

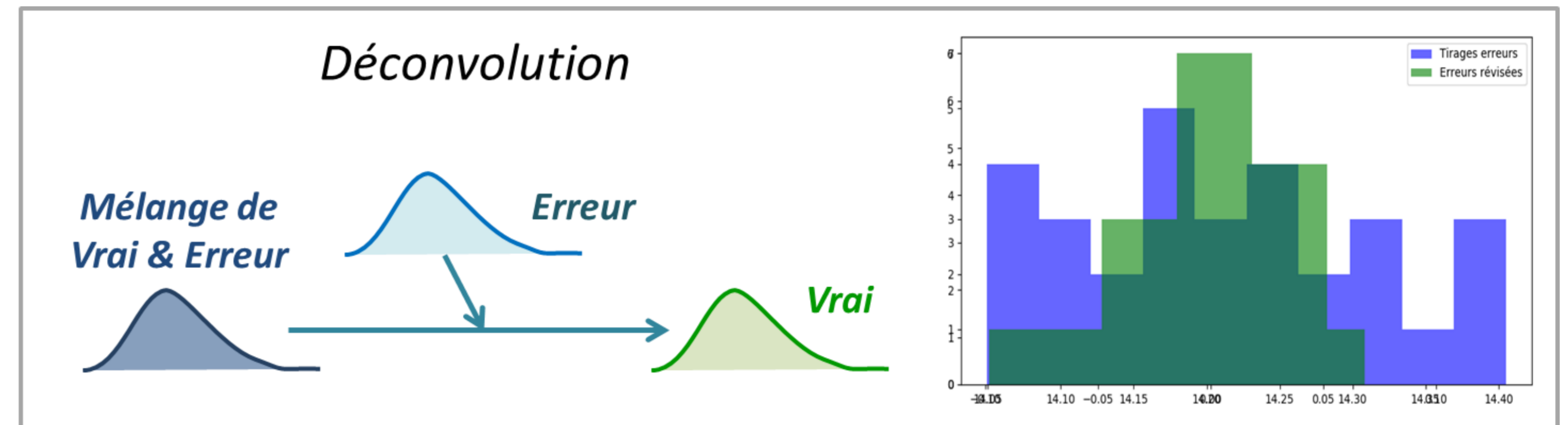
Objectifs

Motivation et enjeux

- L'industrie est amenée à répondre chaque jour à des exigences de plus en plus pointues sur la qualité de ses processus.
- Le 21e siècle est d'une part celui de l'Industrie 4.0 qui procède par l'intégration d'outils informatiques puissants et précis dans l'industrie.
- Le 21e siècle est d'autre part celui du Big Data qui profite aujourd'hui des nouvelles technologies permettant l'acquisition et le stockage peu coûteux de grands volumes de données.
- La métrologie n'a quant elle que très peu exploré ces nouvelles possibilités et aujourd'hui, face aux exigences croissantes de qualité l'erreur de mesure ne dépend toujours que de l'outil utilisé...

Enjeux

- Le projet Smart Tools for Advanced Metrology (STAM) souhaite développer et proposer un outil aux fondements statistiques et probabilistes qui répond au besoin d'affiner les mesures obtenues en métrologie.
- Pour une mesure donnée, l'outil tiendra compte du contexte dans lequel la mesure est réalisée, de la tendance des précédents résultats et d'avis experts pour proposer la valeur qui a été le plus vraisemblablement relevée.



Loi d'incertitude relative à un contexte

Il y a de l'erreur dans les mesures :

Une loi fondamentale de la Métrologie, est que la mesure est toujours entachée d'erreur. $Mesure = Valeur Vraie + Erreur$

L'erreur est composée d'un biais et d'une dispersion :

Une part des erreurs commises est constante et l'autre aléatoire. $Erreur = Biais + Dispersion$

Les causes de dispersions sont identifiées dans le contexte :

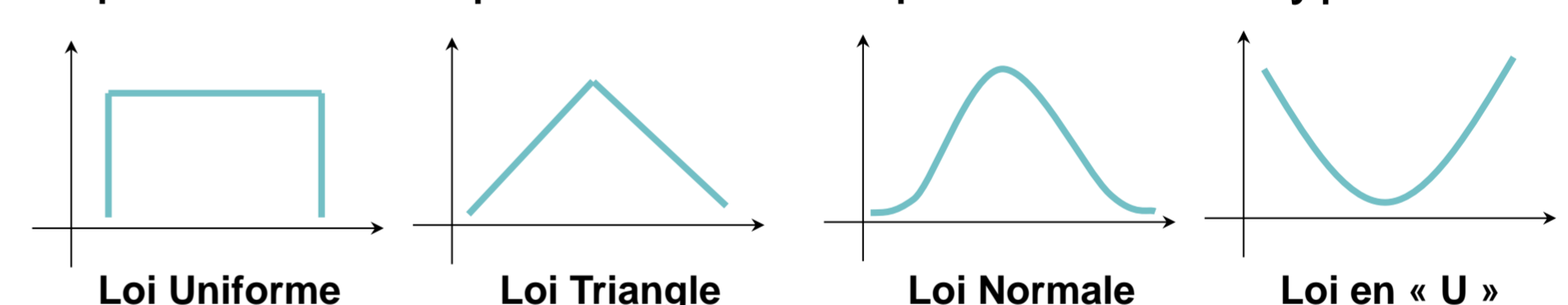
La dispersion est due à un ensemble de causes, et les causes sont lues dans le contexte singulier dans lequel la mesure a été réalisée. $Dispersion = E1 + E2 + \dots$

