

35^e anniversaire du Bureau national de métrologie

Le Bureau national de métrologie a été créé par décret du 28 mai 1969, sous l'égide de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique (DGRST). Il avait pour mission d'élaborer et de coordonner l'activité scientifique en métrologie en France. Depuis 35 ans, les activités scientifiques et techniques du BNM et de ses Laboratoires nationaux de métrologie n'ont cessé de croître, les échanges avec ses homologues étrangers de s'intensifier.

A l'occasion de son 35^e anniversaire, le BNM a organisé un colloque scientifique, le 22 septembre 2004, au Conservatoire national des arts et métiers (Paris). Les interventions choisies ont permis de couvrir de nombreux thèmes scientifiques développés et réalisés au sein du BNM. Beaucoup de collègues de laboratoires nationaux de métrologie étrangers ont accepté de participer à cette manifestation aussi bien en tant qu'intervenants qu'en tant qu'auditeurs, et en particulier le président du Comité international des poids et mesures (CIPM), Monsieur Ernst Göbel (Président de la PTB) et le Directeur du BIPM, Monsieur Andrew Wallard.

Monsieur Jean-Jacques Gagnepain, représentant du Ministre de la recherche et des nouvelles technologies, a ouvert la séance, et la manifestation a été présidée tout au long de la journée par Monsieur Joseph Baixeras.

Le BNM remercie tous les intervenants, français et étrangers, pour avoir fait de cette journée un succès.

Les résumés des exposés sont présentés ci-après.

« L'impact des atomes ultrafroids en métrologie » par Claude Cohen Tannoudji, Laboratoire Kastler Brossel de l'Ecole Normale Supérieure et Collège de France

Au cours des deux dernières décennies, des progrès importants ont été réalisés dans la manipulation des atomes : on sait maintenant les piéger et les refroidir à des températures très basses, de l'ordre du microkelvin. Les longueurs d'onde de de Broglie associées à ces atomes ultrafroids, qui ont des vitesses très faibles, deviennent très grandes et il devient beaucoup plus aisé de mettre en évidence l'aspect ondulatoire du mouvement des atomes. En particulier, il devient possible de construire des interféromètres atomiques utilisant les franges d'interférences obtenues en superposant deux ondes atomiques de de Broglie. Quelques applications récentes de ces interféromètres atomiques à la métrologie et à des tests de physique fondamentale seront brièvement passées en revue.

“ Towards a new definition of the kilogramme based on fundamental constants ” par Beat Jeckelmann, Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS)

A modern system of units has to satisfy all the demands of science, business and society. The definitions of units in the international system of units (SI) are thus in a continuous state of change as a result of the rapid progress of technology. Today, nature's true invariants, the fundamental physical constants, and

standards based on quantum phenomena play an important role in the SI. The kilogram is the last of the base units still make ultimate reference to a material artefact, the international prototype kilogram. Various experiments are pursued which should lead to an up to date definition of the kilogram based on fundamental constants in the near future.

The different experimental approaches will be shortly introduced. Among them, the concept of the moving coil watt balance will be presented in detail with a special focus on the watt balance experiment carried out at the Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation.

“ From the kilogramme to nanometrology – mass and surface metrology united ”

par Kim Carneiro, Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM)

During the third periodic verification of national prototypes of the kilogram (1988-1992) an unexpected and worrying “instability” of the unit of mass was discovered. This led to the Resolution 2 of the 18th CGPM (1987) that recommended that laboratories apply the wide range of techniques now available for the study of surface composition and behaviour to platinum/10% iridium and other alloys used in mass standards. This led DFM to construct a special purpose scanning tunnelling microscope (STM), which revealed that platinum samples, machined by the traditional BIPM-procedure had a high rugosity that could be a reason for uptake of molecules and atoms leading to the reported instability.

15 years later DFM offers standardised services to characterise micro- and nano-structures by the generalised SPM scanning tunnelling microscope, much in the way 3-coordinate measurement machines are used in the millimetre range. This is of particular interest for nanotechnology, biotechnology and precision engineering.

The lecture will describe the evolution from these studies of the instability of the kilogram to nano-metrology.

