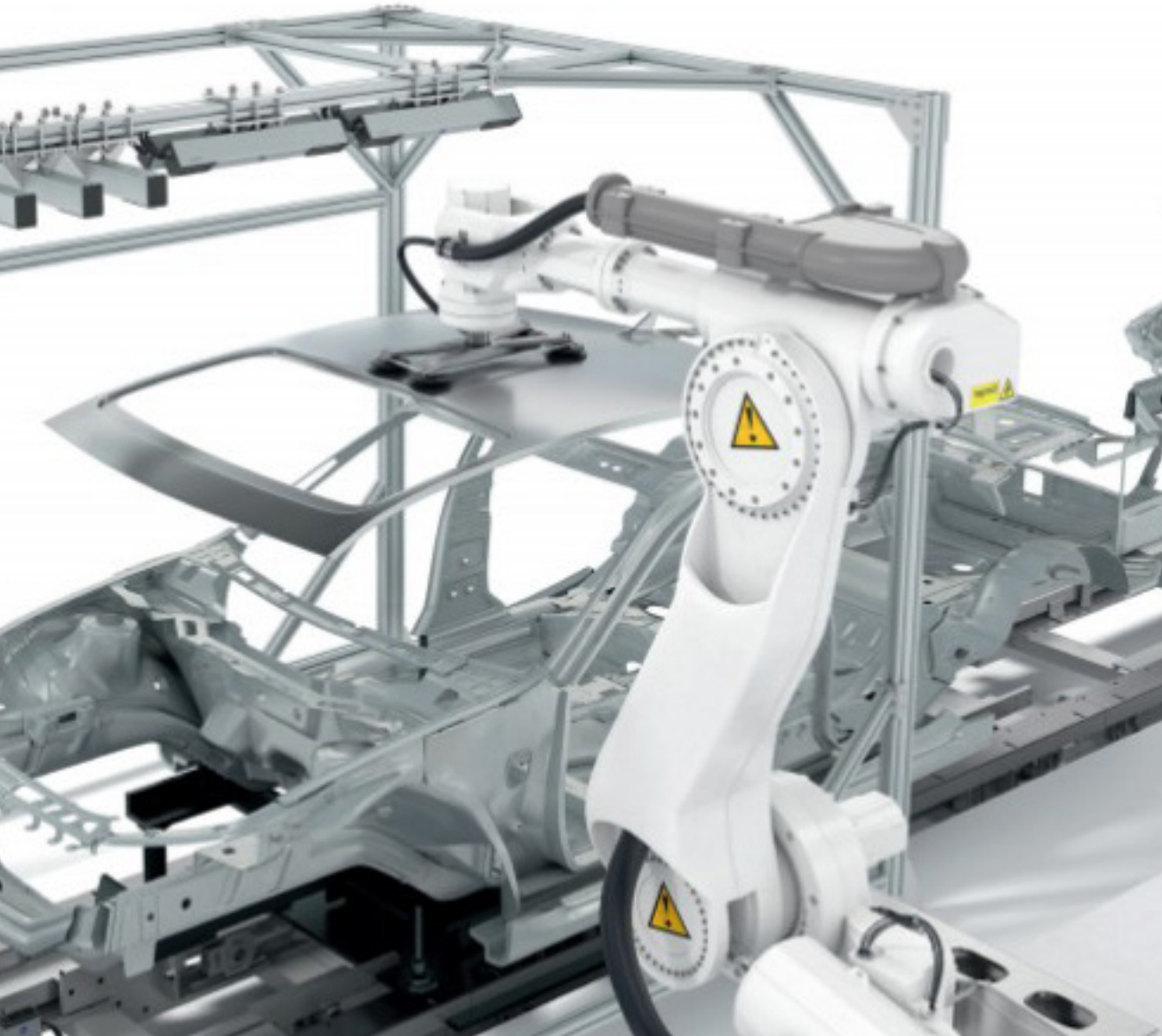




TECHNIQUES  
DE L'INGÉNIEUR

LES FOCUS  
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



# LA MÉTROLOGIE

CLÉ DE VALORISATION POUR  
L'INDUSTRIE DU FUTUR

---

août / 2020

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>INNOVATION ET MÉTROLOGIE POUR L'INDUSTRIE</b>	<b>4</b>
▪ <b>LE NUMÉRIQUE RÉVOLUTIONNE LE DOMAINE DE L'ÉTALONNAGE</b>	<b>4</b>
▪ <b>LE LNE, PILIER DE L'EXPERTISE EN MÉTROLOGIE</b>	<b>6</b>
▪ <b>QUELLE MÉTROLOGIE POUR L'USINE DU FUTUR ?</b>	<b>8</b>
▪ <b>LA MÉTROLOGIE : UNE CLÉ POUR GAGNER ET TRANSMETTRE LA CONFIANCE</b>	<b>10</b>
<b>MÉTROLOGIE ET USINE SE CONJUGENT AU FUTUR</b>	<b>12</b>
▪ <b>LES CAPTEURS SONT LES YEUX DE L'USINE DU FUTUR</b>	<b>12</b>
▪ <b>QUI DÉCIDERA QUOI DANS UNE USINE DU FUTUR ?</b>	<b>14</b>
▪ <b>L'USINE DU FUTUR PEUT-ELLE RAPPROCHER LES CITOYENS DE LEUR INDUSTRIE ?</b>	<b>16</b>
▪ <b>WH MONITORING : DES CAPTEURS TRIDIMENSIONNELS POUR ANALYSER LES VIBRATIONS</b>	<b>17</b>

# INTRODUCTION

La métrologie permet de garantir la qualité des mesures dans l'industrie. La responsabilité des entreprises qui fabriquent ces appareils est donc immense vis-à-vis des utilisateurs, présents dans tous les secteurs de l'industrie. L'avènement de l'usine du futur bouleversant les usages, les technologies de mesure deviennent ou vont devenir une clé de valorisation importante pour beaucoup d'entreprises.

Les activités de mesure, d'étalonnage, et tout ce qui englobe la métrologie ont une incidence qu'on soupçonne mal : elles permettent de créer, pour les utilisateurs mais aussi pour les clients finaux, la confiance. Cette confiance est vitale, surtout dans des procédés de fabrication complexes faisant intervenir plusieurs mesures. Sans cela, c'est toute la chaîne de fabrication qui se trouve fragilisée, au minimum.

