

CFM | XXX

# Les technologies clés de la métrologie du futur

En 2018, le Collège français de métrologie, sous l'impulsion de son président Cosimi Corleto, crée un groupe de travail réunissant des experts industriels et académiques spécialistes de la mesure industrielle, avec comme objectif d'identifier les technologies qui sont en train de révolutionner le métier de métrologue. Après une enquête réalisée auprès des adhérents du CFM, des sujets d'intérêt émergent et en 2019, le groupe de travail enrichi d'experts de ces nouvelles technologies crée un document de synthèse qui présente sept technologies clés et met en avant aussi le sujet important de la formation au métier de métrologue.

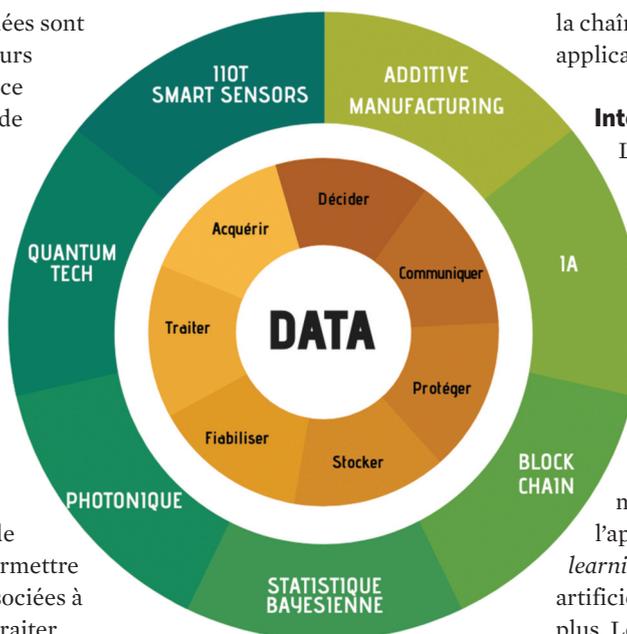
Les technologies identifiées sont les suivantes : les capteurs intelligents, l'intelligence artificielle, les moyens de caractérisations adaptés à la fabrication additive, la photonique, les statistiques bayésiennes, la blockchain et les technologies quantiques. Dans l'industrie aujourd'hui, les données sont devenues centrales et les données de mesure ne dérogent pas à cette règle. Les nouvelles technologies présentées par des experts de chaque domaine peuvent permettre d'améliorer les fonctions associées à ces données pour acquérir, traiter, fiabiliser, stocker, protéger, communiquer et *in fine* décider.

## Capteurs intelligents

Les capteurs intelligents dans le cadre de l'IIoT (*Industrial Internet of Things*) en plus de capter un signal et réaliser une mesure, traitent les données avec des capacités de calcul embarquées permises par les composants actuels (DSP, FPGA...) et une approche générale, le *edge computing*, visant à décentraliser les capacités de calcul au niveau des capteurs eux-mêmes. Ils transmettent ensuite les données avec des capacités accrues de communication (protocoles Lora,

Sigfox... et bientôt 5G). Parmi les verrous levés ou à lever pour le déploiement de ces technologies, on identifie notamment les limitations en termes d'autonomie pour les capteurs fonctionnant sur batterie (plusieurs années pour certains), les problématiques de sécurisation des données et aussi la question de l'étalonnage de ces capteurs lorsqu'ils sont embarqués dans les systèmes avec parfois un accès difficile voire impossible. Dans les exemples de mise en pratique de ces capteurs intelligents, on peut citer les capteurs connectés au service de

la chaîne du froid pour des applications dans l'agroalimentaire.



## Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle qui se déploie beaucoup dans les applications grand public, le marketing... a aussi voix au chapitre dans le domaine de la mesure et de la qualité industrielle. L'apprentissage machine (*machine learning*) supervisé est aujourd'hui la technologie de choix, mais les modes semi-supervisés et l'apprentissage dit profond (*deep learning*) à base de neurones artificiels se développent de plus en plus. Les applications rendues possibles sont l'automatisation des tâches d'inspection visuelle, avec par exemple la détection de défauts sur des pièces en sortie de production, la multiplication de points d'inspection intermédiaires, la mise en place de standards liés à l'inspection visuelle...

## Fabrication additive

La fabrication additive est souvent citée comme figure de proue des technologies de l'industrie du futur par la révolution qu'elle a apportée dans la fabrication des pièces mécaniques par rapport aux techniques d'usinage classique. Mais celle-ci ne peut se déployer

efficacement qu'en parallèle de moyens de caractérisations adaptés. C'est le cas en particulier de la tomographie par rayons X qui permet d'aller sonder les pièces fabriquées et de vérifier que les structures internes des pièces, souvent complexes en fabrication additive, sont conformes aux spécifications. La combinaison avec d'autres types de mesure comme les technologies optiques sans contact augmente les possibilités et enrichit la synergie entre les moyens de fabrication et les moyens de mesure.

### Photonique

La photonique regroupe l'ensemble des technologies utilisant la lumière, depuis l'émission jusqu'à sa captation, permettant par exemple les mesures sans contact, l'imagerie, des capteurs à haute sensibilité... Elle développe tout son potentiel lorsqu'elle est couplée à d'autres technologies : intégrée par exemple dans un capteur intelligent, utilisant l'intelligence artificielle pour analyser les données produites, les images... La lumière joue un rôle particulier dans la métrologie puisque la plupart des unités fondamentales sont aujourd'hui définies à partir d'elle : la seconde à partir de la radiation d'une transition électronique de l'atome de Césium, le mètre comme une distance parcourue par la lumière pendant une certaine durée et les autres (à part la mole) découlant de ces définitions et de constantes fondamentales.

### Statistique bayésienne

Peut-être est-il abusif de parler de technologie lorsque

l'on évoque une branche des mathématiques ? Mais lorsque celle-ci se trouve avoir un impact direct sur l'activité scientifique et industrielle, alors cela semble être légitime. C'est le cas de la statistique bayésienne qui s'inscrit dans la vision la plus moderne de la mesure où un résultat de mesure s'exprime selon une loi de probabilité (VIM) et qui définit la probabilité non plus comme la fréquence d'apparition d'un événement, mais comme l'état de connaissance de l'événement. Les applications pour l'évaluation des incertitudes de mesure, l'estimation des fonctions d'étalonnage, de la conformité sous incertitude... sont possibles, avec certes des difficultés de mise en œuvre, mais qui se trouvent facilitées par des logiciels spécifiques.

### Blockchain

Une autre technologie dont on entend beaucoup parler avec des applications plutôt dans la finance et plus largement l'économie (avec les cryptomonnaies), est la blockchain. On commence à la trouver aussi dans l'industrie par exemple dans

l'agroalimentaire pour sécuriser la traçabilité de certains aliments. Appliquée à la mesure industrielle, on peut imaginer des applications mettant en œuvre des contrats intelligents associés à des capteurs (par exemple IoT) permettant d'assurer la qualité des données, d'assurer la traçabilité, de sécuriser l'accès à ces données...

