BD.

Certains affirment que même si des dessins illustrent un manuel scolaire, ce n'est pas pour autant une BD.

Après discussion, 50 % 100 de BD et 50 % 100 de non BD. Ensuite, les réponses se situent entre 40 % de BD et 60 % de non BD...

Cette question est restée en suspens²²¹...

Les couleurs du manuel

Elles sont claires ou naturelles, (à éviter à tout prix le rose).

²²¹Nous irons demander à d'autres élèves ce qu'ils pensent de ce point

La présentation des leçons

Le manuel n'a pas d'encadré pour les leçons.

Le sommaire du manuel

Il sera présenté en forme de carte et non de haut en bas.

Le format du manuel

D'un commun accord, il semble que le format poche n'est pas apprécié. Un bon manuel mesure 26 cm x 18 cm environ, (comme le livre de grammaire dont nous donnons les mesures).

Les chapitres du manuel

Histoire - Astronomie - Géographie - Mathématique - Géométrie - Biologie - Art.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Partant d'une question d'après guerre, enfantine mais essentielle : « existe-t-il une pensée universelle, capable de mettre les hommes d'accord ? », j'ai été mise en éveil par la découverte d'un petit livre, écrit en 1809 par un enseignant pas comme les autres, R. Petit. Cet homme, aujourd'hui oublié, s'était donné pour but de mettre la connaissance des unités de mesure et de leur usage « à la portée des esprits les plus simples ». Il s'indignait que les savants n'aient pas été capables de s'exprimer pour être compris de tous.

Je vis que son livre indiquait la direction où chercher cette « pensée universelle » car la mesure est le point de passage obligé de toute connaissance rationnelle.

Cette découverte a déterminé ma trajectoire personnelle, d'abord auprès des personnes en difficulté. Puis chez les métrologues pour mieux connaître et comprendre leurs connaissances et mettre en œuvre des moyens de mieux partager la culture métrologique. La présente thèse est une étape essentielle de ce parcours. Elle rend compte de cette expérience. C'est un travail de recherche destiné à permettre à construire des passerelles pour une tâche dépassant manifestement les forces d'une seule personne ou même d'un groupe particulier.

Le premier constat est que, en contradiction avec sa vocation initiale, l'enseignement, dans le courant du XX^e siècle, a abandonné la métrologie. Il en résulte une inculture métrologique du public : sur 91 personnes interrogées à la sortie du Salon de l'Education en novembre 2001, à la question « pouvez-vous me dire ce qu'est la métrologie ? », 80 ne savent rien répondre. Certains confondent la métrologie avec la météo ou la « science des transports urbains ». Même dans l'enseignement supérieur, la métrologie est pratiquement absente des programmes des écoles d'ingénieurs. De jeunes physiciens²²² rendent des copies omettant d'indiquer la précision des mesures qu'ils utilisent.

Néanmoins, comme le montre l'enquête réalisée dans les entreprises, lorsqu'on parle métrologie avec les industriels, l'intérêt se manifeste presque toujours. Certains sont astreints à de grandes précisions. Ils gèrent des services spécialisés et connaissent les raccordements aux chaînes d'étalonnages. D'autres entreprises gèrent la continuité de la qualité des produits, par l'intermédiaire de l'instrumentation qui leur ont été fournies. Ces derniers font de la métrologie sans le savoir. Tous comprennent les enjeux et reconnaissent l'intérêt d'une réflexion sur le sujet.

²²² Informations récentes émanant d'enseignants de l'ENS et du CNAM.

Les enseignants qui témoignent ont une position plus complexe : la métrologie n'est pas au programme, mais elle intéresse. Pour certains d'entre eux la métrologie est une manière de rendre plus vivants certains enseignements abstraits, comme ceux des mathématiques. Pour d'autres enseignants le mètre est une « évidence » quotidienne qui n'a même pas besoin d'être enseignée. Cependant, les difficultés d'enseignement de la mesure ne manquent pas. La notion d'incertitude est difficile à transmettre. Elle est souvent occultée ou inconnue. Dans ce dernier cas l'on peut se demander s'il ne s'est pas glissé subrepticement un contresens dans le système éducatif touchant à la notion même de connaissance.

Depuis Galilée, la connaissance scientifique se pose comme plus fondée que les discours religieux parce qu'elle s'appuie sur des mesures vérifiables. Or si l'enseignement décrit abondamment les résultats de mesure obtenus par les scientifiques, il omet largement d'apprendre à mesurer par soi-même. Ce faisant il laisse de côté ce qui fait l'essence même de la connaissance scientifique, c'est-à-dire le doute et son instrument concret, la mesure et ses incertitudes. Dès lors la Science est transmise comme un dogme et non comme une méthode, que chacun pourrait transposer dans sa vie quotidienne.

Ce constat épistémologique interroge sur l'essence de la métrologie. En effet si son enseignement a été abandonné c'est que sa raison d'être a été perdue de vue. Il faut donc tenter de la retrouver.

La voie que j'ai choisie est celle de l'Histoire. J'ai recherché d'où vient la métrologie et comment, à chaque époque, elle interagit avec la société. J'espère avoir trouvé de quoi ranimer l'intérêt des enseignants et des chercheurs pour une culture métrologique depuis les origines. À première vue, l'horizon de l'Histoire de la mesure est presque tout entier occupé par la période de la Révolution française. La demande qui remonte du peuple par les cahiers de doléances est « qu'il n'y ait plus deux poids, deux mesures ». La nuit du 4 août dans laquelle, en abandonnant leurs privilèges, les nobles perdent celui de fixer la valeur des mesures dans leurs domaines. Le choix du mètre en référence au méridien terrestre et le système métrique décimal construit « pour tous les hommes et pour tous les siècles », tout cela a une telle force, on y trouve tant de générosité, de sagesse et de raison que l'esprit s'y arrête naturellement et en fait sa référence fondatrice de la métrologie. Toutefois, en observant de plus près cette période, il apparaît que la demande populaire visait seulement l'équité des échanges et des impôts. Les dispositions prises avec l'instauration du système métrique décimal sont allées bien au-delà et elles ont abouti à un résultat imprévu : le pouvoir

métrologique a été confié à la communauté scientifique, alors que la demande initiale provenait de l'univers marchand et de celui des multiples transactions de la vie quotidienne.

En remontant plus loin dans le temps, jusqu'aux origines de la mesure en Mésopotamie, on constate la force et la permanence du lien qui unit le marché à la mesure. Il semble que dans cette région fertile, l'existence de surplus ait suscité les premières organisations marchandes, lesquelles ont à leur tour suscité ou stimulé le développement de la **comptabilité** et de l'**écriture**, pour prendre acte des transactions, de l'école, pour apprendre à écrire et compter et de la **mesure** (des quantités échangées et du poids de métal en contrepartie). Ainsi, l'enseignement et la métrologie seraient nés conjointement des nécessités de l'univers transactionnel mésopotamien, qui deviendra international avec la Route de la Soie reliant la méditerranéenne, l'Inde et la Chine.

À travers le temps, les mesures marchandes sont l'objet de tentatives permanentes de trucages. Seule la « livre médicinale » semble rester constante à travers les siècles. Les autres mesures fluctuent sous la pression des plus influents et se démultiplient pour des usages locaux ou professionnels.

Depuis l'Antiquité, ce ne sont pas, comme aujourd'hui, sept « unités fondamentales » dont il est question, mais des milliers de mesures différentes, réinventées ou reconfigurées siècle après siècle. Périodiquement, le pouvoir face au spectacle consternant de l'anarchie métrologique (qui rend les transactions inutilement complexes et favorise toutes sortes de fraudes ou d'arnaques), tente d'unifier le système de mesure. Il échoue dans la plupart des cas et plus rarement il réussit.