Quantification de la dispersion de chaque cause :

L'impact de chaque cause est défini par une expérience ou un expertise qui peut être théorique ou empirique. $\begin{cases} E1 = \dots \\ E2 = \dots \\ \dots \end{cases}$

Modélisation de la dispersion de chaque cause :

Quatre types de loi sont utilisées pour modéliser le comportement. La dispersion se transcrit de façon différente pour chaque loi de densité. Des coefficients permettent explicitement d'exprimer l'écart-type de chaque loi.



Génération d'une unique loi d'incertitude pour un contexte donné :

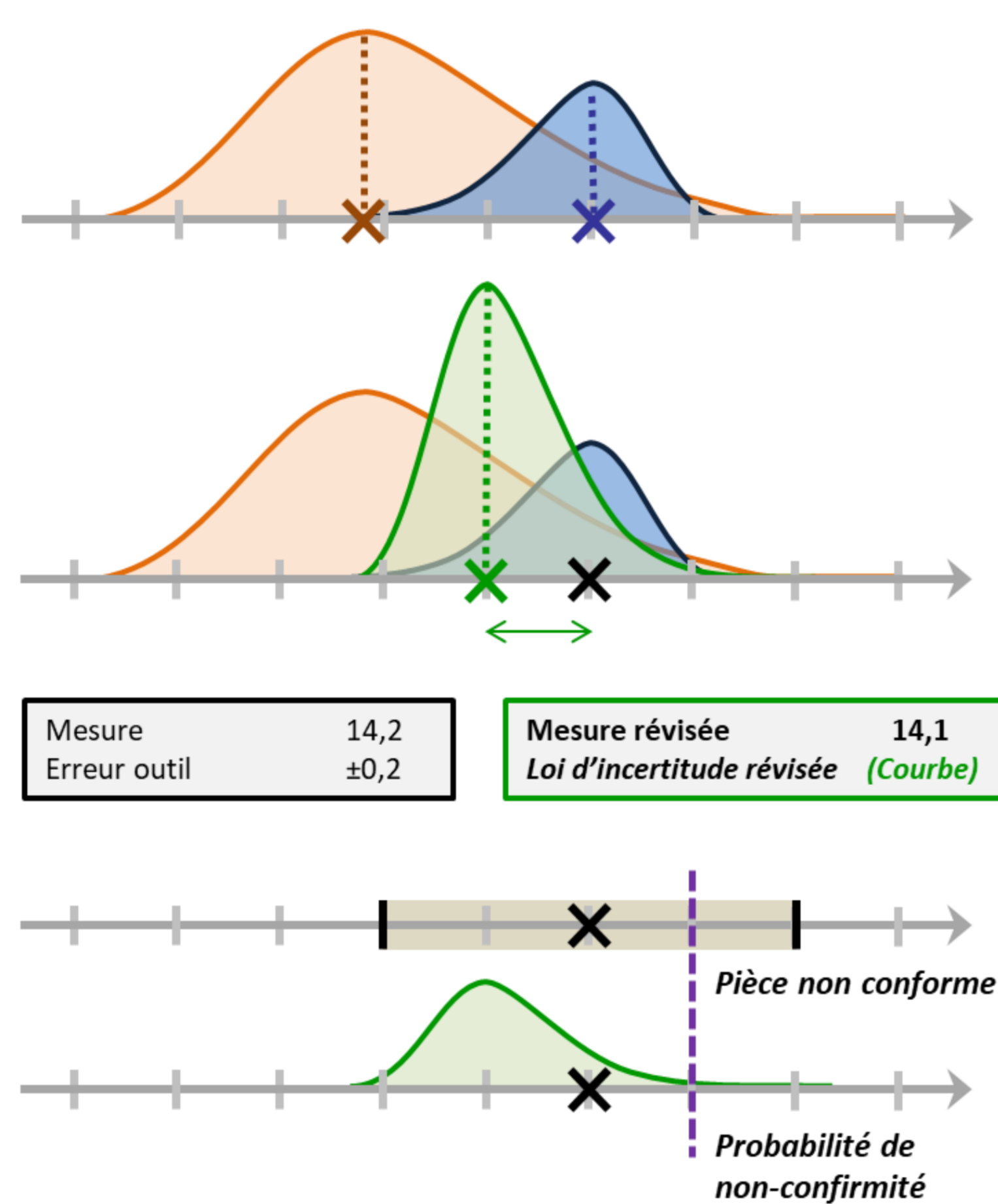
L'ensemble des causes est synthétisée dans une seule loi. Les outils qui sont utilisés dépendent quant à eux de la complexité des lois en jeu.

