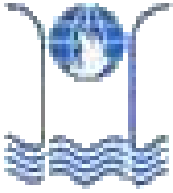


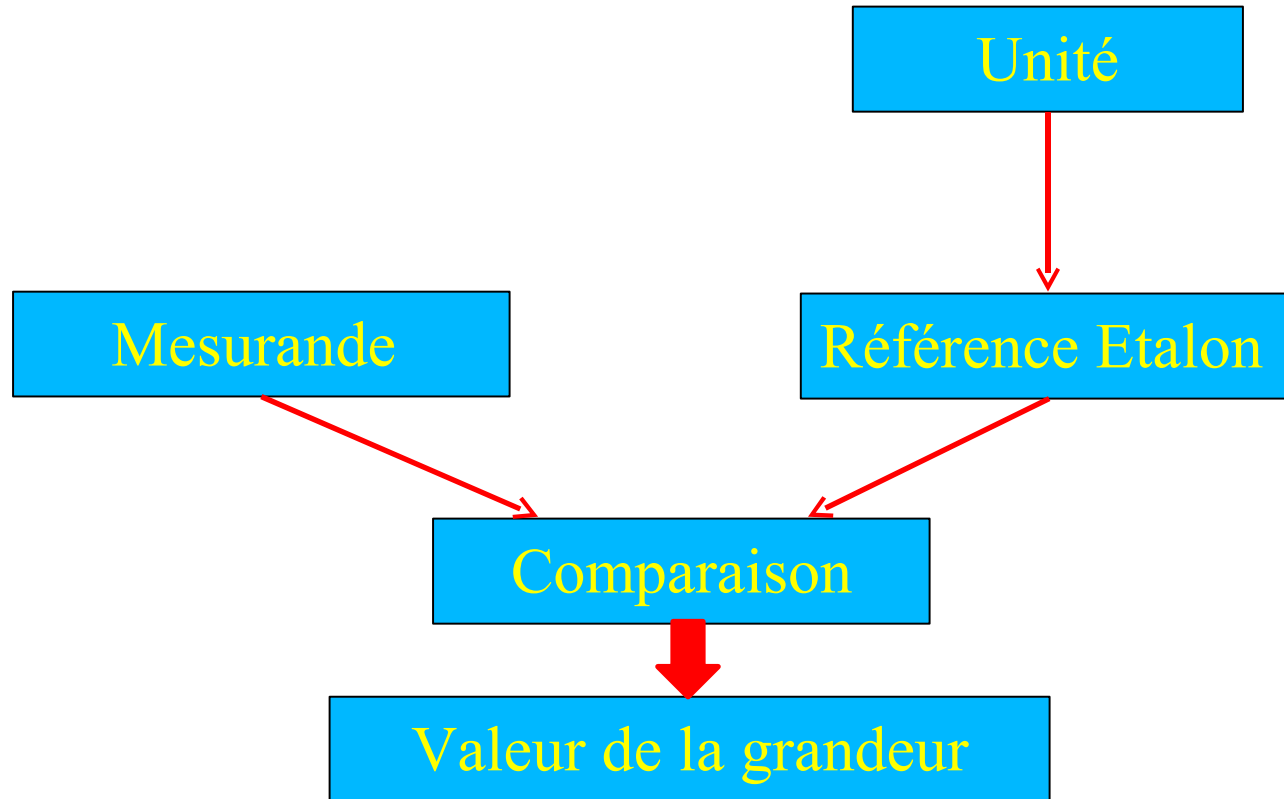


TRAITEMENT DES RESULTATS DE MESURE

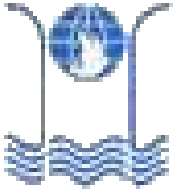


Plan :

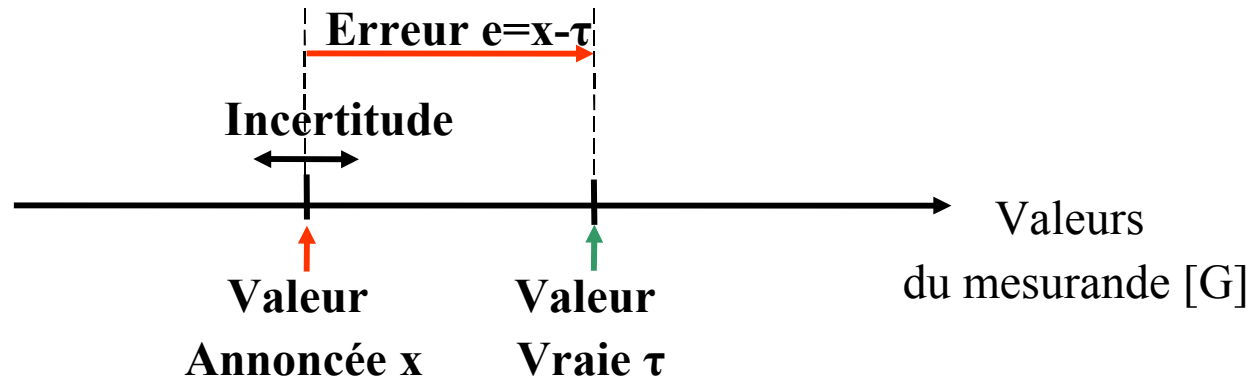
- Le résultat de mesure: méthodologie générale
- Mesure dans des conditions de répétabilité