C'est pour cela que le domaine de la métrologie est extrêmement réglementé, et que des institutions comme le laboratoire national d'essais et de mesure (LNE) ou le collège français de métrologie (CFM), interrogés dans ce dossier, ont un rôle capital.

La métrologie est un domaine transversal à toute l'industrie. Les nouvelles technologies permettant une captation quasi complète des datas émises, leur analyse et leur exploitation, donnent à la mesure une dimension nouvelle. L'usine du futur, sujet à la mode mais véritable défi pour toutes les entreprises industrielles, permet d'incarner l'écosystème qui accueillera cette nouvelle métrologie.

Pour quelles finalités ? D'abord une amélioration de la performance industrielle, dans son ensemble : contrôle qualité, contrôle de la chaîne de production, de fabrication... Les conséquences pour l'ensemble de l'activité sont potentiellement gigantesques.

Une fois que l'on a dit cela, il faut se projeter sur les infrastructures à mettre en place pour rendre effectif ces nouveaux usages. C'est bien le problème avec tout ce qui concerne l'usine du futur : le passage du théorique au réel.

Dans l'usine du futur, toutes les technologies doivent être implémentées ensemble de manière cohérente pour prendre sens. C'est à cette condition que la « nouvelle » métrologie prendra tout son sens, pour alimenter une nouvelle vision de la performance industrielle.

# INNOVATION ET MÉTROLOGIE POUR L'INDUSTRIE

## LE NUMÉRIQUE RÉVOLUTIONNE LE DOMAINE DE L'ÉTALONNAGE

*L'avènement de l'usine du futur et des technologies qu'on y associe, comme la digitalisation des procédés, concerne bien évidemment la métrologie et la mesure, et en particulier l'étalonnage.*

L'activité d'étalonnage, fondamentale pour créer la confiance autour des procédés de fabrication, est bouleversée par les ruptures technologiques en cours : numérisation, automatisation, internet des objets, intelligence artificielle...

Dans ce contexte, la digitalisation des mesures et en particulier de l'étalonnage permet non seulement d'éviter de répéter les erreurs, mais ce n'est pas tout.

L'exploitation des données liée à la digitalisation permet aujourd'hui une amélioration en continu de la fonction d'étalonnage, et donc une amélioration substantielle de la qualité des produits et de la performance industrielle en général.

Gautier Triboulloy, Support Engineer pour la société Beamex, spécialisée dans l'étalonnage, explique pour Techniques de l'Ingénieur en quoi la digitalisation révolutionne l'activité d'étalonnage.

**Techniques de l'Ingénieur : Pouvez-vous nous présenter la société Beamex et son domaine d'intervention dans l'univers de la métrologie ?**

**Gautier Triboulloy :** Beamex est une société Finlandaise qui a été créée en 1975 par les instrumentistes Eero, Kristter, Veijo et Nils-Erik, qui étaient à l'époque frustrés par les calibrateurs de process existants. Depuis, notre raison d'être est d'offrir des manières d'étalonner toujours plus innovantes et efficaces dans le domaine de la métrologie industrielle.

**Pourquoi l'étalonnage est une activité fondamentale dans l'industrie d'aujourd'hui et de demain ?**

Les nouvelles réglementations appliquent une pression constante sur les opérations de fabrication afin de préserver un niveau élevé de sécurité de l'usine et de qualité du produit. Le rôle de la métrologie (et donc de l'étalonnage) est donc capital. La métrologie permet de gérer le risque d'obtenir des résultats de mesure incorrects, pouvant avoir un impact sur la qualité des produits ou sur la sécurité. Elle permet d'avoir confiance dans les résultats des mesures, ce qui est fondamental.

**En quoi le numérique révolutionne-t-il le domaine de l'étalonnage ?**

Historiquement, les vérifications périodiques des instruments de mesure sont réalisées sur le terrain en environnement industriel et les données d'étalonnage sont renseignées sur papier. Grâce aux nouvelles technologies et aux nouveaux outils, l'ensemble du process d'étalonnage peut désormais être digitalisé. Le papier disparaît complètement du processus, ce qui permet de gagner du temps et d'éliminer les erreurs de recopie. Mais le principal changement concerne l'exploitation des données d'étalonnage. Comme celles-ci se trouvent désormais au format numérique, elles deviennent facilement accessibles pour la consultation et l'exploitation.

**Comment se projeter sur l'usage dans le futur des capteurs ?**

Les capteurs vont jouer un rôle capital désormais. Ils constitueront l'interface entre le monde numérique et le monde réel. Dans le futur, les capteurs seront utilisés bien au-delà des procédés de production eux-mêmes. Ils ont aussi un rôle à jouer dans les sous-procédés parallèles aussi bien ascendants que descendants comme la maintenance pré-

ventive.

**Pourquoi l'étalonnage est-il une clé fondamentale dans la conception des usines du futur ?**

Comme on l'a vu précédemment, les mesures réalisées tout au long d'un processus de fabrication vont être de plus en plus nombreuses afin d'avoir une meilleure connaissance de ce dernier. Or, il est nécessaire d'avoir confiance dans ses données, et cette confiance ne peut être obtenue que grâce à l'étalonnage.

**Propos recueillis par Pierre Thouverez**

27/08/2020

# LE LNE, PILIER DE L'EXPERTISE EN MÉTROLOGIE

*Le laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) constitue le socle pour de multiples applications liées aux activités de mesure : étalonnage, essais, certifications...*

Créé en 1901, comme laboratoire d'essais du CNAM, le LNE a été transformé en EPIC (établissement public à caractère industriel et commercial) en 1978 pour répondre aux problématiques de la protection et de la sécurité du consommateur face aux nouveaux produits arrivant sur le marché français.

En 2005, l'Etat a confié au LNE le pilotage de la métrologie française, afin de définir une stratégie nationale en métrologie et animer un réseau de 10 laboratoires au plus haut niveau scientifique en métrologie (dont des laboratoires au CEA, au CNAM et à l'Observatoire de Paris).

Maguelonne Chambon, directrice de la recherche scientifique et technologique du LNE, explique pour Techniques de l'Ingénieur le fonctionnement actuel du LNE.