Ce fut le cas de Charlemagne, jouant de son autorité et de son sens de l'organisation. Après lui, pendant mille ans, de 789 à 1789, ce que l'on pourrait appeler la dégradation entropique du système de mesure reprend. À la Révolution française, ce sont à nouveau des milliers de mesures différentes de poids, de longueur, de volume, qui ont cours. « L'état de grâce » de l'été 1789 permet alors la grande unification révolutionnaire. Depuis, la définition des mesures, n'étant plus confiée au jeu des intérêts commerciaux, connaît une relative stabilité dans la grandeur des unités, mais de profondes transformations dans la manière de les définir.

Plus généralement les techniques contemporaines, particulièrement celles qui se développent le plus rapidement, dans les domaines de l'optoélectronique et la biotechnologie par exemple, doivent leurs performances à l'hyper-précision. Les techniques de mesure opèrent à des niveaux dépassant de loin le seuil du sensible et mobilisent des appareillages de plus en plus coûteux. Seuls y ont accès les très grandes entreprises ou les grands organismes de recherche.

De fait, la métrologie, initialement vouée au partage, a été récupérée et soumise de nouveau à la logique de la puissance.

Il en résulte que l'abandon de la métrologie par l'enseignement n'est qu'un volet d'un double mouvement : celui qui prive le public de moyens d'intervention sur le cours des techniques, tout en le conviant à admirer leurs performances. Dans ces circonstances, il semble que remettre la métrologie à portée du public serait une étape nécessaire de la reconquête de l'autonomie individuelle et collective.

Des lieux d'observation où je me suis trouvée, il apparaît clairement que notre époque vit une grande désorientation. La soi-disant « société de l'information » est aussi une société de surinformation et de désinformation où ni l'humain ni le vivant ne trouvent leur compte. Le défi qu'elle pose est d'abord un défi à la conscience.

À l'opposé du mouvement contemporain de confiscation des techniques, d'autres instruments de mesure se mettent en place pour surveiller l'état de l'agriculture, de la déforestation, des océans²²³, de l'atmosphère²²⁴ et des pollutions. Conformément à la vocation donnée par la Révolution française à la métrologie, ces mesures échappent aux intérêts marchands ou guerriers pour se mettre au service de l'intérêt général, lequel ne peut d'ailleurs se passer, en miroir, d'une éducation à la métrologie. On ne peut que se féliciter de l'apparition de ces mesures nouvelles d'utilité publique, mais la désorientation subsiste, car elle prend sa source dans les fonctionnements sociaux.

Dès lors qu'il s'agit de reconquérir l'autonomie, le centre d'intérêt n'est pas l'objet mesuré, mais le sujet. De ce point de vue, les qualités objectives d'une mesure sont moins importantes que ses effets subjectifs. Or, de même qu'une communauté de joueurs se reconnaît dans le respect de la règle, les sujets, qu'ils soient porteurs d'une conscience individuelle ou collective, se reconnaissent et se construisent en référence à leurs projets, lesquels sont autant d'occasions de mesure pour eux-mêmes. Il s'agit alors non plus d'une mesure imposée au sujet par le contexte social mais d'une mesure réflexive qui sert à se mesurer et donc à définir, en pratique et en perception, son identité et ses capacités. Néanmoins, pour que cette mesure fonctionne sagement, elle ne doit pas être sans relations avec le reste du monde, isolée et seule de son espèce, elle ne pourrait qu'engendrer un confinement.

²²³ notamment pour la prévision du phénomène « el niño », opération Toppex Poseïdon..

²²⁴ les satellites météo.

La mesure est un acte technique élémentaire, mais la métrologie suppose, en plus de la mesure, un **raccordement** qui re-lie l'acte de mesurer à un espace plus large. Il n'est pas indispensable que cet espace soit immense, voire cosmique comme celui des mesures scientifiques. Il faut qu'il y ait un raccordement, c'est-à-dire un lien, ne serait-ce que de proximité, élargissant le champ des possibles, autorisant le sujet à sortir de son confinement.

La création de métrologies personnalisées, capables de donner à chacun les moyens de baliser son chemin d'autodidacte, mène plus loin : à l'idée d'une métrologie universelle basée sur la reconnaissance, la raison et l'accord. Et c'est pour moi, ce qui mène à la pensée universelle que je cherchais enfant.

Fin

BIBLIOGRAPHIE

308 p.

ALBERONI (F.) *Genesis, Mouvements et institutions*. Ed. Ramsay, Paris, 1992, 684 p.

ALBERONI (F.) *Le choc amoureux*. Ed. Ramsay, Paris, 1979, 185 p.

ARDOINO (J.) et BERGER (G.) *D'une évaluation en miettes à une évaluation en actes.*, Ed. Andsha Matrice, France, 1989, 234 p.

ATTALI J. *al.* Riot-Sarcet, Touraine A. et Boutros Boutros-Ghali *Les Utopies, moteurs de l'histoire ?* Les Rendez vous de l'histoire. Blois 2000. Ed. ; Pleins Feux, Paris, 2000, 124 p.

AUTHOUART (F) *La métrologie ? Mais c'est très simple !* (à paraître)

AVANZINI (G.) *La pédagogie aujourd'hui*. Ed. Dunod, Paris, 1996, 251 p.

BACHELARD (G.) *Le nouvel esprit scientifique*. Quadrige/PUF, Paris, 1934, 183 p.

BALZAC (H.) *Les paysans*. Ed. Gallimard. Paris, 1975, 495 p.

BEAUFRET (J.) *Parménide. Le Poème*. Ed. PUF, Paris, 1955

BEDIN (L.) *Lire le Protagoras*. Ed. Les belles lettres, Paris, 1975, 325 p.

BELHOSTE (B.). *Les sciences dans l'enseignement secondaire français*. Textes officiels Tome I 1789/1914. Paris I.N.R.P.1995, 767 p.

BENTHAM (J.) *Le panoptique précédé de l'œil du pouvoir, entretien avec Michel Foucault*. Ed. Belfond. Paris, 1977, 219 p.

BERKA K. *MEASUREMENT, Its Concepts, Theories and Problems*. Boston, Center for Philosophy and History of Science, 1982, 229 p.

BERNE (E.) *Que dites-vous après avoir dit bonjour ?* Ed. Tchou, Paris, 1988, 371 p.

BERTHOZ (A.) *Le sens du mouvement*. Ed. Odile Jacob, Paris, 1997, 445 p.

BEURDELEY (C.) *Sur les routes de la Soie*. Ed. Office du Livre S.A., Suisse, 1985, 224 p.

BIGOURDAN (G.). *Le système métrique des poids et des mesures, son établissement*. Paris, Gauthier-Villars, 1901, 458 p.

BLANCHE (R.) *Structurelles intellectuelles*, Paris Vrin, 1969, 146 p.

BLANCHET (A.) *Dire et faire dire, l'entretien*, Ed. A. Colin, Paris, 1991-1997, 171 p.

BLEIGERG (E.) "The Economy of Ancient Egypt" in *Civilizations of the Ancient Near East*, Volume III, SASSON (J.M) Editor in Chief, pp. 1373-1379.

BOLIAK (J.) et WISMANN (H.) *Héraclite ou la séparation*. Ed. Les Ed. de Minuit, Paris, 1972, 405 p.

BOLTANSKI L. ET THEVENOT L. *De la justification. Les économies de la grandeur*. Paris, Gallimard, 1991, 482 p.

BOTTÉRO (J.) *al.* Herrenschildt (C.) et Vernant (J.P.) *L'Orient ancien et nous*. Ed. Hachette, Paris, 1998, 227 p.