= Valeur numérique \times Unité \pm l'incertitude



Méthodologie Générale



Métrologie [Metrology] : Science de la mesure

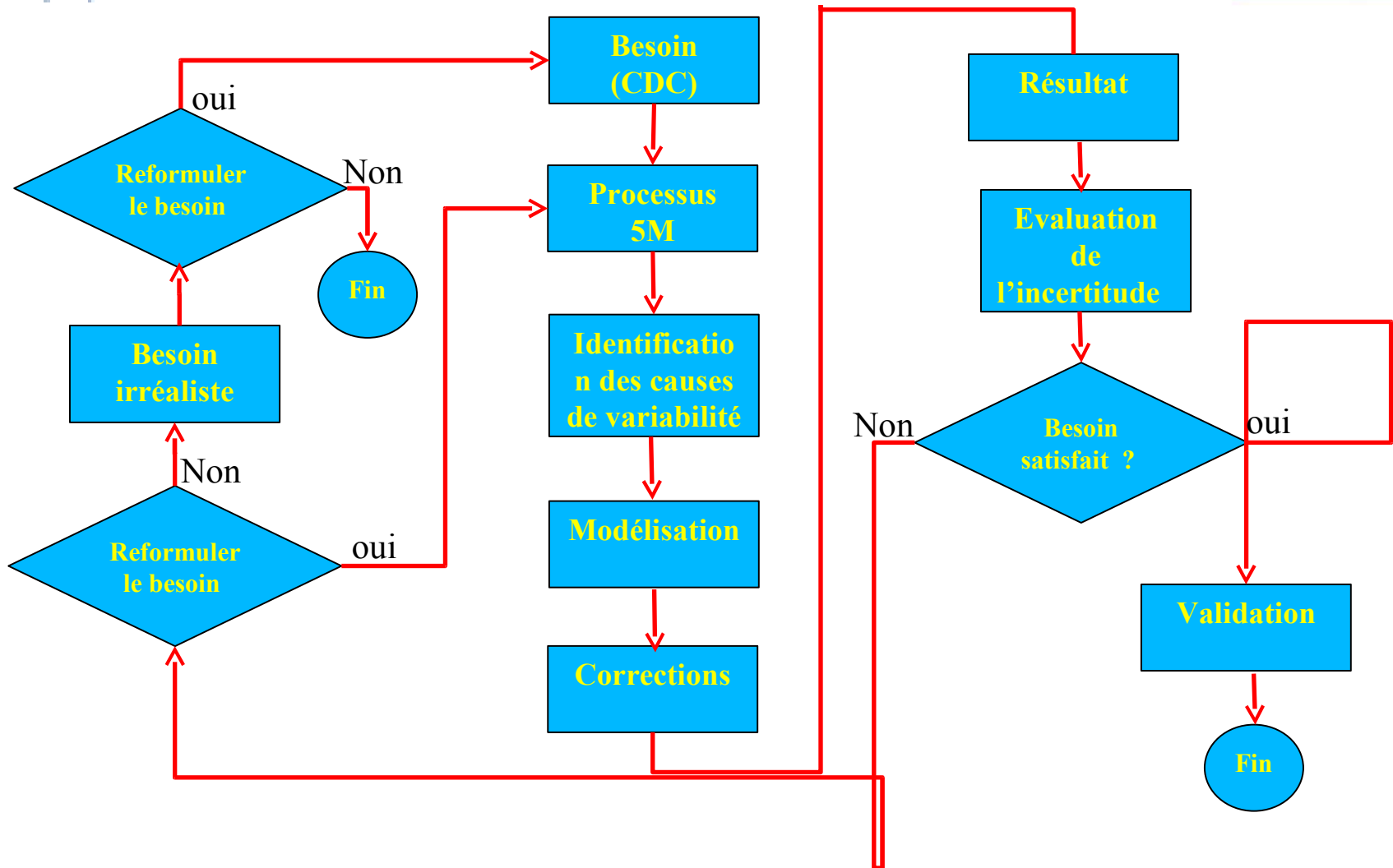
Deux aspects:

- Savoir : connaissance de l'outil (vocabulaire métrologique (VIM et GUM) + probabilité et statistique)
- Savoir-faire: maîtrise de l'utilisation de l'outil

Mesurer : c'est suivre une méthodologie afin de répondre à un besoin exprimé dans le cahier des charges.