**Techniques de l'Ingénieur : Pouvez-vous nous présenter l'activité du LNE et son spectre d'intervention au niveau français et européen ?**

Le LNE apporte aux entreprises, industriels, institutions et collectivités, les solutions techniques dont elles ont besoin pour répondre à leurs enjeux de performance, compétitivité, santé, sécurité et développement durable. Son expertise se décline en prestations de recherche, métrologie, essais et analyses, certification, formation, et assistance technique. Avec un effectif de plus de 800 collaborateurs, dont plus des deux tiers d'ingénieurs et techniciens, le Groupe LNE déploie son savoir-faire à l'international avec des filiales implantées en Amérique et en Asie. Il se positionne aujourd'hui entre autres sur les domaines émergents des [nanotechnologies](#), de la [fabrication additive](#) et

de [l'intelligence artificielle](#).

Au niveau européen, le LNE est membres des associations et réseaux majeurs comme [EURAMET](#) (association européenne des laboratoires nationaux de métrologie), [EUROLAB Aisbl](#) (association des laboratoires d'essais) et [WELCMEC](#) (association des organisations travaillant en métrologie légale).

**Pouvez-vous détailler les compétences et les interventions du LNE sur les contrôles qu'il effectue sur la validation de la conception, de la fabrication et de l'utilisation ?**

Le LNE est désigné par le ministère en charge de l'industrie pour délivrer les certificats d'examen de type des instruments de mesure mis sur le marché et réglementés par le décret français du 03 mai 2001. Il est également notifié pour la directive 2009/23/CE IPFNA (instrument de pesage à fonction non automatique). Donc le service de métrologie légale du LNE fait des examens sur des produits soumis à ces directives. Sinon, le LNE ne participe pas à la conception de produits, ni à la fabrication, ni à leur validation, c'est de la responsabilité du fabricant, et lui seul. De plus, pour des raisons de propriétés industrielles, les entreprises ne font pas participer le LNE à ces différentes étapes.

**Quelle est la relation du LNE avec les industriels du secteur de la mesure ?**

Que ce soit en tant qu'entreprise commerciale ou comme organisme de recherche, le LNE noue de liens très forts avec le monde industriel. Sur la partie recherche, nous participons à des Pôles de compétitivité, réseaux thématiques, IRT (instituts de recherche technologique, sur le véhicule autonome par exemple), UMT (unité mixte technologique, sur le domaine du contact alimentaire par exemple) pour mieux connaître et appréhender les besoins en mesures et

essais des industriels. Nous développons de la recherche partenariale, comme dans le cadre de l'AFH par exemple (*Additive Factory Hub*), pour la fabrication additive. Nous organisons également des « challenges » avec différents partenaires (privés, publics) sur l'évaluation de systèmes d'intelligence artificielle. En 2017, le LNE a créé l'Institut LNE-nanotech pour répondre aux problématiques aussi bien de R&D que de prestations sur les nano-objets. Pour la partie commerciale, le LNE effectue des prestations, pour la majeure partie à haute valeur ajoutée : prestations d'étalonnage, d'essais, d'audits, d'expertises, de formation et d'accompagnement des entreprises sur les sujets d'infrastructure qualité (métrologie dans l'entreprise, système de management de la qualité...).

### **Pourriez-vous nous donner des exemples d'interventions du LNE au sein de l'industrie sur l'aide à l'innovation ?**

Le souci du LNE est qu'il fait souvent des prestations « à la demande » sur des sujets les plus divers comme sur le contact alimentaire (étude de migration chimique entre le contenant et le contenu), la dose d'absorption spécifique (DAS) en électricité haute fréquence (pour veiller aux limites imposées par l'UE sur les objets connectés) ou la fabrication additive (pour voir comment répondre aux besoins de mesure en ligne).

Par exemple, dans le secteur de la mesure de la qualité de l'air, en 2019, le LNE a accompagné une start-up développant des micro-capteurs connectés, apprenants et auto-calibrés via des algorithmes d'intelligence artificielle. Le but est d'accélérer la lutte contre la pollution de l'air. En l'absence de certification, cette start-up a demandé au LNE d'évaluer leurs performances métrologiques. Dans le cadre d'un contrat de recherche partenariale, le LNE a évalué les performances métrologiques des capteurs, en ce qui concerne les particules fines, le dioxyde d'azote, le dioxyde de carbone et l'ozone. Les résultats de cette évaluation ont permis à l'entreprise de faire un état des performances de sa solution. Alors que le marché des petites stations de qualité de l'air est en pleine croissance, ces résultats obtenus par le LNE constituent un atout concurrentiel indé-

niable et pourront être mis à profit dans le cadre de futures améliorations de la solution de la start-up.

Autre exemple, dans le domaine du médical : le LNE appuie de nombreux fabricants dans leur démarche d'innovation, en accompagnant leur analyse de risques et en développant des essais sur mesure. L'enjeu est de soutenir le développement de dispositifs inédits. On peut citer en exemple l'évaluation d'un exosquelette externe pour les paraplégiques, particulièrement innovant en raison de son autonomie et de son autostabilisation. En complément des essais conventionnels de sécurité électrique et de compatibilité électromagnétique, les essais mécaniques ont constitué un vrai challenge : pour estimer la durabilité du dispositif, il a fallu imaginer des protocoles répétables de vieillissement accéléré et concevoir des bancs d'essais associés pour simuler des contraintes d'utilisation proches des situations de terrain.

### **Plus généralement, par quels biais le LNE accompagne-t-il les industriels du secteur ?**

Le LNE met au service des industriels tout son savoir-faire pour accompagner au mieux l'innovation. De la recherche partenariale aux essais (évaluation des performances des produits à tous les stades de leur cycle de vie...), en passant par la formation (e-learning, webinars, journées techniques...), l'assistance technique (aide à la conception, audit et diagnostic, solutions sur mesure) ou l'information (publications scientifiques, recommandations dans le cadre de travaux de normalisation, guides techniques), les différents métiers du LNE permettent d'accompagner les entreprises dans leurs stratégies d'innovation et de croissance.

### **Propos recueillis par Pierre Thouverez**

26/08/2020



# QUELLE MÉTROLOGIE POUR L'USINE DU FUTUR ?

*Nuno Dos Reis est le directeur général de Deltamu depuis 2010. L'entreprise croit plus que tout à l'avènement de la « smart metrology ».*

Aujourd'hui, la métrologie est avant tout affaire de normes. **Deltamu**, une entreprise du secteur de la métrologie créée en 1998, veut faire évoluer ce mantra. De la métrologie des normes, elle veut passer à la métrologie des usages. Nuno Dos Reis nous explique les origines et les ressorts actuels de cette transformation.

