

# La métrologie, son rôle dans la culture et le développement technique

G. Denègre

La métrologie (métron, logos), science des mesures et bien autre chose qu'un club d'initiés, au contraire elle s'adresse à tous, scientifiques, ingénieurs et techniciens, commerçants afin de mettre à leur disposition des références

indiscutables.

Elle est un langage international à des degrés divers, et favorise ainsi les échanges non seulement culturels mais commerciaux et par là même incite les techniciens à l'utiliser.

## Philosophie de la métrologie

Si nous remontons l'histoire, nous voyons que, dans les premiers âges de l'humanité, le groupe s'est constitué pour survivre. Puis, le groupe s'est aperçu qu'il existait d'autres qui, parfois utilisaient des aliments, des objets différents des siens; la notion d'échange s'est instaurée et pour que chacun ne soit pas le dupe de l'autre, il fut convenu d'évaluer la valeur des objets pour les échanger.

En fait ce fut à l'origine plutôt la notion de qualité que de quantité qui prévalut dans ce que nous appelons aujourd'hui le troc mais, sous-jacent, c'était la valeur monayable qui s'établissait.

De l'échange entre les groupes l'on arriva à l'échange entre les tribus et populations, les quantités devinrent plus importantes et la notion de quantité, soit en dimensions, soit en poids, se fit jour, on mesure puis on pesa les objets. Pour cela il fallut imaginer des étalons de références et des

objets de comparaisons.

Les étalons et les mesures furent nombreux, pratiquement autant que les langages et dialectes. Dans l'échange et la vente des objets il suffisait d'être d'accord sur un système simple compris de tous. Les systèmes fleurirent.

Il a fallu une longue évolution de pensée et de discussions ardues pour atteindre à un système cohérent d'unités qui fut le système métrique dont il faut bien admettre que l'aspect de décimalisation fut une déterminante.

Ce virage dans l'harmonisation des étalons métrologiques et leur application ne se fit pas sans heurts, et il faut bien reconnaître que d'autres systèmes de base ont permis leurs utilisateurs de progresser tout aussi bien. Mais le but de ce propos n'est pas de comparer un système à l'autre alors que le mouvement général est en route pour l'adoption d'un seul, d'autant que son appellation moderne de "système

international" le destine à ce rôle.

Le véritable décollage de la métrologie tel que nous le concevons est le XVIII<sup>e</sup> siècle et son mode de pensée. Du rythme ancestral de mode de vie, l'on est passé progressivement, puis de plus en plus vite, au rythme de l'industrie. L'élaboration des objets effectués par des artisans va se transformer en fabriques puis en usines au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, véritable charnière entre l'ancien et le nouveau mode de vie.

Pour aller plus vite et élaborer les objets semblables les uns des autres, il va falloir utiliser des mesures sûres. Le système métrique et sa décimalisation sont bien adaptés à ce processus. Alors que l'artisan évaluait l'objet en le comparant à ses propres dimensions, il va utiliser des instruments de mesures, puis la fabrique, l'usine vont également en créer; la notion de centralisation dans une même usine des instruments de contrôle apparaît.

Petit à petit la taille des entreprises grandit, plusieurs usines se regroupent dans une société. Pour correspondre entre elles, elles doivent en plus de la langue véhiculaire nationale utiliser des mesures et des instruments de mesure communs. Pour vendre et représenter l'objet, on note ses dimensions, son poids, sa puissance etc..., les unités dérivées se multiplient.

L'objet une fois fabriqué est contrôlé à l'aide de multiples instruments de mesure, utilisant des unités dont toutes se relient à celles préconisées par le système métrique puis par le Système International.

De l'utilisation de ces unités par des instruments de mesure qui, non seulement, évaluent les formes mais également les structures des objets, l'on passe rapidement à une automatisation des calculs et des contrôles. De l'étape précédente utilisant uniquement l'homme puis l'équipement de mesure et de contrôle, on passe à l'évaluation des données et à l'utilisation des résultats pour l'exécution d'un ordre.