1-Démarche Méthodologique





1-Démarche Méthodologique



Cahier des charges

Résultat de la revue de contrat, Répondre aux questions

1. But de la mesure: étalonnage, contrôle de production, réglementaire, expertise judiciaire, ...
2. Sur quelle grandeur porte la mesure ? : quel mesurande, incertitude acceptable...
3. Comment faire la mesure ? : inventaires des méthodes potentiellement à satisfaire le besoin par degré de réalisation
4. Délais
5. Coûts
6. Prise en compte de contraintes imposées (réglementation, sécurité, protection de l'environnement)



1-Démarche Méthodologique



Cahier des charges

Résultat de la revue de contrat, Répondre aux questions

1. But de la mesure: étalonnage, contrôle de production, réglementaire, expertise judiciaire, ...
2. Sur quelle grandeur porte la mesure ? : quel mesurande, incertitude acceptable...
3. Comment faire la mesure ? : inventaires des méthodes potentiellement à satisfaire le besoin par degré de réalisation
4. Délais
5. Coûts
6. Prise en compte de contraintes imposées (réglementation, sécurité, protection de l'environnement)



1-Démarche Méthodologique



1.Cahier des charges

INFORMATIONS
<ul style="list-style-type: none">DANS QUEL BUT ? <i>Objectifs du mesure ou d'essais</i>
<ul style="list-style-type: none">QUOI ? <i>Sur quelle grandeur porte la mesure</i>
<ul style="list-style-type: none">COMMENT ?
1. QUAND ?
1. COMBIEN?
1. AUTRE CONTRAINTES



1-Démarche Méthodologique



Caractérisation du processus de mesure

Moyen mnémotechnique: *Décliner les 5 M*

3.Choisir les ressources (en interne et/ou en externe) : expliciter, dans le respect des contraintes établies au cahier des charges (performances, coût,...):

- Le mesurande
- La méthode retenue
- Les moyens matériels à mettre en œuvre
- Les moyens humains nécessaires
- L'environnement de mesure

2. Caractériser le processus de mesure

- Décrire le mode opératoire retenu
- Etablir un modèle de la mesure
- Identifier les causes d'erreur
- Calculer la valeur de la composante d'erreur