## Techniques de l'Ingénieur :

**Nuno Dos Reis** : Deltamu est né d'un constat fait tout au long d'une première expérience de 10 ans de son fondateur, Jean-Michel Pou, dans un laboratoire d'étalonnage. On était alors au tout début des certifications **ISO 9001**. A cette époque (1990), les clients sollicitaient le laboratoire pour savoir si leurs instruments étaient « conformes », sujet toujours au cœur de l'activité des prestataires d'**étalonnage**. Or, cette conformité n'a de sens que si les clients sont en mesure d'exprimer leurs propres besoins ce qui était (très) rarement le cas. A la grande surprise de notre fondateur, ils se contentaient donc de faire confiance aux normes existantes sur les instruments alors que lesdites normes ne prétendent en aucun cas répondre à toutes les situations industrielles. De plus, la norme ISO 9001 impose des vérifications métrologiques périodiques et là encore, sans trop se poser de questions, les industriels suivaient les « préconisations » le plus souvent implicites du laboratoire. Jean-Michel Pou a alors créé Deltamu en 1998, pour accompagner les industriels vers une approche plus technique : définir la conformité à partir du vrai besoin de chacun et définir des périodicités adaptées à chaque situation. Ainsi est né Optimu, le **logiciel** développé depuis plus de 20 ans par la société. Il s'agit de pouvoir calculer des périodicités et des incertitudes de mesure dans le cadre d'une gestion optimisée d'un parc d'instruments de mesure.

Comme ces démarches étaient innovantes, il était important

de les faire reconnaître par la communauté et Deltamu s'inscrit donc depuis sa création dans toutes les actions qui permettent de faire évoluer le métier. Nous sommes notamment présents dans les comités de normalisation de l'AFNOR et à l'origine de nombreuses normes et documents techniques : FD X 07-014 (Optimisation des périodicités), FD X 07-041 (Comparaisons inter-instruments), modélisation des résultats d'étalonnage (Guide CFM)...

## Comment définiriez vous la smart metrology ?

Notre Smart Metrology, est très différente de la métrologie « traditionnelle ». Dans cette dernière, un accord tacite entre auditeurs et audités a fini par faire admettre comme « conforme » une métrologie qui se contente de déclarer la conformité d'un instrument de mesure à une norme, sans tenir compte, le plus souvent, de son contexte d'utilisation et de le faire à des dates arbitraires. A l'inverse, Deltamu recherche l'efficience, c'est-à-dire à gérer le parc d'instruments « au juste nécessaire ». Il s'agit de s'intéresser aux incertitudes de mesure qui permettent de savoir si l'instrument est important ou non dans la qualité d'une mesure et de définir des stratégies qui permettent d'étalonner « si nécessaire ». En choisissant une date, arbitraire ou calculée suivant une méthode d'optimisation, pour la confirmation métrologique de l'instrument, les industriels ne sont pas protégés contre les accidents qui peuvent survenir à tout instant et impacter la capacité de l'instrument à produire des mesures de la qualité nécessaire. Dans la Smart Metrology, nous cherchons à maîtriser le quotidien de l'instrument, notamment en mettant en œuvre des méthodes de surveillance qui permettent d'entrer dans le monde des « périodicités conditionnelles ». Dans ce monde, les industriels n'étalonnent qu'en cas de doute, et nous nous donnons les moyens de douter. Pour simplifier, dans la Smart Metrology, on ne subit pas une forme de diktat culturel imposé depuis 20 ans. On se pose les bonnes questions et on adapte les pratiques aux risques liés aux mesures



### **Comment la smart metrology s'implémente dans l'industrie/usine du futur ?**

Il est indéniable que les industriels ont contourné depuis longtemps la question de la qualité des mesures. Alors même qu'aucune mesure ne peut être juste, rares sont les industriels qui prennent en compte les incertitudes de mesure dans leur quotidien. Tout se passe comme si elles n'existaient pas. Force est de constater en effet que les productions donnent satisfaction. Cette question de l'inutilité apparente des incertitudes de mesure est au cœur de nos réflexions et nous avons fini par comprendre que pour s'en sortir, les industriels avaient empiriquement trouvé une solution : la sur-exigence. En demandant plus que nécessaire, on peut oublier les incertitudes de mesure, mais à quel prix ? Trop exigeant, c'est trop de matières premières, trop d'énergie, donc trop de coûts et trop d'impacts négatifs sur l'environnement. Dans l'industrie du futur, les pratiques vont évoluer grâce aux technologies numériques. Avec des puissances d'acquisition d'informations, de calculs et de stockage toujours plus importantes, le traitement des données évolue, passant de l'inférence statistique (s'appuyant sur des plans d'expérience) à l'intelligence artificielle (s'appuyant, quant à elle, sur le Big Data). C'est un véritable bouleversement dans la façon de voir les choses car nous passons d'un monde d'opinions (opinion driven) à un monde des faits (fact driven). Dès lors, l'IA va permettre de sortir de la sur-exigence pour aller vers le « juste nécessaire », donc vers des gains de productivité et des impacts écologiques moins négatifs, une médaille à deux faces en quelque sorte.

Mais ce nouveau monde impose des mesures d'une qualité meilleure que celle dont nous avons pu nous contenter jusque-là. Cette question de l'amélioration de la qualité des mesures est un enjeu majeur pour Deltamu qui a lancé cette année le concept de B.M.R (Bayesian Measurement Refinement). Il s'agit d'exploiter l'incertitude de mesure, non pas pour resserrer les exigences mais pour améliorer la qualité de l'information. Avec le B.M.R, on utilise chaque mesure comme une information mais pas comme l'unique information. On peut en effet tenir compte, en plus, de la connaissance a priori du mesurande et de l'incertitude de mesure pour enrichir l'information initiale. Si les données, donc les mesures, sont le pétrole du XXIème siècle comme

le pensent certains, il ne viendrait à l'idée de personne de le mettre directement dans le réservoir de sa voiture ! Il nous faut tout d'abord le raffiner et c'est exactement ce que nous proposons avec le B.M.R qui se présente comme le point d'orgue de la Smart Metrology ...