L'instrument de mesure, véritable élément sensoriel, s'insère dans une chaîne qui traite l'information sur calculatrice laquelle agit sur des servo commandes. L'on en arrive au système de contrôle en temps réel, forme avancée de l'automatisme et de la robotique.

Ainsi la référence de mesure, l'étalon de référence sont-ils apparus suffisamment sûrs pour que l'industrie leur fasse confiance au point de leur confier la garantie des opérations effectuées. En fait la production industrielle moderne

ne pourrait fonctionner si une normalisation des systèmes de mesure n'avait existé et si ces références et étalons n'avaient été imaginés de façon rationnelle.

Il est amusant de souligner la décimalisation, pierre angulaire de l'utilisation du système S.I., ce qui nous conforte en ce que nos prédécesseurs étaient certainement des visionnaires éclairés. En effet, l'automatique et l'informatique moderne utilisent l'information numérique qui s'adapte parfaitement au système décimal.

Cependant cette vue euphorique des choses ne doit pas nous faire oublier que ces références dont on se sert tant à tous les échelons doivent être garanties, c'est pour cela que dans tous nos pays, avec une ampleur plus ou moins grande déterminée par la taille des industries, ce sont instaurées et s'instaurent des organisations de métrologie qui, des étalons de référence nationaux eux-mêmes raccordés aux étalons du Bureau International des Poids et Mesure, permettent par jeu des centres et des services d'étalonnage de garantir à tout instant les étalons de travail, et les mesures effectuées dans l'industrie.

Le rôle des métrologues, tant pour ceux qui dans les laboratoires de recherches s'attachent avec compétence et ténacité à gagner une décimale, que pour ceux qui dans les services d'industrie effectuent les étalonnages, et bien ce rôle est souvent obscur et pas toujours bien compris parce que non spectaculaire. Il n'en demeure pas moins qu'il est essentiel et que si cette science qu'est la métrologie, prolongée par les techniques de mesures, n'était pas parvenue au degré actuel il n'y aurait certainement pas eu le développement industriel auquel nous avons atteint.

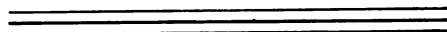
En fait, l'on constate que dans une métrologie moderne il existe deux volets :

Le volet scientifique

Le volet technique

Nous allons examiner ces deux aspects en tissant entre les deux le lien indispensable qui permet, ainsi que dans tout autre domaine, d'examiner la continuité de recherche et développement.

Cette continuité est indispensable pour situer le rôle de la métrologie dans le développement de l'industrie et par là même des échanges, non seulement nationaux mais internationaux.



## Le rôle et l'utilisation de la métrologie dans la recherche

Tout laboratoire de recherche utilise la métrologie et l'utilisera de plus en plus. Tout chercheur qui réfléchit à une expérience la conçoit, du moins en physique, en physico-chimie, en utilisant des appareils de mesure, que ce soit pour démontrer ou pour vérifier une hypothèse. Le physicien, l'expérimentateur a besoin de comparer ses mesures à celles effectuées par d'autres ou pour leur permettre à leur tour de reproduire les siennes. Cette comparaison ne peut-être sûre que si chacun utilise un système d'unités commun et dont les grandeurs sont indiscutables. Le Système International d'unités (SI) se prête admirablement à ce langage commun, normalisé, des mesures.

Le développement scientifique est en perpétuelle innovation; si, bien évidemment dans les données fondamentales, les idées vraiment nouvelles ne sont pas aussi fréquentes que dans le développement technologique auquel nous assistons depuis une trentaine d'années, c'est à un affinage de la précision, de l'exactitude en métrologie que s'efforcent d'atteindre les laboratoires.

Une courbe représentative de ce phénomène pour chaque domaine de grandeur est présentée par le document du NBS, «Technical note No 262 - Accuracy in measurements and calibrations».

Nous avons utilisé en France ce type de courbe pour caractériser les incertitudes obtenues dans chaque laboratoire primaire français.

On observe pour chacune de ces grandeurs une étendue de mesure dont l'incertitude est constante, puis cette incertitude décroît très rapidement.