1-Démarche Méthodologique

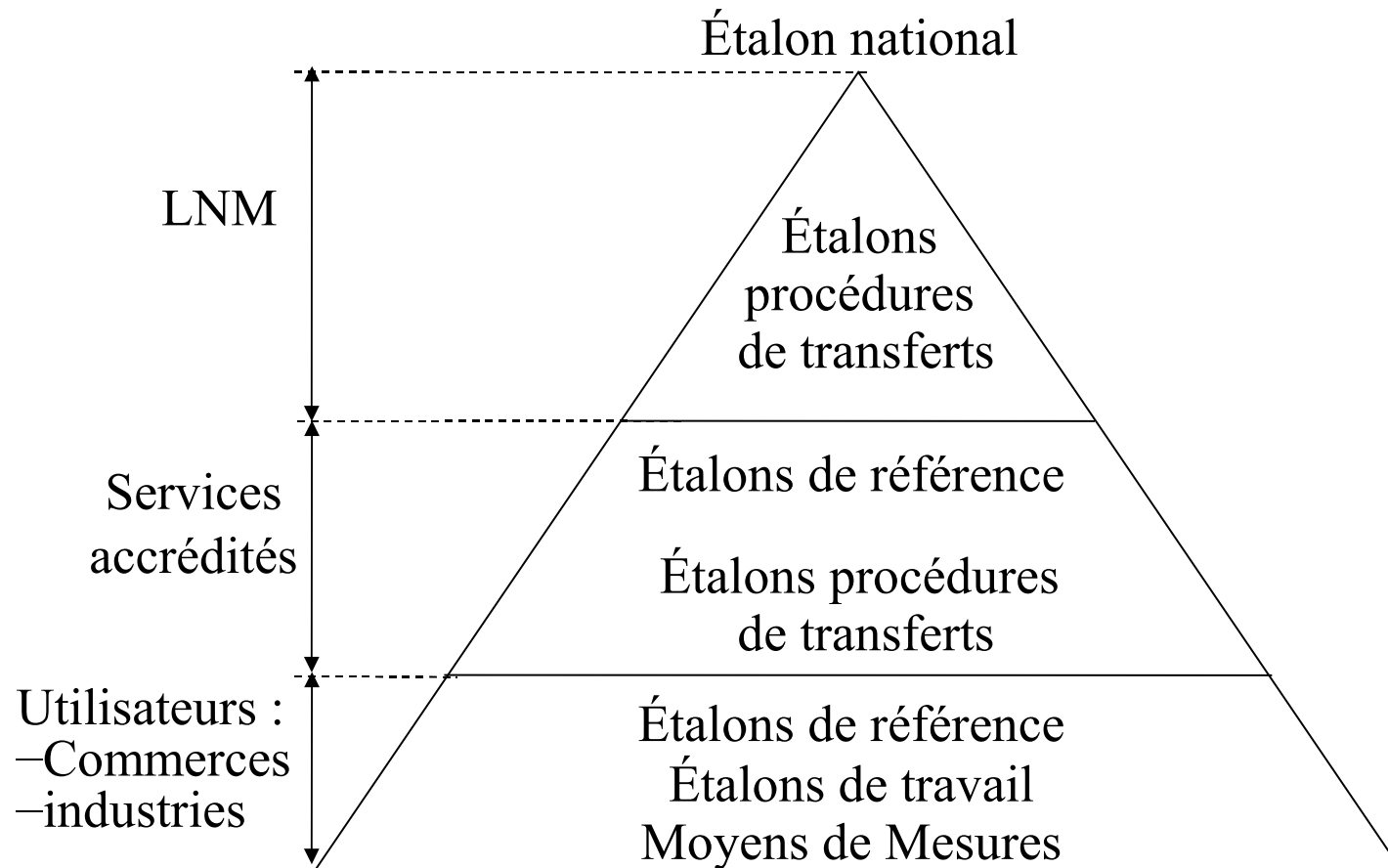


Caractérisation du processus de mesure

		Cinq « M »
1	OBJET	Mesurande
2	OUTILS	Moyens
3	ENVIRONNEMENT	Milieu
4	METHODE	Méthode
5	COMPETENCES	Moyen H



2-Traçabilité





2-Traçabilité

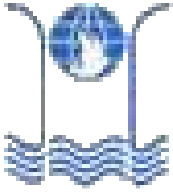


Gestion métrologique du parc

Instrument :

Identification :

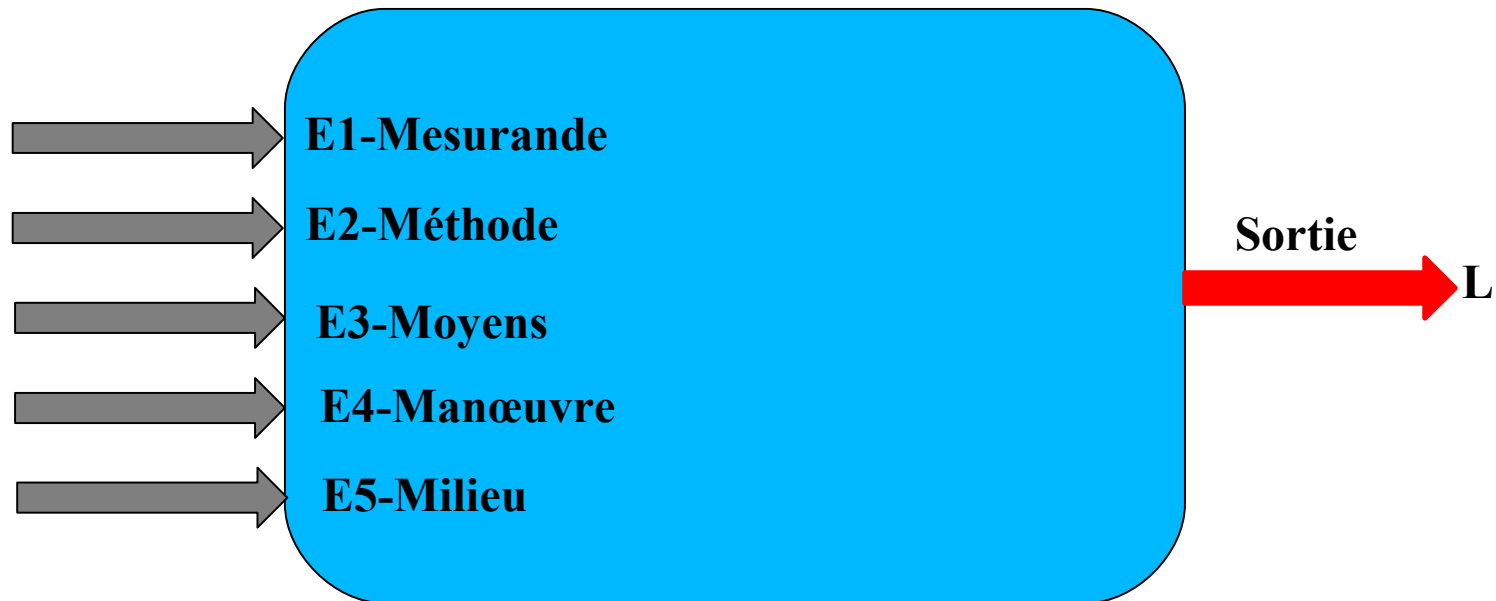
CARACTERISTIQUES	INFORMATIONS QUANTITATIVES
Calibre	
Etendue de mesure	
Conditions de références	
Résolution	
Temps de réponses	
Exactitude	
Erreur maximales tolérées	
Justesse	
Fidélité	
C. Etalonnage	