### **Quelles sont les technologies innovantes qui vont accompagner le développement d'une nouvelle métrologie dans le futur (big data, domotique, 5G...)**

La technologie des objets connectés fera évoluer les instruments de mesure. Certains imaginent qu'une connexion sans fil est une forme d'aboutissement mais nous pouvons, et devons, aller beaucoup plus loin. Le B.M.R exige de nombreux calculs, parfois fastidieux mais les machines peuvent les faire sans problème. Nous travaillons depuis plusieurs années sur un projet collaboratif (S.T.A.M : Services and Tools for Advanced Metrology) soutenu par le FEDER. Il s'agit de développer toute la stratégie permettant d'automatiser les calculs du B.M.R, quelle que soit le type de mesure, grâce à la technologie de l'IoT. Mais il est encore un peu trop tôt pour dévoiler l'intégralité de ce projet et nous avons pris un peu de retard du fait du confinement.

### **Est-ce que le rôle de la métrologie dans l'industrie va évoluer dans les années à venir ?**

L'IA est amenée à changer profondément les choses dans l'industrie, de la conception jusqu'à la certification de produits. Mais cette IA a besoin de données fiables pour donner le meilleur d'elle-même. A l'avenir, nous ne pourrons plus nous contenter de l'information donnée par l'instrument de mesure. Une mesure sera toujours sujette à de nombreuses causes de perturbation (le milieu, les opérateurs, l'instrument, le mesurande lui-même, ...) et le post-traitement que nous développons (B.M.R) finira par s'imposer, il est indispensable. Le métrologue devra donc acquérir les compétences pour le comprendre et le mettre en œuvre, notamment via des instruments connectés qui pourront y accéder. On est alors très loin des étiquettes vertes et des périodicités calendaires de la métrologie « ISO 9001 » et ces pratiques finiront par céder le pas à la Smart Metrology, nous en sommes convaincus.

25/08/2020

# LA MÉTROLOGIE : UNE CLÉ POUR GAGNER ET TRANSMETTRE LA CONFIANCE

*Le Collège Français de Métrologie (CFM) est une organisation française privée fondée en 2002 par le LNE, le CETIAT et le groupe PSA qui a la responsabilité de la diffusion des bonnes pratiques en métrologie, en particulier dans l'industrie et dans d'autres domaines particuliers.*

Pour cela, le CFM organise des Journées Techniques, édite des publications dédiées sur des thèmes d'intérêt en métrologie, avec des contributeurs, experts en métrologie de différents domaines (industriels, fabricants de systèmes de mesure, prestataires, laboratoires de recherche...).

De plus, le CFM organise le Congrès International de Métrologie regroupant les experts et utilisateurs mondiaux du domaine. Enfin, le CFM vient de lancer un label (**Trust MEtrology**) visant à attester des bonnes pratiques métrologiques de l'entreprise ou la structure qui en fait la demande.

Jérôme Lopez, directeur technique du CFM, a répondu aux questions des Techniques de l'Ingénieur quant à l'importance de la mesure dans l'industrie, à la fois pour les entreprises et pour les clients.

**Techniques de l'Ingénieur : Quelle est la place de la métrologie aujourd'hui dans la performance d'une entreprise industrielle ?**

**Jérôme Lopez :** Toute entreprise industrielle fabriquant des produits matériels le fait selon des spécifications de performances. Par exemple, un sous-traitant mécanique doit usiner des pièces selon des plans, en respectant des côtes, des tolérances, des états matières, des états de surface... Un sous-traitant électronique doit développer des **cartes électroniques** à partir de composants pour réaliser

des fonctions de **traitement de signaux**, de données, avec des tensions d'alimentation, des fréquences, des débits de données, des capacités de traitements, qui toutes doivent être spécifiées. Un intégrateur doit assembler différents sous-systèmes afin de réaliser des fonctions globales dans un contexte opérationnel et dans des contraintes environnementales particulières. Chaque entreprise est donc un maillon d'une chaîne, la chaîne de valeur, qui selon une approche processus opère une transformation à partir d'éléments d'entrée (matière première, composants...) pour produire un produit. Pour cela, l'entreprise doit mettre en place en particulier un **processus de fabrication** visant à réaliser cette opération et d'autres processus pour les fonctions supports. Parmi ces processus, il en est un qui est la clé de voûte de la qualité des produits : le processus de mesure. En effet, le responsable métrologie ou la personne qui endosse ce rôle - responsable qualité parfois dans certaines PME ou responsable ingénierie - doit s'assurer que le processus de mesure permette de mesurer efficacement la qualité des produits avec un parc d'instruments adaptés et à tout moment opérationnel lorsque c'est nécessaire. Le processus de mesure peut intervenir aussi à toutes les étapes du processus de fabrication, depuis la réception des composants ou pièces (contrôles d'entrée), en passant par les contrôles en cours de process jusqu'aux contrôles finaux.

**Quels vont être les éléments clés du processus de mesure ?**

De manière non exhaustive, on peut en identifier 4 principaux. D'abord, la définition d'un responsable du processus. C'est la première étape indispensable. On doit s'assurer que la personne a la compétence requise et peut assurer

un « contre-poids » efficace par rapport à une production qui a ses propres objectifs de fabrication.

Ensuite, il est fondamental de valider le fait que chaque instrument de mesure est adapté à la mesure qu'on veut effectuer. Il s'agit par exemple de répondre à la question « Quelle erreur de mesure suis-je prêt à accepter pour réaliser une mesure donnée ? ». On verra ici intervenir la notion de capabilité, c'est-à-dire le rapport entre l'erreur acceptable et l'incertitude de mesure réelle.

Troisièmement, le raccordement métrologique : pour les instruments dits critiques, c'est-à-dire ayant un impact direct sur la qualité finale du produit, il faut s'assurer que les instruments de mesure sont étalonnés (ou vérifiés) de manière régulière afin de garantir que leurs performances sont conformes aux attentes (confirmation métrologique).

Enfin, la gestion du parc d'instruments : une gestion adaptée aux besoins, qui doit permettre d'assurer le suivi de tous les instruments de mesure tout au long de leur vie, depuis la mise en service jusqu'à la mise au rebut. Les fiches de vie sont des outils adaptés. Elles permettent notamment de suivre les différentes étapes de maintenance, réparation, étalonnage...