BOTTÉRO (J.) *La Mésopotamie*. Gallimard, Paris, 1987, 552 p.

BOTTERO (J.) *Initiation à l'Orient ancien*. Ed. Seuil, Paris, 1992, 358 p.

BOUILLE (M.) *L'école, l'histoire d'une utopie ? XVII – début XX ème* Rivages/Histoire, Paris 1988. 248 p.

BOURDIEU P. *Ce que parler veut dire*. Poitiers, Imprimerie Aubin, 1982, 244 p

BREDIN (J.D.) *Seyes La clé de la Révolution française*, Ed. du Fallois. Paris, 1988, 610 p.

BRILLOUIN (L.) *La science et la théorie de l'information*. Ed. J. Gabay, Paris, 1988, 302 p.

- BRONISLAW (B.) *Une éducation pour la démocratie – textes et projets de l'époque révolutionnaire*. Ed. Droz, Genève, 2000, 521 p.
- CARNAC (P.) *L'architecture sacrée. Le message du triangle*. Ed. J. Bouilly, Ed. Dangles, Paris, 1978, 317 p.
- CAWE (N.) *L'héritage des chasseurs-cueilleurs dans le Nord-Ouest de l'Europe 10 000 – 3000 ans avant notre ère*. Ed. Errance, Paris, 2001, 207 p.
- CHAMBON (M.), LE FRIOUS (F.) SIGALA (M.) *Étalons et unités de mesure : les bases de la métrologie en France : mise en pratique du Système international d'unités*. Ed. BNM, Paris, 1996, 80 p.
- CHARLOT B. *Du rapport au savoir. Éléments pour une théorie*, Paris Antropos, 1997, 112 p.
- CHARPAK (G.) *La main à la pâte*. Ed. Flammarion, Paris, 1996, 155 p.
- CONDORCET *Cinq mémoires sur l'instruction publique* (présentation par Charles Coutel et Catherine Kintzler), Ed. Flammarion, Paris 1994, 380 p.
- CONDORCET. *Esquisse d'une tableau historique des progrès de l'esprit humain*. GF Flammarion, Paris, 1988, 348 p
- COTTREAU (J.) *Les thérapies cognitives*, éditions Retz, Paris 2001, 283 p.
- COURTOIS (J-C). in « Prix, salaires, poids et mesures » , dir. Gyselen R. *Res Orientales*. Paris 1990, 161p.
- CYRULNIK (B.) *Les nourritures affectives*. Ed. O. Jacob, Paris, 1993, 241 p.
- DE VIGUERIE J. *Histoire et dictionnaire du temps des Lumières* , Paris, Laffont, 1995, 1730 p.
- DEMEULENAERE- DOUYERE (C.) *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences, guide de recherche*, dir. Eric Brian, Ed. Technique documentation, Paris, 1996, 449 p.
- DESCARTES R. *Discours sur la méthode*, Paris, Les Ed. de l'école, 1947, 69 p.
- DESPLAT (Ch.) *Foires et marchés dans les campagnes de l'Europe médiévale et moderne*. Toulouse, PUF, 1996, 252 p.
- DESROSIERES A. *La politique des grands nombres*. Paris, Poche, La Découverte, 2^{ème} édition 2000, 456 p.
- DURKHEIM (E.) *L'éducation morale*. Quardrige / PUF, Paris, 1963, 242 p.
- DURKHEIM E. *L'évolution de la pédagogie en France*. Paris, PUF, 1989, (réédit. 1938), 282p .
- DURKHEIM E.. *Les formes élémentaires de la vie religieuse* Paris, PUF, 1960, 647p .
- EINSTEIN (A.) *Comment je vois le monde*. Ed. Flammarion, Paris, 1989, 189 p.
- EINSTEIN (A.) *Conceptions scientifiques*. Ed. Flammarion, Paris, 1990, 188 p.
- ELIADE (M) *Forgerons et alchimistes*. Ed. Flammarion, Paris, 1977, 188 p.
- ELIADE (M) *Le mythe de l'éternel retour*. Ed. Gallimard, Paris, 1998, 182 p
- ELIAS (N.) *Du temps*. Ed.Fayard, Paris, 1999, 251 p.
- ESBROECK van (M.J.) *Les versions géorgiennes d'Epiphane de Chypre. Traité des poids et mesure*. Scriptor Iberici, Tomus 20, 1994, 53 p.
- FAVIER (J.) *Charlemagne*. Ed. Fayard, Paris, 1999, 769 p.
- FELDMANN (J.) *Condorcet : Mathématiques, Raison, Engagement*. Gemmas, CNRS, N° 17, 2001, 24 p.
- FELDMANN (J.) *Objectivité et subjectivité en sciences*. Quelques aperçus. Revue européenne des sciences sociales, T. XL, 2002, N° 124, pp. 85-130

- FLICHY (P.) *Une histoire de la communication moderne*. La Découverte, Poche, Paris, 1997, 281 p.
- FORIEN de ROCHESNARD (J) LUGAN (J.) *Album des poids de France*. Paris, 1957, 352 p.
- FOUCAULT (M.) *L'histoire de la folie à l'âge classique*. Ed. Gallimard
- FOUCAULT (M.) *Surveiller et punir*. Ed. Gallimard, Paris 1975. 360 p.
- FRENET (E.) *Naissance d'une pédagogie populaire*. Ed. Maspéro, Paris, 1981, 351 p.
- FURET (F.) OZOUF (M.) *Idées. Dictionnaire critique de la révolution française*. Ed. Flammarion, Paris, 1998, 544 p.
- FURET (F.) *Penser la Révolution française*. Ed. Gallimard, Paris, 1985, 316 p.
- GARDENER (H) *Les formes de créativité*. Ed. Odile Jacob, Paris, 1993, 472 p.
- GASTON GRANGER (G.) *Sciences et réalité*. Ed. O. Jacob, Paris, 2001, 262 p.
- GAUDIN (T) *L'avenir de l'esprit*. Paris, Albin Michel, 2001, 343 p.
- GAUDIN (T.) HATCHUEL (A.) Sous la direction de. *Les nouvelles raisons du savoir Prospective de la connaissance* Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 2002, 322 p.
- GAUDIN (T.) sous la direction de. *2100 récit du prochain siècle*. Ed. Payot, Paris, 1990, 600 p. 1990
- GUEDJ (D.) *La Révolution des savants*. Ed. Gallimard, 1988, 160 p.
- GUEDJ (D.) *Le mètre du monde*, Ed. Seuil, Paris, 2000, 334 p.
- GUTTON (J.P.) *Domestiques et serviteurs dans la France de l'ancien régime*. Ed. Montaigne, Paris, 1981, 243 p.
- HABERMAS (J.) *La technique et la science comme idéologie*. Ed. Gallimard - Denoël, Paris 1973, 211p.
- HADAMARD (J.) *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique* suivi de POINCARÉ (H.) *L'invention mathématique*. Ed. J. Gabay, Paris, 1993, 150 p
- HALEY (J.) *Un thérapeute hors du commun : Milton H. Erickson*. Ed. Française Desclée de Brouwer, 1884, 383 p.
- HALL (J.) *Dictionnaire des mythes et des symboles*. Ed. Guy Montfort, Paris, 1994, 415 p.
- HAMPSON (N.) *Le siècle des lumières*. Ed. Seuil, Paris, 1968, 250 p.
- HEIDEGGER (M.) *Essais et conférences*. Ed. Gallimard, Paris, 1958, 236 p.
- HEIDEGGER (M.) et FINK (E.) *Héraclite*. Ed. Gallimard, Paris, 1973, 222 p.
- HEIDEGGER (M.) *Questions IV*. Ed. Gallimard, Paris, 1976, 339 p.
- HEISENBERG (W.) *La partie et le tout. Le monde de la physique atomique*. Ed. Flammarion, Paris, 1990, 333 p.
- HERBER-SUFFRIN (C.) *Echangeons nos savoirs !* Ed. Syros, Paris, 2001, 202 p.
- HESSE (H) *Le jeu des perles de verre*. Ed. Calmann-Lévy, Paris, 1955, 545 p.
- HOCQUET (J.C.) *La métrologie historique*. Vendôme, PUF, 127p.
- HOCQUET (J.C.) *Anciens systèmes de poids et mesures en Occident*, Ed. Aldershot, GB,
- HOPKIRK (P.) *Bouddhas et rôdeurs sur la Route de la Soie*. Ed. Philippe Picquier, Arles, 1995, 341 p.
- HUIZINGA (J.) *Homo ludens*. Ed. Gallimard, Paris, 1951, 340 p.
- IFRAH (G.) *Histoire universelle des chiffres, Lorsque les nombres racontent les hommes*. Ed. Seghers, Paris, 1981, 568 p.
- JEDRZEJEWSKI (F.) *Histoire universelle de la mesure*. Ed. Ellipses, Paris, 2002, 416 p.
- KHUN (T. S.) *La structure des révolutions scientifiques*. Ed. Flammarion, Paris, 1983, 284 p.