3-Analyse du résultat

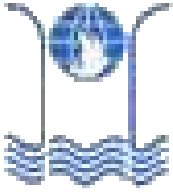
Mesure : Etablir la validité du résultat (exactitude) en terme de:

- Valeur (justesse)
- de « confiance » dans la valeur annoncée (incertitude)



$$L=f(E1, E2, E3, E4, E5)$$

Modèle général valable pour mesure directe et mesure indirecte



3-Analyse du résultat

Variabilité du résultat

Toute variation (contrôlé ou non d'un entrée) sous l'action d'une cause physique provoque une variation de la sortie.

$$L=f(E_1, E_2, E_3, E_4, E_5) \longrightarrow L'=f(E'_1, E'_2, E'_3, E'_4, E'_5)$$

On peut obtenir une expression linéarisée de L' : en considérant la variation due à une seule variable E_i , les autres $E_{j \neq i}$ étant constantes (valeurs nominales)

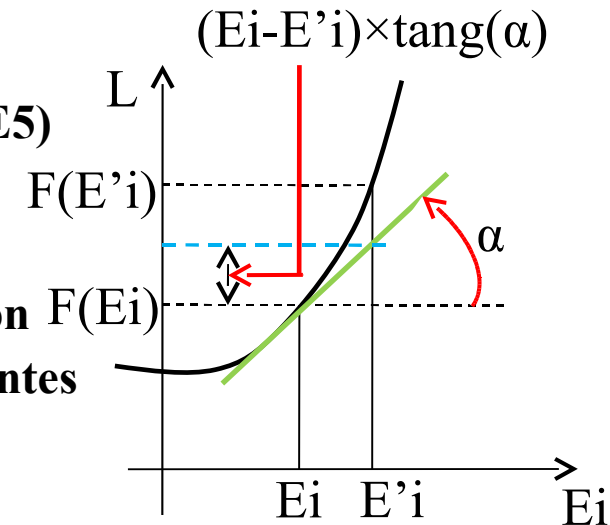
$$L'=f(E'_1, E'_2, E'_3, E'_4, E'_5)=$$

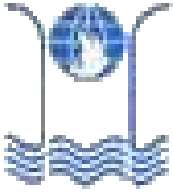
$$L+\lambda_1(E'_1-E_1)+\lambda_2(E'_2-E_2)+\lambda_3(E'_3-E_3)+\lambda_4(E'_4-E_4)+\lambda_5(E'_5-E_5)$$

Avec:

- L'écart (E'_i-E_i) représente la variation de l'entrée i
- λ_i est le coefficient de sensibilité de la lecture à une variation