On pourrait affirmer que cette courbe type est caractéristique du progrès scientifique de la métrologie, mais tout aussi bien de la physique instrumentale et par là même de la recherche en physique. En effet le progrès en métrologie consiste à élargir la partie plate de la courbe pour conserver, vers les valeurs très petites ou très grandes, l'incertitude obtenue pour l'unité de base - laquelle se trouve être dans une grandeur appréciable par nos sens. Si nous pouvons apprécier un kilogramme en le soupesant, nous effectuons une erreur considérable en soupesant le milligramme, encore plus le microgramme et nous ne pouvons soulever (du moins la majeure partie d'entre nous) 100 Kg et encore moins 1000 Kg. Cela est valable pour les instruments de mesure.

Cet affinage des mesures et la réduction des erreurs s'effectuent soit en travaillant sur les équipements existants soit, et de plus en plus, en utilisant de nouveaux concepts. C'est le cas pour la définition de la seconde pour le temps.

La seconde est définie par 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondante à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental du Césium 133. on est donc passé de l'utilisation de la mesure de la rotation de la terre à un concept de physique moderne.

Nous pourrions en citer bien d'autres,



tels que les progrès effectués dans le domaine des lasers quant à leur exactitude et leur stabilité, la métallurgie fine pour les masses, la mesure des très basses et très hautes températures par l'utilisation de plasmas, etc.

Il est très utile de noter que l'innovation que constitue l'utilisation des lasers en métrologie permet bien des espoirs quant aux applications des fréquences. Le mètre actuel étant représenté par la définition suivante : "sa longueur est égale à  $1\,650\,763,73\lambda$ " c'est à dire longueurs d'onde de la transition entre les niveaux  $2p_{10}$  et  $5d_5$  de l'atome de Krypton 86.

Un espoir réside dans le fait qu'ils pourraient un jour remplacer la définition actuelle par un nombre de longueurs d'ondes émises par un laser considéré comme référence. Nous n'en sommes pas encore là, mais l'utilisation de ces sources couplées avec des interféromètres ont déjà permis de

réaliser d'excellents équipements de mesure dimensionnelle qui par leur aspect numérique s'adaptent fort bien au traitement des données sur ordinateur.

L'on peut également affirmer que les progrès technologiques dans les composants et la technologie de l'instrumentation permettent de concevoir de nouveaux instruments de mesure - lesquels, de par leurs performances, permettent des études exploratoires encore impossibles ces dernières années et de vérifier certaines hypothèses restées dans leur état par suite de moyens insuffisants.

La métrologie en recherche n'est pas un domaine à part, elle est partie intégrante de l'instrumentation expérimentale et par conséquent de la recherche, et c'est pour cela qu'elle fait partie des sciences de l'ingénieur. Elle se situe à mi-chemin entre la recherche fondamentale et la technologie.

## Le rôle et l'utilisation de la métrologie dans le développement - L'industrie.

Si la métrologie a un rôle certain et indiscuté en recherche, ce rôle n'en est pas moins tout aussi important en développement.

Effectuer une mesure consiste, en utilisant une loi physique, à prélever une information que l'on codera suivant un système d'unités. Cette mesure peut être effectuée par un instrument de mesure, par un système groupant des appareils de mesure. Quelle que soit la solution, l'information recueillie par un opérateur ou par un ordinateur à des fins multiples doit être crédible et non sujette à discussion.

Le bureau d'études, la plate-forme, le laboratoire d'essais, le commerce, l'environnement, etc... tous utilisent des mesures. Ces mesures, encore plus que dans le domaine scientifique, ont besoin d'être effectuées à l'aide d'un système d'unités.

Dans le développement, la notion du système unique n'est plus à démontrer : il n'est que de constater les difficultés qui apparaissent lorsque l'on passe du SI au British Units, du moins pour les unités de longueur, de masse, de température. Ces difficultés croissent lorsque l'on utilise les unités dérivées de part et d'autre du point milieu de courbe citée au début du présent article.

De plus en plus la technologie, l'industrie, le commerce ont et auront besoin d'instruments de mesure

délivrant des valeurs sûres.