- KOVALEVSKI. (J.) *Quelle place pour la métrologie en France à l'aube du XXIe siècle ?*, CADAS, Paris 1996, ISBN 2-7430-0108-9
- KRAMER (S. N.) *L'histoire commence à Sumer*. Ed. Flammarion, Paris 1986, 313 p.
- KULA W. *Les mesures et les hommes*. Maison des sciences des hommes, Paris, 1962, 302 p.
- LANDES (S.D.) *L'heure qu'il est*. Ed. Gallimard, Paris, 1987, 622 p.
- LAPIERRE (J.P.) *Règles des moines*. Ed. Seuil, Paris, 1982, 186 p.
- LAPLANTINE (F.) *L'anthropologie*. Ed. Payot, Paris, 1994, 243 p.
- LE GOFF (J.) *al.* LEFORT (J) et MANE (P.) *in Les calendriers*, Colloque de Cerisy, Ed. Somogy, Paris, 2002, 396 p.
- LE RIDER (G.) *La naissance de la monnaie*. PUF, Paris, 2001, 286p
- LECERF (Y.) et PARKER (E.) *Les dictatures d'intelligentsias*. PUF, Paris, 1987, 276 p.
- LESBESQUE H. *Les mesures de grandeur*. Paris, Libr. Scientifique et technique, 1975.184 p.
- LESTEL (D.) *Les origines animales de la culture*, Ed. Flammarion, Paris, 2001, 368 p.
- LEVALLOIS (J.J.) *Mesurer la terre 300 ans de géodésie française*, Presses des Ponts et Chaussées, Paris, 1988, 389 p.
- LORENZ (K.) *L'agression*. Ed. Flammarion, France, 1969, 314 p.
- MAC LUHAN M. *Pour comprendre les média* Paris, Mane Seuil, 1967, 404 p.
- MACHABEY (A.) (Junior) *La métrologie dans les musées de Province et sa contribution à l'histoire des poids et mesures en France depuis le treizième siècle*. Ed. de la revue de métrologie pratique et légale, Paris, 1962, 512 p.
- MACHABEY Jeune A. *Mémoire de la balance et de la balancerie*. Imprimerie nationale, SIM, 1949. 128 p
- MARQUET (L.) LE BOUCH (A.) ROUSSEL (Y.). *Le système métrique, hier et aujourd'hui*, Ed. ADCS, Amiens, 1996, 131 p.
- McCALL (H.) *Mythes de la Mésopotamie*. Ed. Seuil , Paris, 994, 142 p.
- MOCH M. *Initiation aux théories d'Einstein*, Paris, Larousse, 160 p.
- MOSCATI (S.) *Les Phéniciens*. Paris, Stock, 1988, 670 p.
- NEEDHAM (J.) *La science chinoise et l'Occident*. Ed. Seuil, Paris, 1973, 252 p.
- NEEDHAM (J.) *Science et civilisation en Chine*. Ed. Ph. Picquier, 1995, 357 p.
- OZOUF (J) et OZOUF (M.) *La République des instituteurs*. Ed. Le Seuil, 1992, 487 p.
- PERDIJON J. *La Mesure*. Paris, Flammarion, 1998, 126 p.
- PERRAUT-SOLIVIVERES (A.) *Infirmières, le savoir de la nuit*. Ed. PUF, 5 ème édition, 2002, 292 p.
- PIAGET (J.) *La construction du réel chez l'enfant*. Ed. Delachaux et Niestlé, Suisse, 1950, 342 p.
- PIAGET (J.) *Les formes élémentaires de la dialectique*. Ed. Gallimard, Paris, 1980, 249 p.
- PIAGET (J.) *Psychologie et pédagogie*. Ed.Denoël, Paris, 1969, 249 p.
- PLANCK (M.) *Initiations à la physique*. Ed. Flammarion, Paris, 1989, 284 p.
- PLATON « Protagoras », *in Protagoras Euthydème Gorgias Ménexène Ménon Cratyle* (traduction, notices et note par Emile Chambry). Ed. Flammarion, Paris, 1967. 503 p.
- POINCARÉ (H.) *La Science et l'hypothèse*. Ed. Champs Flammarion, 1968, 252 p.
- POPPER (K.) *Des sources de la connaissances et de l'ignorance*. Ed. Payot & Rivages, Paris, 1998, 157 p.