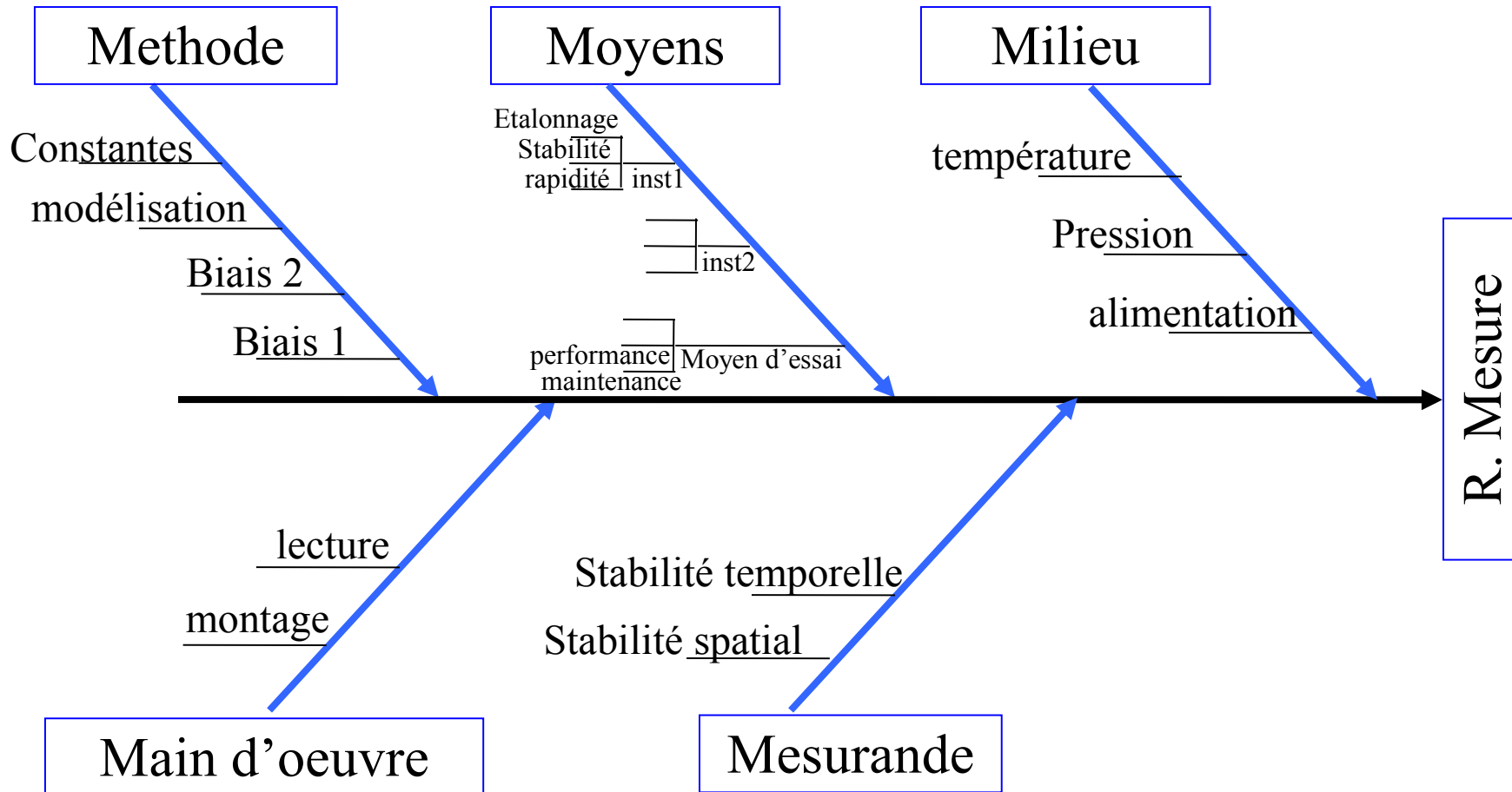
De l'entrée i correspondante, il est obtenu de différentes manières ($\partial f/\partial E_i$, données constructeur, graphiquement,...)





3-Analyse du résultat

identification des causes réelles ou potentielles de variation du résultat de mesure





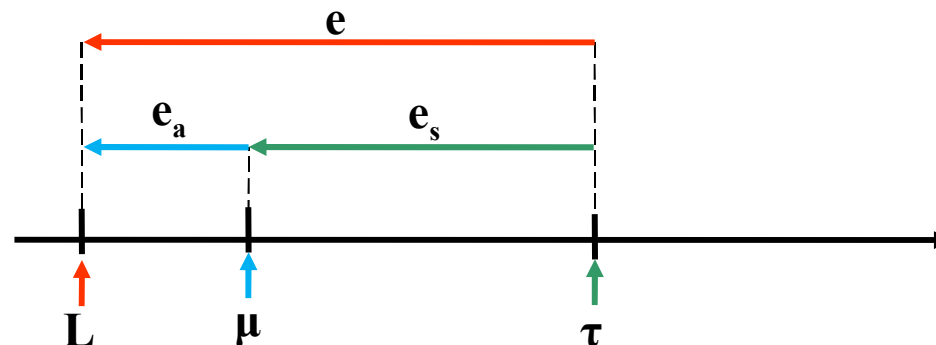
3-Analyse du résultat

Justesse du résultat

Question $L=\tau$?