**La mesure tient donc une place importante au niveau d'une entreprise industrielle en externe (pour les clients), mais aussi en interne ?**

Le processus de mesure porte la responsabilité de définir la conformité - ou non-conformité - des produits fabriqués. Il permet donc de mieux contrôler la qualité des produits et du processus de fabrication. Il est donc in fine un outil donnant de la confiance dans le processus de fabrication et dans les produits fabriqués. Cette confiance peut effectivement se diffuser en interne à l'entreprise et en externe vers les clients et les sous-traitants.

Au-delà, le rôle de la métrologie est de proposer des méthodes permettant de définir un processus de mesure efficace et adapté aux besoins. Elle est donc le référentiel, le cadre dans lequel le processus de mesure peut s'établir.

**La métrologie est très transversale. Quelles sont les**

**normes mises en place pour entourer l'usage de la mesure dans l'industrie ?**

Au niveau normatif, pour l'ensemble des entreprises, on retrouve la mesure dans l'ISO 9001 : 2015, avec des paragraphes dédiés au processus de mesure (par exemple §7.1.5 – Ressources pour la surveillance et la mesure). Dans certains domaines, on la retrouve dans les normes spécifiques (IATF 16949 dans l'automobile, ISO 15189 pour les laboratoires médicaux). Enfin, une norme dédiée à la métrologie est applicable aux laboratoires d'étalonnage et d'essai ; il s'agit de l'ISO 17025 : 2017. Ces normes sont complétées par des fascicules de documentation (par exemple FDX 07-014 pour l'optimisation des intervalles de confirmation métrologique). Tous ces textes s'appuient sur deux textes fondateurs : le VIM (Vocabulaire International de Métrologie) et le GUM (Guide pour l'estimation des incertitudes de mesure), tous deux produits par le JCGM, un comité regroupant plusieurs instances internationales spécialisées, dont le BIPM, le Bureau International des Poids et Mesure, qui porte la responsabilité de la définition et de la diffusion des étalons internationaux.

**Propos recueillis par Pierre Thouverez**

26/08/2020

## MÉTROLOGIE ET USINE SE CONJUGUENT AU FUTUR

# LES CAPTEURS SONT LES YEUX DE L'USINE DU FUTUR

*Enovasense, procédé de mesure de l'épaisseur des revêtements industriels, a permis à la startup éponyme de remporter le prix « Procédés & Matériaux du futur » lors du Challenge Industrie du futur Atos SKF 2017, en plus du prix Coup de cœur, décerné suite au vote des auteurs et utilisateurs de Techniques de l'Ingénieur.*

Jean INARD-CHARVIN et Geoffrey BRUNO, deux jeunes ingénieurs diplômés notamment de l'Institut d'Optique ParisTech sont à l'origine de cette innovation. Ils ont su transformer une idée en solution industrielle pour l'usine 4.0, capable de séduire le leader mondial de fourniture de technologies de roulements pour équipements tournants.

Retour sur leur parcours avec Geoffrey BRUNO, directeur général d'Enovasense, Ingénieur de l'Institut d'Optique ParisTech

**Votre procédé de contrôle a séduit SKF. Dès lors que vous avez été sélectionné comme finaliste du concours, vous avez travaillé avec un mentor, collaborateur de SKF France. La participation a nécessité un réel investissement tant pour vous que pour SKF, quel retour d'expérience pouvez-vous en faire ?**

Le travail avec notre mentor a été très productif : dès les premières discussions, nous avons identifié avec lui des dizaines d'applications potentielles de la technologie dans le groupe SKF. Une des difficultés a même été de choisir la plus importante et la plus porteuse pour commencer à travailler pour le Challenge. Par la suite, notre mentor a réuni les échantillons nécessaires à la réalisation d'une première étude de faisabilité. Une fois les premiers résultats obtenus, il a organisé une visite de la ligne avec les responsables du sujet où nous avons commencé à imaginer les possibilités d'implantation de la technologie. Le challenge a donc permis de créer le contact et d'allouer du temps de notre

mentor au sujet, qui sont deux éléments cruciaux dans le démarrage de ce type de projets. Par ailleurs, la perspective de la date de la finale a permis d'accélérer encore plus cette étape de notre côté, comme du côté de SKF.

**Un an après, quelles relations avez-vous gardées avec SKF et en quoi cette participation au challenge a-t-elle changé le cours du développement de votre start-up ?**

À la suite du Challenge et de la communication qui en a été faite, nous avons reçu plusieurs sollicitations en interne chez SKF de différentes usines sur d'autres sujets que celui développé pour le concours dont un qui a bien avancé et pour lequel une usine est équipée actuellement d'un capteur de test. Sur le sujet même du concours, SKF nous a commandé une étude plus avancée, que nous sommes en train de finaliser actuellement. Indépendamment de ces nouvelles perspectives, nous avons intégré à notre communication cette reconnaissance d'un grand industriel comme SKF, ce qui a apporté de la crédibilité pour obtenir d'autres références.

**Votre technologie brevetée de mesure par laser permet aux industriels de gagner du temps et des matières premières en créant le revêtement optimal pour leur produit. Nous sommes ici au cœur du manufacturing et des usines. Comment percevez-vous cette usine dite « du futur » à laquelle vous offrez de nouvelles perspectives ?**

Avec les robots qui sont les bras de l'usine, les algorithmes avancés qui en sont le cerveau, les capteurs doivent être considérés comme les yeux de cette usine du futur, nécessaires pour qu'elle puisse fonctionner pleinement. D'un point de vue général, il est très excitant de voir le niveau des technologies qui sont maintenant accessibles pour l'industrie et la production. Il ne faut cependant pas que ces nouvelles perspectives ne restent justement que des

perspectives théoriques qui n'existent que dans les salons et les articles. Nous constatons que les industriels qui ont le courage de vraiment accélérer le déploiement effectif de ces technologies de production prennent des parts de marché considérables dans la compétition internationale.

**A moins de trente ans, vous avez déjà porté votre pierre à l'édifice de l'industrie 4.0. Votre parcours est assez exemplaire : prise de risque, innovation puis reconnaissance par des industriels « historiques ». Quels sont vos prochains défis ?**

En très peu de temps, notre produit a été choisi et installé par des grands industriels, leaders mondiaux dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique, du verre, etc. Nous venons de déposer un brevet révolutionnaire avec Renault pour mesurer des revêtements au cœur des moteurs automobiles. Nos prochains défis sont de déployer ces premiers succès au sein de ces groupes, de développer de nouveaux marchés pour notre technologie et de l'enrichir et la faire évoluer pour lui permettre de toucher toujours plus d'applications.