- POPPER (K.) *L'univers irrésolu. Plaidoyer pour l'indéterminisme*. Ed. Hermann, Paris, 1982, 159 p.
- POPPER (K.) *La logique de la découverte scientifique*. Ed. Payot, 1968, 480 p.
- POPPER (K.) *La logique de la pensée scientifique*. Ed. Payot, 1973, 480 p.
- POPPER (K.) *Misère de l'historicisme*. Ed. Plon, Paris, 1956, 211.
- PRIEL (M.), PERRUCHET (CH.) *Estimer l'incertitude*. Ed. AFNOR, Paris, 2000, 119 p.,
- PRIGOGINE (I.) et STENGERS (I.) *Entre le temps et l'éternité*. Ed. Flammarion, Paris, 1992, 222 p.
- PRIGOGINE I. *La fin des certitudes*. Paris, Odile Jacob, 1996, 228 p.
- REY (A.) « Révolution » *Histoire d'un mot*. Ed. Gallimard, Paris, 1989, 376 p.
- RITTER (J) «Les nombres et l'écriture». *Qu'est ce que L'univers ?* Dir. UTLS. Tome 4, Paris Odile Jacob, 2001 P.118
- ROCHE (D.) *La France des Lumières*. Ed. Fayard, Paris 1993, 651 p.
- ROQUEPLO (P.) *Penser la technique : pour une démocratie concrète*, Ed. Seuil, 1983, 248 p
- ROUCHE (N) *Le sens de la mesure*. Ed. Hatier, Bruxelles, 1992, 312 p
- ROUSSEAU J.J. *Du contrat social*, Paris Librairie Générale française, 1996, 224 p.
- ROUSSEAU J.J. *Emile ou de l'éducation* (présentation par Frédéric Worms), Ed. Ellipses, Paris, 2001, 141 p.
- ROUVILLOIS (F). *L'utopie*. Ed. Flammarion, Paris 1998, 251 p.
- RULON (H.C.). *Un siècle de pédagogie dans les écoles primaires (1820/1940)* Paris, Vrin 1962
- SAHLINS (M.) *Âge de pierre, âge d'abondance. L'économie des sociétés primitives*. Ed. Gallimard, Paris, 1972, 409 p.
- SAINT-DRÔME (O.) *Comment choisir son philosophe*. La Découverte, Paris, 2000, 224 p.
- SASSON (J.M) Editor in Chief. *Civilizations of the Ancient Near East*, Volume III,
- SCHÖDINGER E. *Physique quantique et représentation du monde*. Paris, Seuil, 1988, 185p.
- SCHWARTZ (D.) *Le jeu de la science et du hasard. La statistique et le vivant*. Ed. Flammarion, Paris, 1995, 129 p.
- SERRES (M.) *Les origines de la géométrie*. Paris, Flammarion, 1995, 337 p.
- SERRES M. *Le Tiers-Instruit*. Paris, Ed. Bourin, 1991, 249 p.
- SIMONDON (G.) *Du mode d'existence des objets techniques*, Ed. Aubier, Paris, 1958, 258 p.
- SIMONDON (G.) *L'individuation psychique et collective*. Ed. Aubier, 1989, 293 p.
- STENGERS (I.) *L'invention des sciences modernes*. Ed. La Découverte, Poche, Paris, 1993, 210 p.
- THOM (R.) *Prédire n'est pas expliquer*. Ed. Flammarion, Paris, 1993, 175 p.
- TOCQUEVILLE de (A.) *De la démocratie en Amérique*. Ed. Gallimard, Paris, Tomes I et II, 1961, 631 et 470 p.
- TROCME-FABRE (H.) *J'apprends donc je suis*. Paris, Les éditions d'organisation, Poche, 3^{ème} tirage, 1997, 291 p.
- VERIN (H.) « Généalogie de la "réduction en art" » *Aux sources de la rationalité moderne* in Gaudin (T.) Hatchuel (A.) Sous la direction de. *Les nouvelles raisons du savoir Prospective de la connaissance* Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 2002, pp.29-41
- VERNANT (J.P.) *Les origines de la pensée grecque*. Ed. Quadrige/PUF. Paris, 1962, 133 p.
- VOLTAIRE *Micromégas*, Paris, Flammarion, 1994, 283 P.

- VON BERTANFFY (L.) *Théorie générale des systèmes*. Paris, Dunod, 1972, 307 p.
- VOVELLE (M.) *Fouché Mémoires*. Ed. Imprimerie nationale, Paris, 1992, 518 p.
- WAAL DE (F.) *De la réconciliation chez les primates*. Ed. Flammarion, Paris 1992, 379 p.
- WAAL DE (F.) *Quand les singes prennent le thé*. Ed. Fayard, France, 2001, 382 p.
- WATZLAWICK (P.). *Faites vous même votre malheur ou Comment réussir à échouer*, Ed Seuil, Paris, 1984, 119 p.
- WISMANN (H.) BOLLACK (J.). *Héraclite ou la séparation*, Ed. Les éditions de minuit, Paris, 1972, 405 p.

Thèses et mémoires

- COELHO (S. M.) *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et enseignants*. Thèse de doctorat, Paris 7, 1993.
- KELLERMANN (L.) *La place de l'éducation des adultes dans les stratégies et projets de développement culturel. Bibliographie sélective et annotée*. UNESCO, 1987, 443 p.
- BARDIEUX (E.) *La législation Française des poids et Mesures*. Thèse de Doctorat en Science politiques et économiques, Imprimerie G. Lucas, Paris, 1926, 201 p.
- HALD (A.M.) *La métrologie du social*. Mémoire de l'Ecole de santé de Rennes, Octobre 1985, 102 p.

Sources historiques d'origine

- Archives de l'Académie des Sciences : *Histoire de l'Académie royale des Sciences de 1666 à 1788, puis Histoire de l'Académie des Sciences*
- Archives parlementaires. Recueil complet des débats législatifs et politique de 1787 à 1880* Tomes 1 à 31, Imp. et lib. Administrative et des Chemins de fer, Paris, 1879. (Mazarine)
- Législation de l'Instruction primaire en France de 1789 jusqu'à nos jours*. Ed. Delalain. Paris. 572 p (INRP)
- DUVERGIER (J.B.) *Collection complète des Lois et Décrets, Ordonnances, Réglemens et Avis du Conseil d'Etat (De 1788 à 1830 inclusivement par ordre de chronologique)*, Publiée sur les éditions officielles, Continué depuis 1830, et formant un volume chaque année. Contenant : *les actes insérés au Bulletin des Lois ; l'Analyse des Débats parlementaires* sur Chaque Loi, des Notes indiquant les *Lois analogues ; les Instructions ministérielles ; les Rapports au Roi*, et divers *Documents* inédits ; par J.B. Duvergier, avocat à la cour royale de Paris, continuateur de Toullier. Tomes I à 33, Paris, 1842
- Ancien Moniteur (Réimpression de)*, (Tomes 1-28), Ed. Plon Frères, Paris, 1854.
- Encyclopédie de Diderot et d'Alembert ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. (CNAM)

Ouvrages originaux utilisés pour la profondeur historique de la thèse

- ARNOLD-FORSER (H.C.). *The Coming of the Kilogram or the Battle of The Standards*. London, Cassell and Co, 1898, 150 p.
- BAZAINE. *Cours de géométrie pratique appliquée à la mesure des objets de commerce assujettis au système décimal*. Paris, chez Firmin-Didot, 1807, 372 P.
- BEZOUT (E.) *Traité de navigation*. Paris, Vve COURSIER, 1814, 338 p.

BOURGET (J.) *Cours complet de sciences mathématiques à l'usage des élèves de l'enseignement secondaire spécial et de l'enseignement secondaire classique. Cours d'arithmétique suivi d'un grand nombre d'exercices.* 1887.

DELECHAMPS (L.A.) *Manuel populaire et classique des poids et des mesures* Paris, Carilliau ; Gueury et Dalmont, 1841.

FAUBERT (J.A.). *Nouvelle théorie du jaugeage des bâtiments de mer d'après le système métrique.* Paris, S.N., 1814, 34 p.

GOVI (G.) *De la Convention internationale du 20 mai 1875 et l'Institution à Paris d'un Bureau International des Poids et Mesures. Extraits des Procès verbaux, séances de 1878.* Archives de l'Académie des Sciences, Paris

GUILMIN (A.) *Arithmétique à l'usage des écoles primaires et des classes élémentaires.* Paris, 1873, 12 p. (Neuvième édition)

HAÛY (R. J) *Traité élémentaire de physique*, Paris, Bachelier et Huzard, 1821, 2 vol.

LABESGUE (H.). *La mesure des grandeurs.* Paris, Librairie Scientifique et technique, 1975, 184 p.

LACROIX (S.F.) *Traité élémentaire d'arithmétique à l'usage de l'Ecole Centrale des quatre nations.* Paris, chez COURSIER, an VIII, 1804, In-8, 315 p.

LENORMANT (F.) *Essai sur un document mathématique chaldéen et à cette occasion sur le système des poids et mesures de Babylone.* Paris, 1868.

LEYSSENNE *La première année d'arithmétique.* (Cours moyen de 9 à 11 ans) Théorie. 1200 problèmes. Calcul mental. 1900.