On peut pas l'affirmer à cause de la présence des causes qui induisent la variabilité des résultats:

1. Cause dont l'origine est connue et dont on maîtrise les conditions
2. Cause dont l'origine est connue et qui ne sont pas maîtrisées
3. Cause dont l'origine est inconnue et qui ne sont pas maîtrisées



$$e = L - \tau = e_a + e_s$$



3-Analyse du résultat

- e_a composante variable d'une répétition de mesure à l'autre; due aux causes non maîtrisé (identifiées ou non). Elle apparaît comme une quantité aléatoire, nulle « en moyenne », les résultats se groupant autour d'une valeur μ .
- e_s composante de l'erreur de mesures due aux causes identifiées et modélisables. En règle générale, c'est la résultante algébrique de plusieurs composantes:

$$e_s = \sum e_{s_i}$$

- La modélisation permet d'évaluer une valeur \widehat{e}_{s_i} de la composante correspondante
- En repartant du modèle générale:

$$L' = f(E'1, E'2, E'3, E'4, E'5) =$$

$$L + \lambda_1(E'1 - E1) + \lambda_2(E'2 - E2) + \lambda_3(E'3 - E3) + \lambda_4(E'4 - E4) + \lambda_5(E'5 - E5)$$

Où l'écart $E' i - E_i = \widehat{e}_{s_i}$ représente l'erreur sur l'entrée i

$$\widehat{e}_{s_L} = L - L'$$

$$= \lambda_1(E'1 - E1) + \lambda_2(E'2 - E2) + \lambda_3(E'3 - E3) + \lambda_4(E'4 - E4) + \lambda_5(E'5 - E5)$$

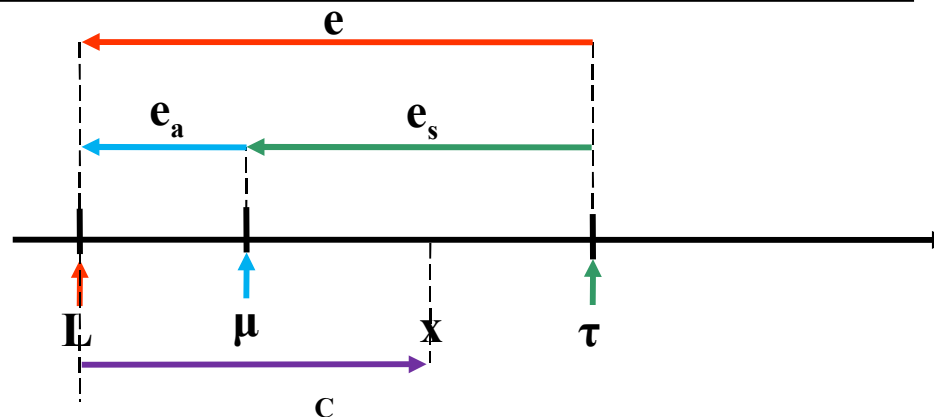


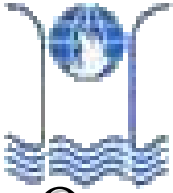
4-Corrections

- Pour chaque entrée, on possède une estimation \widehat{e}_{s_i} de l'erreur
- On appelle correction, cette estimation changée de signe: $c_i = -\widehat{e}_{s_i}$
- La correction du résultat est alors donnée par: $c_L = -\widehat{e}_{sL}$
- Soit:
$$c_L = \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 + \lambda_3 c_3 + \lambda_4 c_4 + \lambda_5 c_5$$

	Origine Cause d'erreur identifiée	Correction Sur l'entrée	Coefficient de sensibilité	Correction sur la sortie C_i
0	NON IDENTIFIEES	0		
1	MESURANDE			
2	INSTRUMENTS DE MESURE			
3	METHODE DE MESURE			
4	GRANDEURS D4INFLUENCE			
5	OPERATEUR			

-Résultat:





5-Incertitudes

Question : Quelle confiance j'ai dans mon résultat ?

Comment traduire la dispersion des valeurs associées au mesurande ?

- doit être établie « raisonnablement »

- s'exprime sous forme d'un (ou multiple) d'un écart-type

Elle définit un intervalle dont on espère avoir la valeur vraie du mesurande.

Deux grandes catégories de méthodes permettent d'évaluer numériquement l'incertitude de mesure:

- **Méthode de type A:** c'est une approche globale, basée sur le caractère de variabilité du résultat de mesure → fait appel à l'outil statistique;

- **Méthode de type B:** c'est une approche analytique, basée sur une analyse physiques du contexte expérimental. Elles sont obligatoire pour toutes les composantes d'incertitudes qui ne se traduisent pas par une variabilité du résultat.



Incertitude de répétabilité

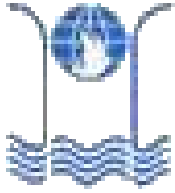
C'est une composante de l'incertitude de mesure estimée par une méthode de type A. La part d'incertitude traduisant la dispersion des résultats obtenus dans des conditions de répétabilité lors de n répétition consécutives: La moyenne arithmétique:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

L'écart-type expérimental associé:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Cet écart-type traduit la dispersion des valeurs obtenues