“ Will quasi-spheres and cross capacitors become primary temperature and pressure standards? ”

par Michael Moldover, National Institute of Standards and Technology (NIST)

From 1927 until the present day, metrologists have used temperature scales established by international agreements. Temperature “scales” provide recipes that reproduce particular temperatures (fixed points) more easily and accurately than these temperatures which can be related to the thermodynamic temperature. This situa-

tion is changing. Recent acoustic thermometry determines the thermodynamic temperature with uncertainties of only a few parts per million in the temperature range 90 K to 500 K. This temperature range will expand and the uncertainties will decrease with the introduction of intentionally imperfect spherical resonators (quasi-spheres). We hope that National Metrology Institutes (NMIs) will be able to replace the complex recipes for fixed points and interpolating rules with acoustic gas thermometers that can calibrate a customer’s thermometer with the thermodynamic temperatures specified by the customer. We also hope that improved quasi-spherical microwave resonators and/or improved cross capacitors will be able to determine the density of gaseous helium from their dielectric permittivities with uncertainties of a few parts per million. If this can be done, the density of the gas will be combined with its temperature and quantum mechanical calculations of the pressure to form an atomic standard of pressure in the range 1 MPa to 5 MPa. The same technologies will enable argon to serve as a secondary pressure standard at lower pressures.

“ Quantum physics in electrical metrology ”

par Erich Braun, Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB)

Electrical metrology has changed very drastically in the past 4 decades. At the beginning the main attendance in a laboratory involved in electrical metrology was directed to the behaviour of resistance and voltage standards which were kept in thermostats at a temperature close to room temperature. Nowadays the same laboratory deals with extreme low temperatures realized with liquid helium. Extreme high magnetic fields and microwaves are in use. The people talk about charge and flux quanta. The scientific reason for this is that it became possible to realize electric units as quantized values by the use of macroscopic quantum effects. Brian D. Josephson and Klaus von Klitzing had predicted or discovered these new effects. Modern microelectronics made it possible to fabricate structures which allow the realization of these effects with high accuracy. The old standards are still in use, however they are monitored by these microchips.

« La métrologie visuelle »

par Françoise Viénot, Muséum national d’histoire naturelle

A la disposition de tous, l’œil et le système visuel sont depuis longtemps utilisés pour mesurer la lumière visible. Si l’on connaît assez bien le traitement des signaux dans la rétine, on ne sait pas bien comment ils sont intégrés dans le cerveau.

Le métrologue exploite les excellentes qualités de comparaison de l'œil pour s'affranchir de la non-linéarité de la réponse visuelle à la lumière. Heureusement, les mesures sont répétables. Et si l'on contrôle sévèrement les conditions de mesure en laboratoire, on peut espérer des résultats reproductibles, au moins dans la fourchette des variations acceptables pour un système biologique. Grâce à ces qualités, il a été possible de mettre en place la Photométrie et la Colorimétrie.

Malheureusement, la réponse visuelle est largement influencée par le contexte d'observation. Ces 35 dernières années, des expérimentations ont été menées dans des conditions naturelles, où l'observateur humain est soumis à des conditions d'adaptation réelles et explore librement la scène visuelle, et où une large part de la réponse est sous le contrôle du cerveau. On constate alors que loin d'avoir un comportement erratique, le système visuel humain est capable de se corriger pour fournir un ensemble de résultats cohérents.

**« Les activités et les objectifs de la fonction métrologie dans un centre de recherches »
par Philippe Dutot, Total**

Résumé non disponible.

**« La métrologie des rayonnements ionisants utilisés en médecine »
par Jean Chavaudra, Institut Gustave Roussy**

L'utilisation des rayonnements ionisants en médecine est l'un des exemples caractéristiques de l'importance de la métrologie pour l'étude des phénomènes biologiques et la mise en œuvre d'exams ou de traitements avec des équipements sophistiqués.

L'un des domaines où la métrologie doit être la plus rigoureuse est la radiothérapie, qui permet de détruire des tissus tumoraux, contribuant ainsi à la guérison d'un cancer sur deux. Les modalités d'absorption d'énergie par les milieux biologiques irradiés sont telles qu'il en résulte des ionisations et des excitations conduisant à des radicaux très actifs chimiquement, et qui altèrent l'ADN des cellules. Selon les capacités de réparation de ces cellules, elles peuvent survivre normalement, survivre avec leur ADN modifié (mutations potentiellement à l'origine de cancérisation) ou, dans les conditions de la radiothérapie, mourir à brève échéance. La quantification de l'irradiation repose sur la dose absorbée, grandeur correspondant à une énergie absorbée par unité de masse (unité le gray, égal à un joule par kilogramme). Les critères d'un bon traitement sont la délivrance d'une dose assez élevée pour détruire toutes les cellules tumorales (plusieurs dizaines de

grays) en préservant au maximum les tissus sains environnants. Cet équilibre entre risque de récurrence ou de complications implique une grande exactitude de la distribution des doses délivrées, l'incertitude type maximale recommandée, estimée avec les données cliniques actuelles étant de $\pm 3,5\%$ (incertitudes combinées de type A et B). Ces incertitudes concernent de multiples étapes :

- références primaires (LNHB en France) ;
- transfert vers les utilisateurs (étalonnage des dosimètres) ;
- étalonnage des appareils de traitement ;
- systèmes de calcul des distributions de doses dans les patients ;
- réalisation des irradiations.