LEYSSENNE (M.P.) *La deuxième année d'Arithmétique* (cours supérieur, 11 à 13 ans) inscrit sur la liste des ouvrages fournis gratuitement par la ville de Paris à nos écoles communales. Quarante quatrième édition. 1888

MENU de SAINT MESNIN (E.). *Problèmes de mathématique et de physique donnés à la faculté des Sciences et notamment à la Sorbonne, avec les solutions raisonnées.* (à l'usage des aspirants au baccalauréat ès sciences, des candidats aux écoles du Gouvernement, des établissements d'enseignement secondaire spécial et des écoles professionnelles). Paris, 1871, 632 p.

PAUCTON (A. J.P.) *Métrologie ou traité des Mesures, Poids et Monnoies des Anciens peuples et des Modernes.* Paris, chez le Vve Desaint, 1780. 956 p. (CNAM)

PETIT (R.). *Arithméticien décimal.* Paris, Dubrock, 1809, 80 p.

PUISSANT (L.) *Traité de topographie, d'arpentage et de nivellement.* Paris, Vve COURSIER, 1820, 412 p.

TARBE (S.A.) *Manuel pratique et élémentaire des Poids et des Mesures, des monnaies et du calcul décimal.* Paris, J.S. Merlin, 1813, 552 p.

TARBE DES SABLONS (M.). *Nouveau manuel complet des Poids et des Mesures, des monnaies et de la vérification.* (quinzième édition), Paris, 1845, 464 p.

Documents d'origine utilisés dans le chapitre "profondeur historique"

Décadaires de l'Agence temporaire des poids et mesures. Paris. Floréal, an 3 (Archives nationales : F 17 1237)

BORDA, LAGRANGE et MONGE, « Rapport fait à l'Académie des Sciences, sur le système général des poids et mesures par les citoyens, Borda, Lagrange et Monge. » *Histoire de l'Académie des Sciences*, Imprimerie de du pont, Père et fils, 1789, pp.1-18.

De la Convention internationale et l'institution à Paris du bureau international des poids et mesures. Extraits des procès verbaux séances de 1778 et 1879

De la méridienne de l'Observatoire prolongée du côté du Midi. Histoire de l'Académie de 1666 à 1686, T1 p. 417

Documents diplomatiques de la Conférence du Mètre, Paris, Imprimerie nationale, 1875, 29 p. (Archives de l'Académie des Sciences).

Expérience sur la congélation Histoire de l'Académie de 1666 à 1686 T.1, p. 390

Expériences de l'augmentation du poids de certaines matières par calcination Histoire de l'Académie de 1666 à 1686 T.1, 1667, p. 21

GREGOIRE *Rapport sur le Conservatoire des arts et métiers,* 17 floréal an 6

GREGOIRE *Rapport sur la nécessité et les moyens d'anéantir les patois et d'universaliser l'usage de la langue française par Grégoire,* Imprimerie nationale, prairial an II.

LA CONDAMINE (de la) *Mesures des trois premiers degrés du méridien dans l'hémisphère austral.* Imprimerie royale, Paris, M. DCCLI, 266 p.

MAUPERTUIS (de) « La figure de la Terre déterminée par Messieurs de l'Académie Royale des sciences qui ont mesuré le Degré du Méridien au Cercle polaire par M. de Maupertuis. » *Histoire de l'Académie Royale des sciences,* Année 1737 – pp. 389-466

Mesure de la Terre. Paris, Imprimerie Royale, 1671, Bibl. Mazarine, hors rang 4020 A.

Mesures prises sur les originaux & comparées avec le pied du Châtelet de Paris par M. Auzout. Histoire de l'Académie T6 p. 537

Observations de la Société royale d'agriculture sur l'uniformité des poids et mesures, par MM Tillet et Abeille. Séance de l'Assemblée nationale du 6 février 1790. Archives parlementaires, pp 466-487.

PRIEUR (C.A) (de la Côte-d'Or) *Rapport fait au nom du comité d'instruction publique sur la nécessité et les moyens d'introduire dans toute la République, les nouveaux poids et mesures, précédemment décrété.* Paris, 11 ventôse an III,

PRIEUR (du Vernois) *Mémoire sur la nécessité et les moyens de rendre uniformes, dans le Royaume, toutes les mesures d'étendue et de pesanteur ...,* Paris, 1790, 68 p

Relation de plusieurs nivellemens fait par ordre de sa Majesté Histoire de l'Académie, T.6 p. 693-707.

TALLEYRAND *Proposition sur les poids et mesures faite à l'Assemblée nationale par M. l'évêque d'Autun,* le 9 mars 1790, Paris, Imprimerie nationale, 1790, 20 p.

TALLEYRAND *Rapport sur l'instruction publique* - 10,11 et 19 septembre 1791

Traité du nivellement par M.Picard Histoire de l'Académie, T.6, p. 631-692

Adresse aux artistes 11 floréal an III. Archives nationales. F/17/1237

Rapport de l'agence des plans et cartes. Archives Nationales : F/17/1237

Extrait des registres du Comité de salut public N° 1, 22 floréal an 2. (Archives Nationales Série F.)

Rapport sur les poids et mesures de Nice, rédigé l'ingénieur en chef du Département des Alpes Maritimes. (Archives Nationales An 5. F 17 /1135 / dossier 5)

Compoix de Vaour (81) de 1550 (Archives départementales du Tarn)

Compoix de Penne (81) de 1626

Lois constitutives du système métrique décimal

8 mai 1790	Décret d'uniformité des poids et des mesures en France
26-30 mars 1791	Moyens d'uniformisation des poids et des mesures

1 août 1793	Loi qui établissant l'uniformité des poids et des mesures
1 ^{er} brumaire, An II	Loi qui ordonne la fabrication des étalons en platine
18 germinal An III	Loi des poids et des mesures
19 germinal An VII	Loi qui fixe les règles de comptabilité conforme au SDM.
28 messidor An VII	Proclamation de 12 départements autour de Paris
15 frimaire An VIII	Proclamation aux habitants de Seine relative aux capacités liquides.
7 boréal An VIII	Loi qui fixe définitivement la valeur du mètre et du kilogramme.
7 brumaire An IX	Arrêté des Consuls
13 brumaire An IX	Arrêté relatif aux bureaux de passage, mesurages et jaugeage publics
29 prairial An IX	Arrêté des Consuls relatif au mode d'exécution du SDM. (vérificat.)
29 floréal An X	Loi relative aux bureaux de passage, mesurages et jaugeage publics
28 mars 1812	Arrêté du Ministre de l'Intérieur.
28 juin 1833	Loi de l'instruction primaire et de son objet
4 juillet 1837	Loi (relative à l'établissement du système à partir du 01/01/1840)
17 août 1851	Règlement d'application : organisation interne des écoles primaires

Articles et autres documents

« Galilée ». *Les génies de la science*. N°1, novembre 1999

« 1000 ans de sciences. Qui sommes nous ? » *Les Cahiers de Science et Vie*. N° 46, août 1998

« La science des anciens ». *Science et Vie*. N° 965, février 1998.

« Enquête sur les civilisations disparues ». *Science et Vie Junior*, Hors série, juillet 1993

« Comment est née l'écriture » *Sciences et Vie*, N° 219 (Hors-série), juin 2002.

« La grande aventure scientifique du XX^e siècle. *Science et Vie*, Numéro spécial, mai 1994

« La mesure dans la vie quotidienne. » *Culture technique*. N° 9, février 1983, 275 p.

« Les Francs-maçons ». *L'histoire*, n° 256, juillet-août 2001

« Les langues du monde » *Bibliothèque pour la science*. 1999. 158 p.

« Les langues du monde ». *Pour la science*. Dossier hors-série, octobre 1997

« Les plus belles heures de la République ». *Historia*, N° 664, avril 2002-08-25

« Métrologie année 100 » *Revue du Palais de la Découverte*. Paris, Juin 1995, 147 p.