Complexité du modèle

Les résultats présentés graphiquement ici améliorent la qualité des mesures. Ils sont tirés d'une modélisation gaussienne « simple » : la complexification des modèles et le lissage par noyau permet d'autant plus d'en améliorer la qualité.

Valeur la plus probable

- ✗ Résultat de mesure
- ✗ Valeur vraie la plus probable selon l'a priori des valeurs vraies
- ✗ Valeur vraie la plus probable selon la plausibilité par rapport à l'a priori de l'erreur
- ✗ Loi d'incertitude révisée : Pour une valeur X (axe gris), produits des deux densités données par les courbes orange et bleu foncé.
- ✗ Mesure révisée : Valeur vraie la plus probable.
- ↔ Erreur révisée : Erreur la plus probable appelée (Mesure - Mesure révisée)
- Valeur maximale imposée hypothétique (ici 14,3).



Correction en temps réel

Statistique Bayésienne :

L'intégration des connaissances par inférence Bayésienne qui fait appel au théorème de Bayes permet de paramétrer une loi en fonction des lois prior et posterior. $P(A | B) = \frac{P(B | A) \times P(A)}{P(B)}$

Comparabilité des expériences :

Le processus de correction fait appel au savoir des expériences antérieures. Les valeurs de ces expériences sont améliorées par *Déconvolution*. La réutilisation ou non de données est définie selon la comparabilité des contextes (la comparabilité des contexte est l'objet d'une étude menée par d'autres acteurs).

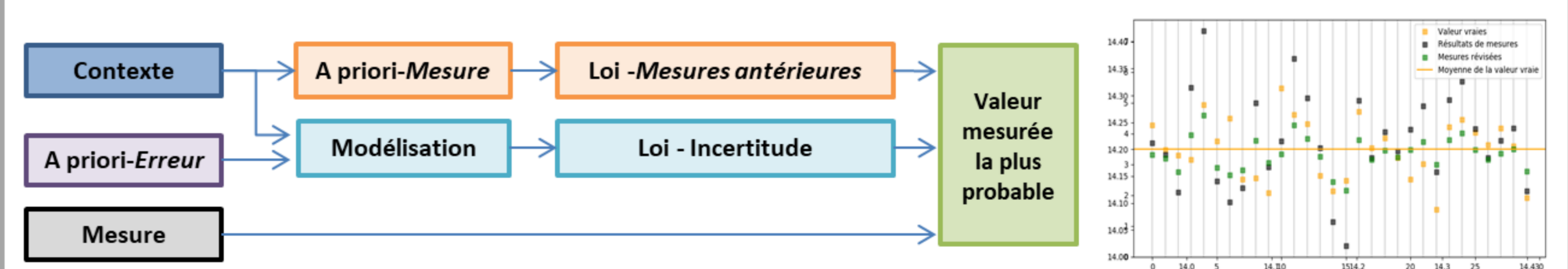
Correction par déconvolution :

La déconvolution est utilisée pour amoindrir le bruit des erreurs dans les mesures. Par simulation, on vérifie qu'en sachant la dispersion de la loi d'incertitude, qui est une connaissance imparfaite et partielle de l'erreur, les valeurs les plus probables réduisent en moyenne l'écart aux valeurs vraies.

Correction en temps réel :

Le valeur lue à la mesure n'est probablement pas celle qui a été mesurée. La loi d'incertitude donne la probabilité de l'erreur qui ait été faite. La loi des mesures antérieures donne la probabilité de la valeur mesure. La combinaison de ces deux informations donne la *Valeur la plus probable*.

Correction d'une mesure en temps réel



Conclusions

- ✓ La simulation valide l'efficacité de l'intégration de connaissances a priori par la statistique Bayésienne ainsi que les outils probabilistes ;
- ✓ Cet outil permet de suggérer en temps réels les valeurs qui ont été réellement mesurées, et ces valeurs réduisent en moyenne l'écart aux longueurs réelles ;
- ✓ Les valeurs issues de la métrologie sont ainsi affinées et accompagnées d'une caractérisation probabiliste permettant de prendre des décisions de tolérancement souple en rapport avec des seuils de risques.