En effet, avec la multiplication et la finesse des opérations de contrôle effectuées, l'on se dirige vers une automatisation de ces opérations - sinon le temps nécessaire à ces contrôles deviendrait prohibitif sur le plan économique.

La spécialisation s'est étendue aux instruments de mesure. Les corrections d'erreur encore lues à ce jour sur des courbes seront de plus en plus effectuées directement à partir d'un programme prédéterminé et intégré au microprocesseur, partie intégrante de l'instrument de mesure.

Les opérations de contrôle utiliseront de plus en plus le prélèvement statistique de par l'amélioration des composants et la rationalisation de la conception de ces instruments dues à la normalisation et à la maîtrise des méthodes de traitement des données.

Mais pour que tout cela fonctionne et soit crédible, il faut que les grandeurs délivrées soient sûres. C'est dans ce but que dans la plupart des pays industrialisés ou en voie d'industrialisation, des systèmes de raccordement aux unités de base sont en cours de mise en place. Par l'organisation, le choix de laboratoires spécialisés, depuis les étalons primaires jusqu'aux services de qualité de l'industrie, tout instrument de mesure peut être étalonné et évalué.

Cela veut dire que cet instrument de mesure est comparé directement ou indirectement aux étalons de référence nationaux et internationaux, garants des unités utilisées.

L'automatisation est et sera de plus en plus grosse consommatrice de capteurs de mesure en étroite liaison avec la mini-informatique. Acquisition des données mise en forme et traitement sont liés. Automatisation signifie réduction de certains travaux astreignants, accroissement du volume de la production tout en maintenant la qualité des produits élaborés. La notion de contrôle en temps réel fait intervenir

## Instrumentation

Je voudrais m'appesantir quelques instants sur ce que l'on appelle l'instrumentation. Cette appellation concerne les instruments de mesure et leur utilisation.

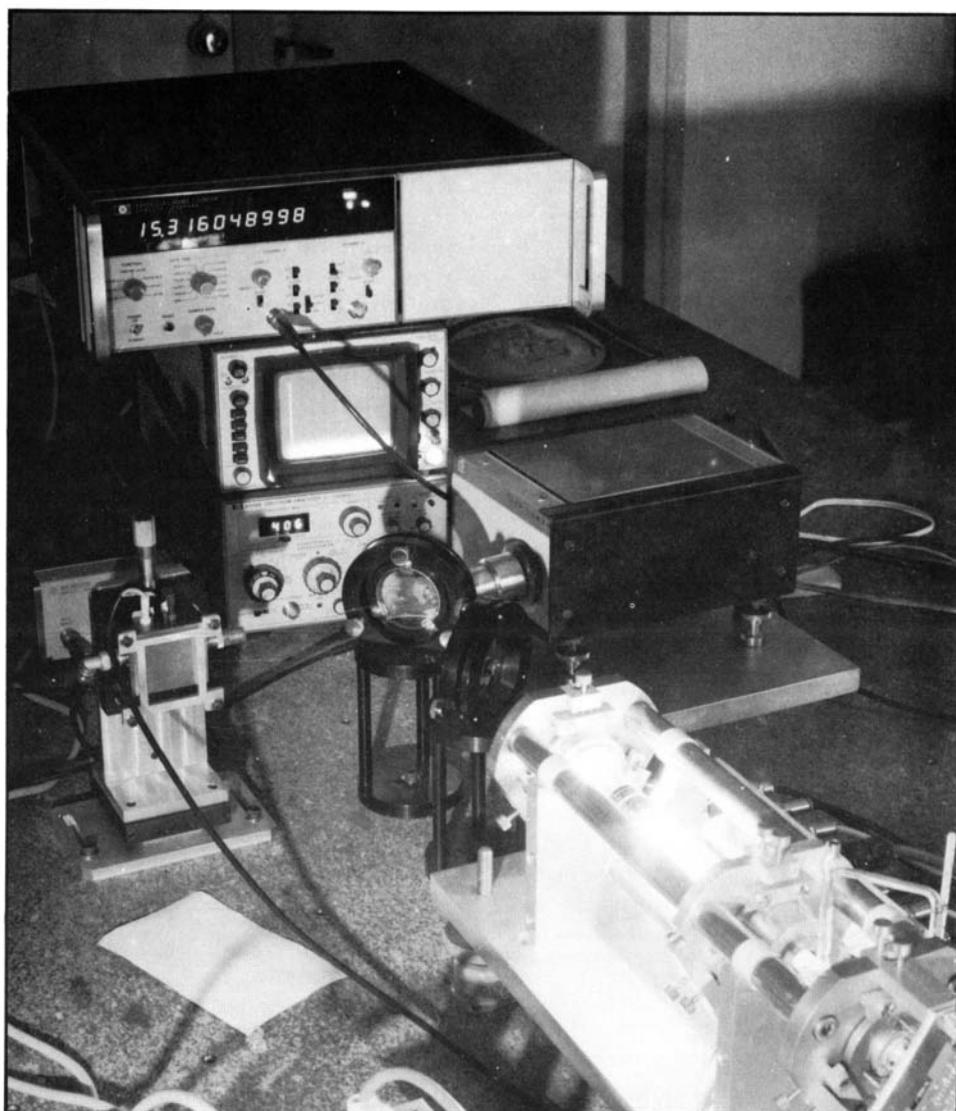
En effet, l'instrumentation est la retombée directe de la métrologie et tout utilisateur d'un instrument de