« Métrologie » *La revue du Syndicat national des ingénieurs de l'industrie des mines*, N° 28, (non daté), 140 p

Bulletins de la Société Métrique de France (1990-2002)

Document d'orientation, Exposition temporaire sur la mesure, Cité des Sciences et de l'industrie, Direction des expositions, 1995, 12 p.

Etalons et Unités. Les bases de la métrologie en France, mise en pratique du Système international d'Unités. BNM, (document non daté), 30 p.

L'épopée du mètre. Histoire du système métrique décimal. Ministère de l'Industrie et de l'aménagement du Territoire, Délégation à l'Information et à la Communication, Paris, 1989, p. 61.

HIMBERT (M.) et MORILLON (C.) « Deux siècles de métrologie au Conservatoire national des arts et métiers ». *Bulletin BNM*, N° 102, octobre 1995, pp. 3-4.

Histoire et mesure Volume 1 – N° 1 – Ed. CNRS. Paris 1986. 119 p.

Journées Mesures physiques, métrologie et qualité. BNM, Paris les 26 et 26 mai 1997.

- Le BIPM et la Convention du Mètre*. Bureau international des poids et mesures, juin 1995, 63p.
- MALRIEU (V.) *Les fêtes civiques à Montauban pendant la Révolution*. Montauban, 1927, 15p.
- CAPEDEVILLE (Ch.) *Tarn et Révolution. Les nouvelles règles du jeu*. (Dossier), 1990, Archives départementales du Tarn,
- MARQUET (L.) *Jean Baptiste Dumas et la Convention du Mètre*. Revue d'histoire de la pharmacie, XXII, N° 227, décembre 1995, pp. 559-576. Archives de l'Académie des Sciences, Paris
- MARQUET (L.) *La mise en application en France du système métrique décimal 1790 – 1840* – 27 p.
- MARQUET (L.) « La toise du Pérou ». *Revue de Métrologie Pratique et Légale*. Janvier 1986, 14 p.
- GIACOMO (P.) *The Fortunate Adventures of the Metre*, 1986, 8 p. Archives de l'Académie des Sciences, Paris.
- GAUDIN (T) Rapport, *Bureau national de métrologie. Une évaluation*. Paris, BNM, octobre 2000, 35 p.
- « L'évaluation aujourd'hui, comment mesurer des compétences ? » *Sciences Humaines*, N° 35, janvier 1994, pp. 10-13
- « La logique des communautés ». *Sciences Humaines*. N° 48, mars 1995
- « Qu'est ce que transmettre ? » *Sciences Humaines*, Hors-série N° 36, Mars-avril-mai 2002-08-25
- Histoire de l'éducation*, N° 85, janvier 2000, INRP, 72 p
- « C'est la note qui compte ». *La lettre grise*, N° 7, Association Pénombre, Printemps 2002, 42 p.
- « Connaissances en français et en calcul des élèves des années 20 et d'aujourd'hui. » *Les dossiers d'éducation et formations*. Ed. Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Direction de l'évaluation et de la prospective. N° 62 – février 1995. 125 p.
- DÄNZER-KANTOF (B.) *Former pour l'emploi L'AFPA : 50 ans de formation professionnelle*, AFPA, Montreuil, 1999, 311 p.
- DEVRIESE (D.) « Les archives de la recherche en milieu académique », in *Janus. Revue Archivistique* – 1995-2, pp20-28
- DUPRAT (H.) *Comptabilité nationale et métrologie*, Institut National de la statistique et des Etudes Economiques, 1984, 13 p.
- Guide des formations 2002 – 2003. Enseignement supérieur & formation continue. Centre d'enseignement à distance. 96 p.
- Collèges et Lycées Catalogue des ressources pédagogiques 2003, Ed. Ressources pour l'éducation nationale, France 2002, 128 p.
- Ecoles Catalogue des ressources pédagogiques 2003, Ed. Ressources pour l'éducation nationale, France 2002, 72 p.
- « L'enseignement primaire ». *La revue du Centre national d'enseignement à distance*, n° 22, mars 2002
- PFEUTI (S.) « Représentations sociales, quels aspects théoriques et méthodologiques ». *Sciences de l'Education*, N° 42, mai 1996, Université de Neufchâtel.
- QUILICI (J.F.) *Analyse de systèmes*. Vol. XXVI – N° 1-2 – Mars 2000, 86 p.

R.TATON « Condorcet et SF Lacroix » *Revue Hist. Sciences*, XIII, N° 2 et 3, 159 pp. 128-158-et 243-262.

Rapport d'activité 2001 du Centre national d'enseignement à distance, France, 60 p.

RETAIL (L.) et DELAGNEAU (A.). *Arithmétique commerciale et notions d'algèbre financière*. Paris, 1933, 411 p.

VERIN (H.) « La réduction en art » in *Les nouvelles raisons du savoir Prospective de la connaissance* GAUDIN (T.) HATCHUEL (A.) Sous la direction de. Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 2002, 322 p.

VEZO (L.). *Les mathématiques de l'ouvrier moderne*. Paris, DUNOD, 1933, 270 p.

Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie. ISO, 1993, 9 p.

*

BRÈVE PRÉSENTATION DE LA MÉTROLOGIE

Aujourd'hui la métrologie étudie tout ce qui concerne les unités de mesure, les étalons, les méthodes de mesure et les calculs d'incertitude. Elle est présente dans la plupart des domaines de l'activité quotidienne, les échanges commerciaux, les sciences et l'industrie.

«Mesurer, c'est comparer ; c'est comparer une grandeur physique inconnue avec une grandeur de même nature prise comme référence, à l'aide d'un instrument. C'est exprimer le résultat de cette comparaison à l'aide d'une valeur numérique, associée à une unité qui rappelle la nature de la référence, et assortie d'une incertitude qui dépend à la fois des qualités de l'expérience effectuée et de la connaissance que l'on a de la référence et de ses conditions d'utilisation. »²²⁵

Le métrologue s'intéresse à la qualité des mesures et en particulier à deux facteurs. Le premier de ces facteurs est de s'assurer du raccordement de la mesure à des étalons de référence. Le deuxième facteur de la qualité de la mesure est celui du calcul de l'incertitude. Pour évaluer les sources d'incertitude de mesure on utilise communément les 5M. Le résultat de mesure peut être altéré par le **M**oyen, instrument de mesure, le **M**ilieu, l'environnement dans lequel la mesure est faite, la **M**éthode utilisée, la **M**atière ou ses propriétés mécaniques et la **M**ain d'œuvre, c'est-à-dire la personne qui mesure.

Les enjeux actuels de la métrologie

La métrologie intervient dans tous les domaines commerciaux, de biens et de services échangés. Le développement des produits complexes nécessite de reposer sur une bonne application de l'assurance qualité, c'est-à-dire qu'il est nécessaire d'effectuer des contrôles de qualité de certaines caractéristiques de produits par le biais de la mesure. Dans notre quotidien nous sommes en droit d'attendre que les outils qui permettent de vérifier certaines de nos actions contraignantes reposent sur des données objectives par exemple, l'excès de vitesse ou la charge sur les essieux des camions.

Les problèmes d'environnement et de pollution chimique ou acoustique nécessitent des mesures. Dans le domaine de la santé, nous sommes en droit de demander que les diagnostics et les actes thérapeutiques reposent sur des données objectives et fiables avant que ne soient prises les décisions médicales. La gestion des ressources nécessitent des mesures fiables.