# QUI DÉCIDERA QUOI DANS UNE USINE DU FUTUR ?

*Qui prendra en charge la prise de décision dans les usines du futur ? La question fait l'objet de tous les fantasmes et il est de coutume de dire qu'in fine, l'homme restera le décideur ultime.*

La **prise de décision** dans une usine revêt des dimensions verticales (hiérarchiques) et horizontales (selon les activités réalisées dans l'usine).

Dans les faits, depuis plusieurs années déjà, on laisse des machines prendre des décisions en lieu et place des humains.

Ainsi, la **robotique** qui a remplacé la main-d'œuvre "humaine" sur les **chaînes de montage** se perfectionne inlassablement. Ces machines nécessitent plus de maintenance, mais accomplissent aussi de plus en plus de tâches de manière autonome. Elles ont absorbé la prise de décision sur des tâches pour lesquelles leur compétence est supérieure (rapidité de choix, d'exécution...) à celle des hommes.

Difficile d'imaginer une autre voie qu'une prise en main progressive et irréversible de l'ensemble des tâches dans l'usine pour lesquelles le "jugement" de la machine dépasse celui de l'homme. Cette assertion ne gêne personne tant qu'on parlait des choix standardisés sur une chaîne de montage, ou par exemple de maintenance prédictive, mais aujourd'hui la puissance de calcul permet à des ordinateurs de traiter rationnellement des quantités de données ahurissantes à des vitesses inaccessibles par l'homme.

Et du coup le rôle de la machine change : les capacités des ordinateurs rendent les robots intelligents et capables d'accomplir routinièrement des tâches extrêmement complexes. Voire des tâches que l'homme ne sait pas appréhender.

La machine devient intelligente. L'addition de la robotique,

de l'intelligence artificielle et du *deep learning*, ensemble ou séparément, fournit des outils qui permettent de maximiser dans tous les sens du terme le rendement des usines. L'essor des objets/capteurs connectés donne un coup d'accélérateur supplémentaire à ce processus.

## Un plafond de verre fragile

Pour le moment, le plafond de verre de cette évolution se situe au niveau des décisions stratégiques : celles pour lesquelles la substance des informations à mettre en cohérence pour aboutir à une décision n'est pas pondérable objectivement. Et pour cause, si ce n'était pas le cas, les chefs d'entreprises auraient un travail facile !

Mais là aussi, l'augmentation des capacités de calcul informatique risque de briser ce plafond de verre. Et plus vite qu'on ne le croit.

Aujourd'hui, plus rien ne permet de dire que l'agrégation d'informations disparates et complexes - voire subjectives - dans le but d'aboutir à la meilleure décision possible est hors de portée d'une machine.

Si l'homme arrive à prendre ces décisions, c'est qu'elles sont paramétrables. Et donc qu'on peut programmer un ordinateur pour les générer.

En fait, ce que révèle aujourd'hui notre incapacité à transférer cette capacité de décision à des machines réside en deux points :

D'abord, nous ne sommes pas prêts à le faire pour des raisons éthiques. Il est aujourd'hui inconcevable qu'une machine décrète un plan social dans une entreprise. Aussi, la peur - peur à l'origine de beaucoup d'œuvres de science-fiction - d'une intelligence artificielle qui échapperait au contrôle de l'homme aide à maintenir le plafond de verre évoqué plus haut.



Ensuite, le second point est plus lié au fait que certaines décisions stratégiques prises dans une usine font appel à un moment ou l'autre à des choix subjectifs (on pourrait dire "orientés"), c'est-à-dire non motivés par des arguments indiscutables, "numérisables" a priori.

Ce second point est très important parce qu'il révèle l'incapacité de l'homme à justifier certains choix de manière purement objective. D'où la construction verticale de la prise de décision, car il faut bien "trancher".

Mais ce que cela implique également, c'est que l'incapacité à rationaliser certaines décisions, parce que les données sont trop nombreuses, rend impossible le projet de paramétrer un ordinateur pour le faire, par définition.

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle associée au *deep learning* nous laissent à penser que si l'homme est incapable de rationaliser totalement tous les critères à prendre en compte dans une décision, l'ordinateur, lui, peut.

A ce titre, on voit mal pourquoi ces technologies ne supplanteraient pas également l'homme dans ces tâches décisionnaires, à terme.

D'ailleurs, les études se multiplient, expliquant que les chefs d'entreprise pourraient être parmi les premiers humains totalement remplacés par des machines. Ce n'est plus de la science-fiction.

26/02/2019

# L'USINE DU FUTUR PEUT-ELLE RAPPROCHER LES CITOYENS DE LEUR INDUSTRIE ?

*Les Français ont un rapport à l'industrie particulier, et plutôt négatif, même si cela évolue favorablement depuis quelques années. L'usine du futur constitue une possibilité unique de changer cette donne pour de bon.*

L'**industrie française** a perdu 1,4 million d'emplois en 25 ans. Le constat est traumatisant, et les explications nombreuses.

Au-delà du chiffre, c'est l'image de l'**outil industriel** français qui s'est dégradée chez tous nos concitoyens. Cependant, depuis quelques années, des sondages laissent penser que les Français se "réconcilient" avec leur industrie. Soit.

L'**usine du futur** présente pour l'Hexagone une réelle occasion de rapprocher les Français de leur industrie. Mais pas que.

**Les enjeux se situent essentiellement sur deux plans : l'emploi et le social**

Concernant l'emploi, l'occasion est belle pour l'industrie française de dépoussiérer une panoplie de métiers aujourd'hui peu attirants pour les jeunes. Les compétences recherchées pour travailler dans les smart factories vont être de plus en plus pointues. D'où la nécessité de se former tout au long de sa carrière.

Numérique, fabrication, informatique, robotique, CAO, intelligence artificielle... Les domaines de compétences indispensables à la mise en place des usines du futur sont populaires auprès des jeunes, valorisées intellectuellement et également au niveau salarial. A partir de là, il est facile de percevoir tous les bénéfices que l'industrie française pourrait tirer de ce virage technologique, en termes d'image des "emploi industriels".