une utilisation permanente de la métrologie et des mesures.

Sur le plan de l'instrumentation, un exemple peut résumer l'action de la métrologie. Si l'on achète deux instruments de mesure identiques et que leur utilisation sur une même valeur donne deux indications différentes, comment lever le doute ? Seule l'opération d'étalonnage par comparaison à un étalon le permet. Cette opération peut se concevoir également en temps réel en automatisant et en programmant sur micro-processeur ou ordinateur de commande.

mesure est un métrologue à des degrés divers.

Ces instruments de mesure se diversifient à une vitesse prodigieuse et deviennent indispensables à tous les niveaux d'une industrie. Je vais peut être me répéter mais il m'apparaît que ce domaine est aussi essentiel que la



Banc de mesure pour la conservation du volt

métrologie telle que je viens de la présenter.

Effectuer une mesure consiste, en utilisant une loi physique, à prélever une information que l'on codera suivant un système d'unités. Cette mesure peut être effectuée à l'aide d'un montage, ce qui était le cas il y a encore peu de temps, soit à l'aide d'un équipement de mesure qui est un appareil industrialisé en qui, en principe, l'on a toute confiance et qui vous délivre directement la grandeur mesurée. L'opération y perd en intérêt, mais y gagne en rapidité, et on le souhaite en sûreté.

C'est là une des difficultés de la diffusion des instruments de mesure modernes. Si dans le cas du montage l'opérateur avait confiance en lui-même et en son entourage car il en était l'auteur, dans le cas de l'appareil de mesure qu'il n'a pas conçu, une suspicion apparaît provoquée parfois par une incompréhension du principe utilisé. Ceci est souvent dû au fait que la formation de l'utilisateur n'est pas suffisante ou qu'elle devrait être encyclopédique et dans les deux cas l'appareil va être étudié, contrôlé, critiqué. Il y a donc lieu soit de concevoir une formation adaptée aux techniciens de la mesure soit de faire admettre par les utilisateurs qu'une confiance doit présider à l'utilisation de l'appareil. Mais pour cela il faut qu'il soit garanti que l'appareil est infailible. C'est une affirmation à laquelle peu se risqueraient.

Ces quelques préliminaires pour situer le climat dans lequel vit l'instrumentation, climat qu'il faut aérer.