Notre vie quotidienne est consommatrice de plus en plus de métrologie pour la qualité de l'air, de l'eau, des produits alimentaires, des dosages médicaux, thermostats de nos cuisines,

²²⁵ Marc Himbert, *Journées Mesures Physiques, Métrologie et Qualité*. BNM-IUT Paris-Jussieu, CNAM, 26.27 mai 1997 Journées Mesures Physiques, Métrologie et Qualité.

de nos véhicules, qualité de la lumière, détections de gaz, alerte au feu ... Tout autour de nous des capteurs font des mesures qui nous transmettent en permanence des données dont nous avons besoin. Nous mesurons beaucoup. De nombreux secteurs d'activité sont concernés par la métrologie. Les secteurs de la recherche scientifique, l'enseignement, la médecine, la pharmacie, la chirurgie et la microchirurgie, les nanotechnologies, la surveillance des produits alimentaires, de l'environnement, la police, la justice et l'industrie mécanique, chimique, aéronautique, aérospatiale, les télécommunications, les transports, la lutte anti-fraude. Etc. Quasiment tous les secteurs d'activités ont besoin de métrologie. Nous mesurons dans la vie courante, dans l'industrie, dans les laboratoires et pour les échanges commerciaux.

La qualité des mesures a une influence directe sur la qualité des produits fabriqués et leur coût de production ou sur la finesse d'un diagnostic médical

L'organisation de la métrologie

Le contexte international

Référent international de la métrologie scientifique, le Bureau international des poids et mesures a été créé par 1875 par le traité diplomatique de la Convention du Mètre. Le BIPM assure l'uniformité mondiale des mesures et leur traçabilité au Système International d'Unités (SI). Il assure la conservation et la promotion des étalons primaires. Il coordonne des comparaisons internationales des étalons nationaux. L'Organisation Internationale de Métrologie Légale, fondée en 1955, coordonne au niveau international les activités de métrologie légale. L'organisation internationale de normalisation anime et coordonne les travaux d'élaboration de Normes internationales spécifiques à la métrologie.

Le contexte européen

Chaque pays de l'Union européenne a des laboratoires nationaux de métrologie. Ces laboratoires coopèrent au sein d'EUROMET.

L'Union européenne finance dans le cadre du programme « Mesures et essais » des programmes de recherche en métrologie.

Le contexte national en France

Le Bureau national de métrologie organise et coordonne la conservation des étalons nationaux. Il développe des programmes de recherche par le biais des laboratoires nationaux.

La Sous-Direction de la métrologie coordonne les activités de métrologie légale. Les Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement coordonnent les activités de métrologie légale en région

"**La normalisation** a pour objet de fournir des documents de référence comportant des solutions à des problèmes techniques et commerciaux concernant les produits, biens et services qui se posent de façon répétée dans des relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux" ²²⁶

Par exemple, le format des cartes de crédit, des cartes à pré-paiement téléphonique et des cartes dites " intelligentes " que l'on retrouve partout est dérivé d'une Norme internationale ISO. Le fait d'adhérer à la norme qui définit des caractéristiques telles que l'épaisseur optimale (0,76 mm) signifie que les cartes pourront être utilisées dans le monde entier.

L'AFNOR est l'organisme français de normalisation. L'AFNOR recense les besoins en normes nouvelles, élabore les stratégies normatives, coordonne et oriente l'activité de normalisation, donne son avis sur les agréments des Bureaux de Normalisation, veille à ce que toutes les parties intéressées soient représentées dans les commissions de normalisation, organise les enquêtes publiques et homologue les normes françaises. L'AFNOR est chargée de promouvoir la normalisation et de délivrer la marque de conformité des produits aux normes NF.

L'accréditation - En France l'organisme d'accréditation est le Comité français d'accréditation. Le COFRAC accrédite des laboratoires et des organismes pour qu'ils apportent la preuve de leur compétence et de leur impartialité. Les organismes certificateurs de produits sont en général différents de ceux des systèmes d'assurance de la qualité. Ce sont des métiers différents. La certification de produits est importante pour un fabricant de biens de consommation, et la certification de système d'assurance de la qualité est importante pour un sous-traitant.

La qualité - Le Mouvement Français pour la qualité définit celle-ci comme étant l'ensemble de propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites.

²²⁶ Extrait du Décret n°84-74 du 26 janvier 1984

Le Système International d'Unités (SI)

Unité de longueur : le mètre (m)²²⁷

Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ de seconde.

Unité de masse : le kilogramme (kg)²²⁸

Le kilogramme est l'unité de masse. Il est égal à la masse du prototype international du kilogramme.

Unité de temps : la seconde (s)²²⁹

La seconde est la durée de $9\,192\,631\,770$ périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyper fins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Unité de courant électrique : l'ampère (A)²³⁰

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placée à une distance de un mètre l'un de l'autre dans le vide produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.

Unité de température thermodynamique : le kelvin (K)²³¹

Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

Unité de quantité de matière : la mole (mol)²³²

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans $0,012$ kilogramme de carbone 12. Lorsque l'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.

227 Définition de la 17^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures de 1983

228 Définition de la 1^{ère} CGPM de 1889 et de la 3^{ème} CGPM de 1901

229 Définition de la 13^{ème} CGPM de 1967

230 Définition du CIPM en 1946 et approuvée par la 9^{ème} CGPM de 1948.

231 Définition de la 13^{ème} CGPM de 1967. Il est décidé également par la 13^{ème} CGPM que l'unité kelvin et son symbole K sont utilisés pour exprimer un intervalle ou une différence de température.

232 Définition de la quatorzième CGPM de 1971

Unité d'intensité lumineuse : la candela (cd)²³³

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540.10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de 1/683 watt par stéradian

²³³ Définition de la 16^{ème} CGPM de 1979

 METROLOGIE et ENSEIGNEMENT

Cette thèse développe l'idée d'une "pensée universelle" liée à une culture métrologique commune reposant sur l'accord. Elle constate l'inculture métrologique du public et de l'école.

Cette thèse développe trois « modes d'existence » de la métrologie.

La métrologie scientifique a, comme la Science, vocation universelle. Elle établit les unités, les étalons, les méthodes de mesure et les calculs d'incertitude. Elle vit en symbiose avec la communauté scientifique et l'industrie.

La métrologie transactionnelle est née en Mésopotamie, il y a 5000 ans, en même temps que l'école, l'écriture, la comptabilité et les tribunaux. Certains des principes mis en œuvre à cette lointaine époque sont encore présents dans la métrologie actuelle.

La « métrologie personnelle » est introduite dans cette thèse comme un concept nouveau, désignant la fonction originelle de la mesure, une fonction vitale de l'être qui apprend à se reconnaître et à reconnaître son environnement pour survivre, vivre et évoluer.

 METROLOGY and TEACHING

This thesis develops the idea of a « universal thought » bound to a metrological common culture built on agreement. It confirms the lack of understanding of metrology in the general public and in schools.

The thesis examines three « states of being » of metrology.

Scientific metrology has, like Science, a universal vocation. It establishes units, standards and methods of measurement and calculates degrees of uncertainty. It is in symbiosis with the Scientific community and with industry.

Transactional metrology was born in Mesopotamia, 5000 years ago, at the same time as school, writing, accountancy and laws courts. Certain principles of metrology first applied in these ancient times are still present in today's metrology.

« **Personal metrology** » is introduced in this thesis as a new concept, and refers to the original function of measurement as a means for generating self-awareness and environmental recognition, vital for human survival, living and personal development.

 DISCIPLINE : SCIENCES DE L'EDUCATION

MOTS-CLES : mesure ; incertitude de mesure ; mesure/histoire ; mesure/enseignement

U.F.R. Paris 8 – Sciences de l'Education. Université Paris 8 – 2 rue de la Liberté – 93526

– Saint Denis