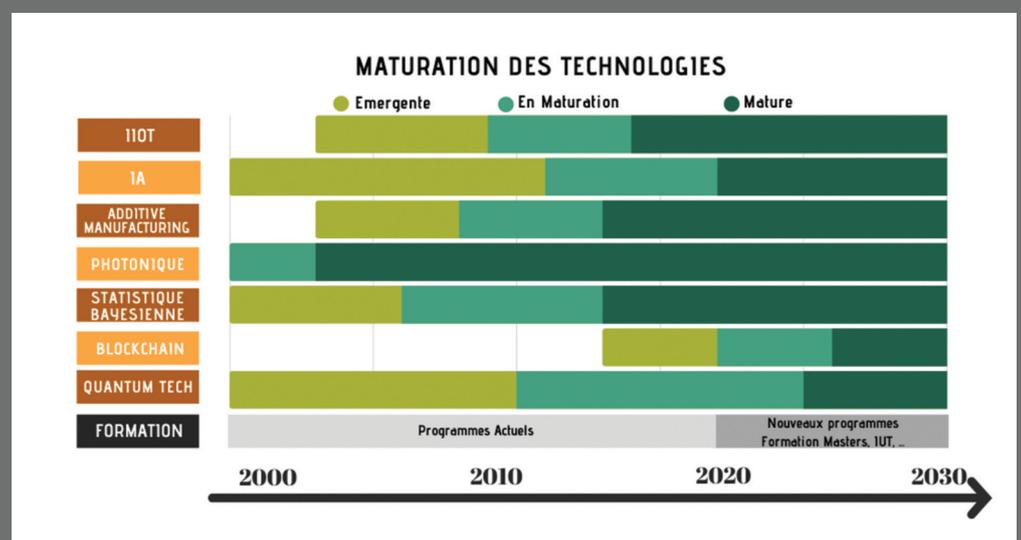
### Technologies quantiques

Enfin, on ne peut pas parler de l'avenir de la métrologie sans évoquer les technologies quantiques. La mécanique quantique et les technologies quantiques sont le support comme la lumière, de la définition de la plupart des unités fondamentales : voir par exemple la nouvelle définition du kilogramme en fonction de la constante de Planck, la définition de la seconde comme radiation entre deux niveaux électroniques (quantifiés donc), le mètre dont la définition n'aurait pas été possible sans le laser intrinsèquement quantique... Mais les technologies quantiques n'ont pas dit leur dernier mot : au-delà même

des applications dont tout le monde parle (ordinateur quantique, cryptographie quantique...), en métrologie on imagine déjà que les technologies quantiques permettront demain de disséminer des étalons primaires (électrique, masse) comme on le fait déjà avec la seconde (à travers les signaux GPS).

### Conclusion

La maturité de ces technologies clés est variable, mais pour certaines d'entre elles, elles ont commencé à pénétrer le marché de la mesure industrielle. D'autres sont aujourd'hui en émergence comme les technologies quantiques ou les statistiques bayésiennes. On représente les degrés de maturité des technologies dans le schéma qui suit.



Le développement rapide de ces technologies permet des applications nouvelles et directes, mais aussi des synergies entre celles-ci : un capteur IoT sur base photonique embarquant des algorithmes d'IA pour traiter les données et de blockchain pour les sécuriser est possible.

Enfin, ces technologies ne sont rien sans les personnes qui sont là pour en définir l'utilisation, les utiliser, analyser les résultats et à la fin prendre ou aider à prendre les décisions. Parmi eux, les métrologues sont et resteront les garants des bonnes pratiques pour réaliser les

mesures. Pour cela, ils doivent comprendre ces technologies implémentées dans les capteurs, avoir conscience de leurs limites et des possibilités qu'elles offrent. Les métrologues de demain devront donc être formés à des besoins qui évoluent et à un environnement

technologique en changement permanent. C'est donc un challenge à relever pour les organismes de formation initiale et continue ●

## Pour aller plus loin

### Mesure et Métrologie : quel futur ? Supplément à CEM 69



Les contributeurs du livret Creative Metrology sont : Cosimi Corleto (CFM, STIL), Éric Cartalas (JRI), Aymeric de Pontbriand, Hugues Poiget et Igor Rajzbaum (Scortex), François Hennebelle (Université de Bourgogne), Vincent Barbier (Cetim), François Houbre (Savimex), Marc Ricci (Pôle Optitec), Nicolas Fischer, Jean-Rémy Filtz et Félicien Schopfer (LNE), Axel Benoist et Markus Jostock (Arxum), Muriel Clerc (IUT Saint-Étienne), Antonio Mazzei (METRO-logiX), François Daubenfeld (PSA).