Passons maintenant à la situation technique de l'instrumentation. L'instrument de mesure représente l'équivalent des sens d'un être vivant. Il détecte toutes modifications de la matière, des objets, ces modifications peuvent être lentes ou rapides. Mesurer une pièce en cours d'élaboration se faisait et même se fait encore avec un pied à coulisse, un palmer. L'opérateur lit une grandeur sur un équipement, étalonné préalablement et, poursuit son travail. Il estime par approches successives l'instant où la mesure sera conforme aux prévisions suivant sa mémoire ou la lecture d'un ordre écrit. La notion de prélèvement des données par comparaison à une valeur de référence par mémorisation apparaît. L'automatisme n'est pas encore utilisé.

L'industrie mécanique de grande série et de grande précision va introduire la nécessité d'utiliser d'autres processus.

La pièce en fabrication rapide devra être contrôlée en permanence de façon à ce qu'au terme de son usinage elle soit conforme au modèle choisi; il va donc falloir automatiser le processus.

Cette approche assez grossière permet cependant de dégager également une classification :

a) Les instruments de mesure que l'on pourrait appeler scientifiques, utilisés dans les laboratoires sont souvent très élaborés, coûteux et construits en séries limitées. Ces équipements sont à la disposition de personnels de niveau élevé. Ils sont utilisés soit à des fins de recherche, soit à des fins de contrôle. Les informations qu'ils délivrent sont, soit directement utilisées par l'opérateur, soit stockées en mémoire ou machine.

b) Les instruments de mesure industrielle qui, ainsi qu'exposé précédemment, sont utilisés en quantité de plus en plus grande et qui loin d'être des instruments frustrés, sont souvent constitués par une adaptation industrielle d'équipements de laboratoires que l'on a industrialisés et dont la fiabilité a été particulièrement étudiée. On leur demande surtout d'être reproductibles. Les données qu'ils délivrent sont utilisées de différentes façons et nous examinerons plus loin leur couplage avec les chaînes d'automatisme.

c) On pourrait ajouter à cette classification l'instrumentation médicale qui a évolué des équipements de radiologie vers des équipements très sophistiqués d'études de diagnostics et qui, en fait, utilise de petits capteurs adaptés à l'organisme. Ils sont la plupart du temps couplés à des chaînes de mesure de par le faible niveau des paramètres mesurés. Une tendance à l'automatisme d'équipements s'est déjà amorcée quant à la régulation de systèmes d'assistance à l'organisme.

Au risque de me répéter, je souligne que plusieurs caractéristiques d'utilisation sont attribuées aux équipements de mesure :

- lecture directe par un opérateur suivant que l'indication donnée délivre une grandeur étalonnée ou bien une indication limite;

- lecture différée par un opérateur;

- injection de l'information dans un système qui apprécie la valeur délivrée par référence à une valeur prédéterminée et appréciation humaine en bout de chaîne;

- injection de l'information dans

un système d'automatisation où l'opérateur humain ne fait que surveiller. La terminologie employée est vaste et les jargons professionnels souvent différents.

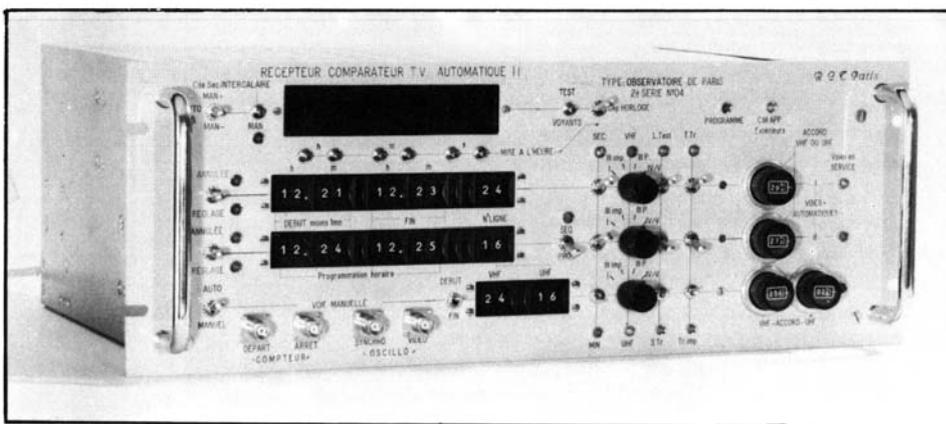
Cependant on peut tenter une distinction entre :

- l'appareil de mesure qui est un équipement effichant une grandeur dans un système de mesure (SI et unités dérivées) et que lit un opérateur;

- l'appareil qui détecte une variable et l'injecte dans un système programmé lequel comprend une référence de mesure à laquelle est

comparée la variable et qui permet d'étalonner la chaîne de mesure. On appelle ces équipements des capteurs de mesure. Il est parfois malaisé de définir un capteur, la frontière avec l'appareil de mesure est souvent assez floue.