Mise en œuvre de méthode de type B

- La composante d'incertitude associée à chaque correction partielle c_j doit être évaluée par une incertitude type u_j (écart-type) obtenue à partir d'un jugement porté par l'opérateur sur la manipulation.
- Pour chaque correction identifiée, l'opérateur doit chiffrer l'intervalle: $[c - \Delta c \quad c + \Delta c]$ contenant la « valeur vraie de la correction ».
- Ces incertitudes peuvent être déterminées à partir :
 - Certificat d'étalonnage de l'instrument de mesure,
 - Constat de vérification
 - documentations constructeur
 - résolution d'instrument

- Comme la correction totale : $c_L = \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 + \lambda_3 c_3 + \lambda_4 c_4 + \lambda_5 c_5$
- sous l'hypothèse d'indépendances des différentes corrections,
l'incertitude type est:

$$u = \sqrt{\lambda_1^2 u_1^2 + \lambda_2^2 u_2^2 + \lambda_3^2 u_3^2 + \lambda_4^2 u_4^2 + \lambda_5^2 u_5^2}$$



Mesure dans des conditions de répétabilité

Incertitude type composée

-Cas d'une mesure:

$$x_c = x + C$$

L'incertitude type de résultat:

$$u_c = \sqrt{s^2 + u^2}$$

NB: L'incertitude type de répétabilité S est obtenue par une méthode de type B

-Cas de n répétition:

$$\bar{x}_c = \bar{x} + C$$

L'incertitude type de résultat:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{s^2}{n} + u^2\right)}$$

Dans ces conditions, l'écart-type de répétabilité peut être estimé à partir de la dispersion des résultats bruts par une méthode de type A



Mesure dans des conditions de répétabilité

Budget d'incertitude

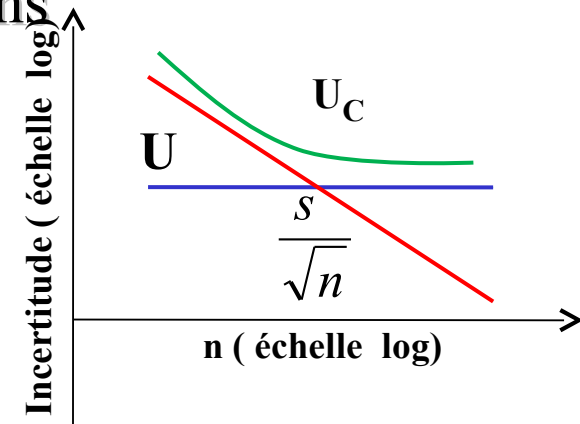
Origine	Composante d'incertitude sur l'entrée	Coefficient de sensibilité	Composante d'incertitude sur la sortie
B.REPETABILITE			
•CAUSES IDENTIFIEES B.1 : B.2 : B.3 : B.4 : B.5 : B.6 : B.7 : B.8 :			
INCERTITUDE-TYPE (COMPOSEE) u_c Composition quadratique			



Mesure dans des conditions de répétabilité

Incertitude type composée

- La composante de répétabilité et la composante associée aux corrections se comportent de manière différente en fonction du nombre n de mesures
- Alors que l'incertitude type associée aux corrections est indépendante de N , l'incertitude de répétabilité décroît comme $1/\sqrt{n}$. Dans une représentation en échelle logarithmique, on obtient une droite de pente $-1/2$.
- L'incertitude type composée, combinaison quadratique des deux précédentes va tout d'abord subir une phase ↘, puis tendre vers la valeur U .
- Le critère pour optimiser le nombre de répétitions sera lorsque S/\sqrt{n} devient égale à U .





Mesure dans des conditions de répétabilité



Incertitude élargie

-L'incertitude type composé définit une intervalle qui contient $[\bar{x}_c - U_c \quad \bar{x}_c + U_c]$ la valeur vraie τ avec une probabilité de l'ordre 2/3. On peut aussi dire que la probabilité que τ soit à l'extérieur de l'intervalle ainsi définie est d'environ 1/3.

-Ce risque d'erreur pouvant paraître prohibitif, on introduit alors la notion d'incertitude élargie définie par :

$$U = k u_c$$

-A titre d'exemple, les laboratoires accrédités par le Cofrac accompagnent leurs résultat par une incertitude élargie, le facteur d'élargissement étant conventionnellement $k=2$



Mesure dans des conditions de répétabilité

Enoncé d'un résultat numérique du mesurage

-Il est préférable d'énoncer le résultat numérique du mesurage de l'une des quatre manières suivantes pour éviter toute fausse interprétation :

1. « $m=100,021\ 47\ \text{g}$ avec $U_c=0.35\ \text{mg}$ »
2. « $m=100,021\ 47\ (35)\ \text{g}$ »
3. « $m=100,021\ 47\ (0,000\ 35)\ \text{g}$ »
4. « $m=(100,021\ 47 \pm 0,000\ 35)\ \text{g}$ »