Côté social, l'usine du futur pourrait avoir une influence très importante. En effet, les compétences requises pour travailler dans une smart factory sont importantes. On pourrait donc penser que ces métiers seront réservés à une élite d'ingé-

nieurs. Eh bien non. Pour deux raisons.

D'abord, En admettant que les usines du futur se généralisent dans les années à venir, les besoins métiers seront très importants. Difficile d'imaginer cet avènement sans une implication au niveau national sur les besoins de formation. Pour résumer, il faudra former beaucoup de futurs salariés, et cela sera impossible sans que l'Etat n'en soit en partie à l'initiative.

Ensuite, on sait que les technologies qui permettent d'imaginer l'usine du futur sont sans cesse en évolution. D'où le besoin de formation continue, tout au long de la carrière. Cette nécessité va bouleverser les carrières, et notamment donnera la possibilité à des candidats ayant une formation initiale éloignée des métiers de l'usine du futur d'y converger.

A condition de relever les défis de formation liés à l'usine du futur, la France pourrait réussir à recentrer l'industrie plus près du quotidien de ces concitoyens, via les emplois suscités et la formation continue, ce qui accentuerait la relation entre le salarié et l'usine.

Au-delà, l'aspect "social" de l'usine du futur, avec le concours de l'Etat, pourrait être majeur, comme on l'a dit. Même s'il est impossible aujourd'hui de se projeter sur les conséquences sociales de l'avènement de l'usine du futur, on peut imaginer deux scénarii très distincts : soit un fossé grandissant entre les salariés formés sur ces nouvelles technologies et les autres, soit un mouvement général de montée en compétences sur ces technologies.

La deuxième option paraît presque naïve dans son énoncé. Pourtant les besoins, eux seront là. Il semble bien que le chemin que nous prendrons dépend en grande partie de l'impulsion que l'Etat donnera pour former ses nouvelles générations, ou pour laisser l'industrie se charger seule de cette très - trop - lourde tâche.

26/02/2019

# WH MONITORING : DES CAPTEURS TRIDIMENSIONNELS POUR ANALYSER LES VIBRATIONS

*WH Monitoring competes for the ArianeGroup Award "The connected plant". The startup measures vibrations in three-dimensional space. This solution saves time and money to achieve better results.*

21/05/2019

Les fondateurs de la startup WH Monitoring ont constaté que l'analyse des vibrations était souvent très lente et imprécise. Une situation qui oblige les chercheurs à utiliser un grand nombre de capteurs pour limiter les erreurs, malgré le coût de cette solution et sa faible efficacité.

« Les ingénieurs réalisant des analyses de vibrations font face à de multiples problèmes. Parfois le capteur n'est pas installé correctement, parfois il est trop proche ou trop éloigné du nœud de vibrations, parfois les ondes interfèrent les unes avec les autres. Tout ceci fait de l'analyse un procédé compliqué », explique Edgar Grant, cofondateur de WH Monitoring.

L'innovation de leur solution réside dans leurs capteurs, capables de réaliser des mesures et des traitements de façon tridimensionnelle. Cette solution permet d'effectuer des analyses en temps réel. Un faible nombre de capteurs fournissent une quantité d'informations nécessaires pour la maintenance prédictive ou le contrôle qualité.

« L'endroit où sont placés les capteurs ou le nombre d'ondes qui interfèrent ne sont plus importants pour réaliser l'analyse », ajoute Edgar Grant.

Cette méthode réduit les erreurs d'analyse et permet d'éviter les coûts supplémentaires pour les entreprises.

Voir la vidéo : [https://www.youtube.com/watch?v=OwgSJvl\\_KX8](https://www.youtube.com/watch?v=OwgSJvl_KX8)

# GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre, leurs compléments et mises à jour,** et bénéficiez des **services inclus.**



RÉDIGÉE ET VALIDÉE  
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR  
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE  
SUR TOUS SUPPORTS  
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS  
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- Automatique - Robotique
- Biomédical - Pharma
- Construction et travaux publics
- Électronique - Photonique
- Énergies
- Environnement - Sécurité
- Génie industriel
- Ingénierie des transports
- Innovation
- Matériaux
- Mécanique
- Mesures - Analyses
- Procédés chimie - Bio - Agro
- Sciences fondamentales
- Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,  
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

# LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



### Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



### Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



### Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



### Questions aux experts\*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



### Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



### Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



### Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



### Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



### Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

\*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

## ILS NOUS FONT CONFIANCE



[www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr)

**CONTACT :** Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : [infos.clients@teching.com](mailto:infos.clients@teching.com)

## PRODUIT PACK



### Instrumentation et méthodes de mesure

Un guide essentiel pour comprendre les différents types de mesure et les instruments associés

Ref : TIP676WEB

## PRÉSENTATION

Les différents **éléments de la chaîne de mesure**: étalons, méthodes, banques de données,  
Les **techniques d'évaluation des incertitudes et des tolérances** pour obtenir des mesures les plus fiables possibles,  
Un **panorama complet des principes des capteurs et des détecteurs** dans les différents domaines de mesure, pour choisir le matériel adapté au type de mesure à réaliser,  
Les technologies applicables pour **les mesures en conditions extrêmes**: haute pression, haute température,  
Les **organisations françaises et internationales** de métrologie, d'étalonnage et d'accréditation.

## VOTRE COMMANDE :

Référence	Titre de l'ouvrage	Prix unitaire H.T	Qté	Prix total H.T
TIP676WEB	Instrumentation et méthodes de mesure	<b>675 €</b>	1	<b>675 €</b>
Total H.T en €				<b>675 €</b>
T.V.A : 5,5%				<b>37,13 €</b>
Total TTC en €				<b>712,13 €</b>

## VOS COORDONNÉES :

Civilité  M.  Mme

Prénom \_\_\_\_\_

Nom \_\_\_\_\_

Fonction \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_

Raison sociale \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

Pays \_\_\_\_\_

Date :

Signature et cachet obligatoire

## CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Conditions générales de vente détaillées sur simple demande ou sur [www.technique-ingenieur.fr](http://www.technique-ingenieur.fr)

Si vous n'êtes pas totalement satisfait, vous disposeriez d'un délai de 15 jours à compter de la réception de l'ouvrage pour le retourner à vos frais par voie postale. Livraison sous 30 jours maximum.