Aujourd'hui, les incertitudes réelles attachées à toutes ces étapes sont encore trop importantes, et leur combinaison, à la limite de ce qui est recommandé, soulignent entre autres le besoin d'études métrologiques complémentaires, concernant aussi bien les références primaires que les méthodes de mesure et les dosimètres, les calculs de dose et le contrôle des irradiations.

**« Métrologie et qualité des aliments »
par Max Feinberg, Institut National de la Recherche Agronomique**

Il est généralement admis que la qualité des aliments se décline sur au moins 5 niveaux : qualité hygiénique, qualité nutritionnelle, qualité organoleptique, qualité de service et qualité technologique.

Pour plusieurs de ces niveaux, le contrôle et la maîtrise de la qualité passe par une mesure, souvent de nature physico-chimique (concentration en nutriments, métaux lourds, mycotoxines...), mais bien souvent de nature plus complexe comme un dénombrement bactérien (analyse microbiologique) ou une mesure hédoniste (test de préférence...). En outre, les produits agroalimentaires présentent des caractéristiques originales, comme la complexité des matrices ou la biodégradabilité des échantillons. On retrouve un peu les mêmes choses en biologie clinique et l'émergence de nouvelles techniques basées sur les progrès de la biologie moléculaire ne fait que souligner cette concomitance.

Cet ensemble de contraintes pose un certain nombre de problèmes pour la mise en œuvre d'une approche métrologique cohérente. Nous aborderons quelques-uns des problèmes spécifiques de la chimie agroalimentaire afin d'illustrer les questions soulevées par cette discipline :

- importance de l'approche GUM de type A. À travers un exemple récent publié en collaboration avec le LNE, on illustrera le rôle de l'analyse inter-laboratoires de type ISO 5725 pour maîtriser les sources d'incertitude en chimie agroalimentaire ;
- contrôle de l'homogénéité des matériaux de référence. Les circuits d'aptitude ont une place de choix pour l'accréditation des laboratoires de contrôle agroalimentaires. Une stratégie originale de contrôle de l'homogénéité basée sur l'utilisation de la spectrométrie proche infrarouge permettra d'illustrer l'intérêt des méthodes multidimensionnelles d'analyse ;
- analyse biologique et microbiologique. La métrologie des méthodes biologiques d'analyse reste encore à inventer alors que ces techniques sont très répandues, soit qu'elles sont qualitatives, comme l'identification d'une bactérie ou d'un virus, soit que le mesurande pose encore de problèmes de définition, comme le dénombrement de bactéries ou recherche d'Organismes Génétiquement Modifiés.

“ The changing role of Euromet ”

par Seton Bennett, National Physical Laboratory (NPL)

Euromet is a voluntary cooperation involving the national metrology institutes (NMIs) in the EU, EFTA, and EU Accession States. The organisation currently has 31 full members, and its principal objective is to promote the coordination of metrology in Europe with the purpose of achieving higher effectiveness and efficiency. I guess you were having to meet the 100 word requirement, just worried me a bit if our European colleagues think your chief aim as EUROMET chair is “efficiency”...as in closing down all those pesky smaller NMIs! For the last few years, Euromet’s agenda has been dominated by the requirements of the CIPM Mutual Recognition Arrangement, but it is clear that the role of Euromet will have to develop over the next decade to reflect the changing priorities in European

metrology. Individual NMIs are facing new measurement challenges in nanotechnology and bioscience as well as demands for improved basic standards and better use of information technology. The only way they can meet these needs with limited resources is by closer research collaboration and increased sharing of major facilities. Euromet is providing the forum for discussing the future requirements for metrology in Europe, with the declared purpose of establishing a network of European NMIs with common goals and joint programmes. The recently completed MERA project has set objectives for closer cooperation, and Euromet is reordering its priorities to prepare for the implementation of the MERA recommendations.

“ Challenges for metrology in the 21st century ” par Andrew Wallard, Bureau international des poids et mesures

For many decades, metrology has largely been concerned with physics and engineering with continual progress in measuring with greater accuracy and precision so as to meet industrial needs. Trade globalisation has driven metrologists into new areas and today we see our work being used politically, commercially and by regulators and legislators as well as fellow metrologists.

What does the 21st Century hold for us? Already we see our concepts of traceability and uncertainty being needed in new areas of application, starting with chemistry but now including medicine and food. Partnerships with experts in these areas are essential for the effective uptake of metrology and the BIPM is creating international linkages and opening up these important contacts which can be reflected at the national level.

Balancing these new demands with continuing progress in the old areas is a major challenge which raises issues for world metrology as well as National Metrology Institutes.