- et le petit calculateur associé, lequel peut d'ailleurs être relié à un calculateur central et auquel on doit sous forme de programme introduire toutes les opérations, tous les détails adaptés aux cas particuliers. C'est le travail de software auquel doivent être préparés les ingénieurs de mesure contrôle régulation.



Récepteur comparateur de télévision

## Instrumentation et automatisme

Il a été souligné le rôle de l'instrument de mesure dans une chaîne de mesure et dans un système d'automatisme.

Il est évident que sans prélèvement de l'information une chaîne d'automatisme serait limitée à effectuer des opérations programmées mais fonctionnant en fait par tout ou rien. C'est par exemple le cas des machines automatiques d'encapsulation commandées par cames, par systèmes pneumatique ou hydraulique, etc... non munies de capteurs de mesure.

Si la chaîne d'automatisme est munie d'un appareil de mesure, d'un capteur, celui-ci va apprécier si l'opération effectuée est conforme au programme avec une tolérance prédéterminée et pourra soit éliminer l'objet, soit arrêter l'opération. L'appréciation de l'opération effectuée intervient : cette évolution qui est en fait le circuit de contre réaction dans une chaîne de mesure intervient dans la commande de la machine automatique et permet de régler précision, amortissement, vitesse

Un des problèmes importants de l'ingénierie de l'automatisme est de coupler harmonieusement l'appareil de

mesure, la chaîne d'adaptation et les circuits et machines du système à automatiser. Ce n'est pas un art mais une technique, les plages de mesure, les courbes de réponses, les temps de réponse, les impédances d'adaptation doivent être attentivement étudiés et si l'électronique permet à l'aide des circuits d'adaptation de régler ces différents paramètres, il n'en est pas toujours ainsi lorsqu'il s'agit de mécanique, de pneumatique et d'hydraulique.

L'évolution du couplage instrumentation-automatisme est marquante et doit s'accroître. Dans ce sens plusieurs suggestions ont été faites que je vous soumets :

- optimisation du nombre de points de mesure en fonction du nombre de paramètres permettant de décrire le processus;
- optimisation des temps de réponse des appareils de mesure, des capteurs et des fréquences d'échantillonnage en fonction des opérations à effectuer par le système à automatiser;
- mode de présentation des données, la mieux appropriée au processus et

degré d'intervention humaine à prévoir;

d) formation des personnels ergonomie;

e) degré de décentralisation de la gestion, c'est le problème à étudier cas par cas; doit-on développer les unités centrales? Quelle est la taille optimale à ne pas dépasser? Où se situent la rentabilité technique et la rentabilité financière dans le cas de la décentralisation par petites unités elles-mêmes reliées à une unité centrale?

f) fiabilité des installations. Il est évident qu'une unité de production entièrement automatisée est tributaire de la fiabilité des installations automatiques. Il est donc impératif de s'attacher à la technologie des équipements en vue de disposer d'une probabilité de pannes et d'erreurs minimales.

Ces quelques réflexions sont d'ordre général et orientent une certaine rationalisation dans l'étude des processus. On pourrait ajouter qu'il est souhaitable que la diversification actuelle des appareils de mesure et capteurs soit ramenée à des proportions raisonnables afin d'atténuer la perplexité des utilisateurs devant des choix à effectuer.

Sur le plan technique peut-être serait-il utile de creuser le problème sortie analogique ou sortie numérique en faisant apparaître dans quelles applications doit-on utiliser la première ou la seconde présentation des données.

La transmission des données retient également l'attention des ingénieurs. Il apparaît que les fibres optiques, exemptes des parasites électromagnétiques, permettent d'envisager des bandes passantes élevées ( $\approx 1$  Gbits/s) sur des courtes distances (équipements de machines, transmissions entre unités centrales et périphériques, etc ...).

Enfin, le problème de la fiabilité dépend

## Conclusion

Nous avons abordé plusieurs aspects de la métrologie et de ses retombées, ces incursions dans plusieurs domaines qui sont toutefois reliés par le désir d'obtenir des mesures de plus en plus précises et crédibles, avaient pour seul objectif de mieux situer leur utilité dans le vaste mouvement scientifique et technique dans lequel nous évoluons.

Je terminerai en soulignant également dans le volet développement, l'importance des matériaux de référence

également de la taille des composants et du phénomène physique utilisés. Les remarquables progrès effectués dans le domaine des semi-conducteurs ont permis de réaliser des composants ultraminiaturisés et par conséquent de réduire au minimum les gradients thermiques sources de bien des erreurs et dérives. Le même raisonnement s'applique à la tenue, aux vibrations et aux chocs de par la faible inertie mécanique des composants.

Ces micro et bientôt nano circuits et composants ont incité et vont inciter de plus en plus l'instrumentation de mesure et les capteurs à utiliser les micro circuits. On parle de plus en plus de micro ampères et non plus de milli ampères. Il en découle une nécessité de sûreté des contacts électriques encore jamais atteinte. Cela soulève ce dont il a déjà été question dans plusieurs congrès, la notion d'une métallurgie spéciale et d'une technique nouvelle qui devront de développer dans les années à venir.

Enfin pour terminer, l'on s'oriente et s'orientera de plus en plus vers une intégration poussée du processus de prélèvement de la grandeur à mesurer, à sa mise en forme et à son amplification ainsi d'ailleurs que du micro processeur associé. En fait si l'outil à commander voit ses dimensions et sa puissance augmenter, les chaînes de mesure tendent à réduire leurs dimensions, leur puissance absorbée, tout en accroissant leur finesse de résolution et leur stabilité dans le temps.

Il est difficile d'établir un bilan, encore plus de prévoir devant les émergences aléatoires d'idées nouvelles. Tout au plus peut-on en s'appuyant sur des faits, tirer des conclusions à un instant donné. L'instrumentation touche à tout avec l'automatisme, ils se rejoignent heureusement devant la maturation actuellement admise de l'instrumentation.

et des méthodes associées. Les appareils de mesure d'analyse, de contrôle des propriétés physiques des matériaux doivent être également vérifiés et recalés sur leur courbe d'étalonnage d'origine. On utilise pour cela des échantillons dont les propriétés structurales physiques, chimiques et technologiques sont parfaitement connues et certifiées. Ces échantillons sont de véritables références de transfert. Leur rôle dans l'élaboration, le

contrôle, les transactions commerciales sont du plus haut intérêt. Leur assimilation à des étalons métrologiques vient de cette notion de vérification d'étalonnage par comparaison à une référence certifiée.

La métrologie est une forme de la normalisation : dans son volet recherche elle se situe en amont, dans le développement elle participe et par là même crée les conditions d'une normalisation indiscutable parce que vérifiable à l'aide de méthodes de mesure reliées à des unités admises par tous et aisément reproductibles.

Sans métrologie et système de mesure tels que nous les concevons, il y aurait des normalisations. Avec une

métrologie, il y a une normalisation et par conséquent une plus grande probabilité de développement des objets construits en séries de plus en plus importantes et par là même un coût moindre du prix de revient.

Enfin les recherches en métrologie et leurs applications s'insèrent dans la culture scientifique et technique. Si elles permettent à l'homme de se situer par rapport à l'univers et par là même à lui inculquer la modestie elles l'aident à le comprendre. Du microcosme au macrocosme, l'innovation permanente des instruments de mesure aident l'homme dans son effort de réflexion à la compréhension de son environnement et par là même de la civilisation qu'il crée.

