

Audits énergétiques : quelle instrumentation et quelles méthodes de mesure employer ?

Mohammed MEGHARFI
LNE



LNE

Le progrès, une passion à partager

1. **La mesure, partie intégrante de la démarche d'audit : le juste nécessaire appliqué à l'expression du besoin de mesure - MME**
2. **Les principes de mesures et les conditions de déploiement de l'instrumentation - BSA**
3. **Métrologie légale et utilisation sur les sites industriels (usages possibles) – MME**
4. **Approche méthodologique : démarche opérationnelle, utilisation des redondances et des données qualitatives - BSA**

La mesure, partie intégrante de la démarche d'audit : le juste nécessaire appliqué à l'expression du besoin de mesure

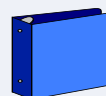
La démarche d'audit énergétique nécessite la mise en œuvre de **processus de mesure**



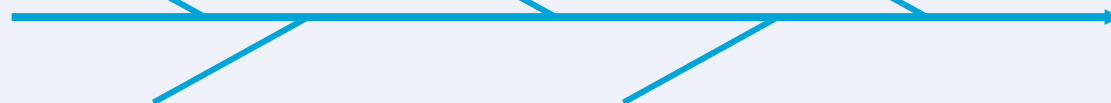
Matière



Moyen



Méthode



Mesurande +/- U_{pm}

Main d'œuvre

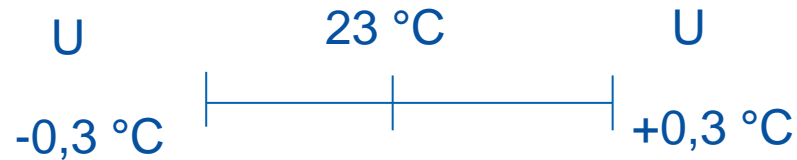


Milieu



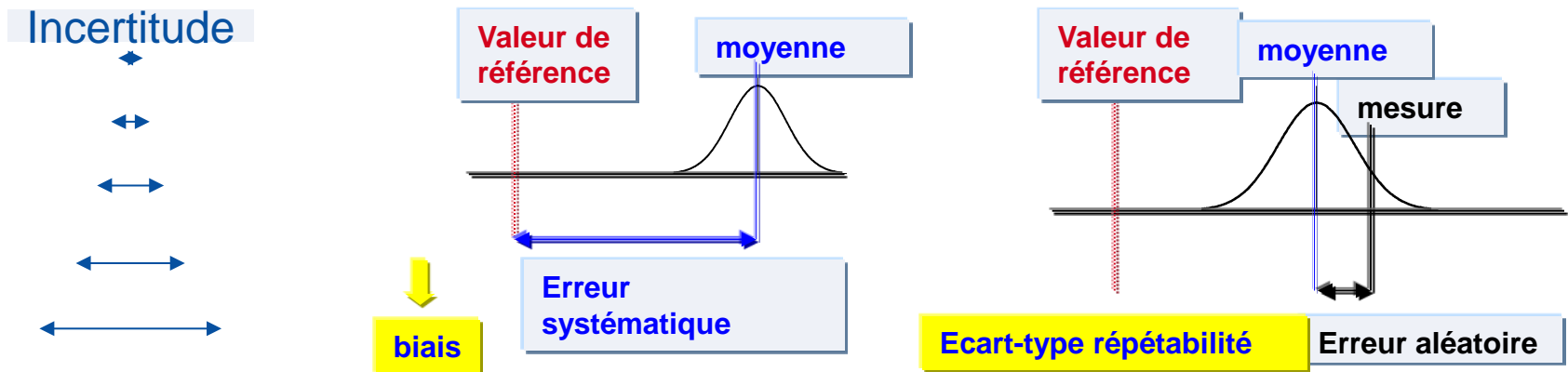
Résultat de mesure

Un processus de mesure permet d'obtenir un résultat de mesure



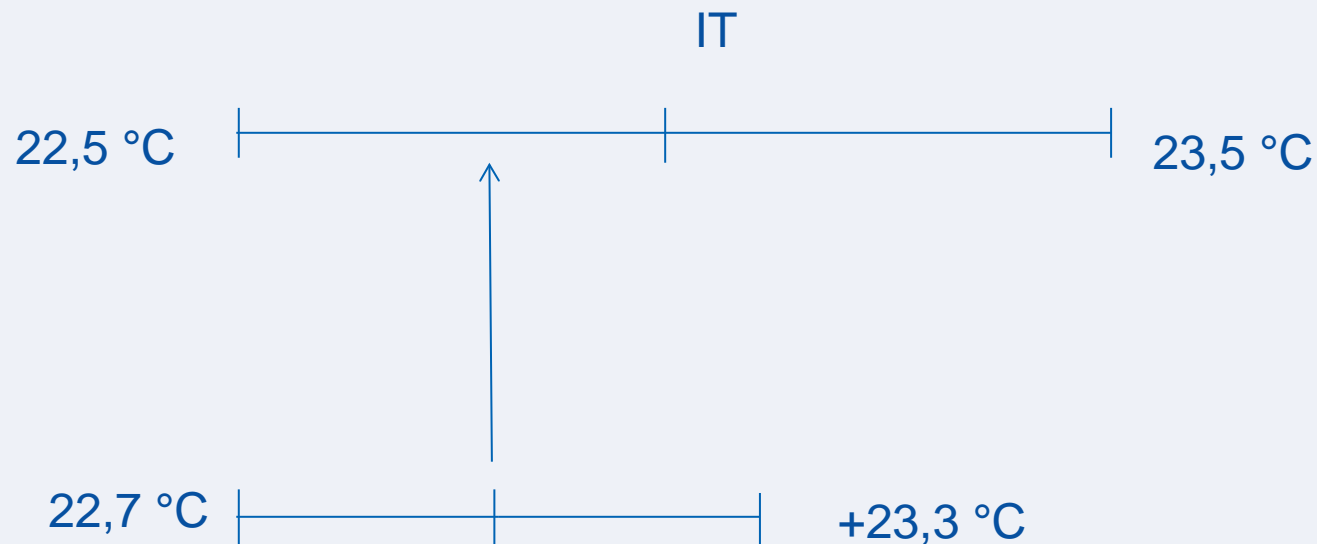
- Indication relevée à l'aide de l'instrument de mesure
- Unité de mesure
- Qualité de la mesure, doute, incertitude... U

Concepts de traçabilité et d'incertitude



Un résultat de mesure est comparé à une spécification ou à une tolérance qui constitue le besoin de mesure :

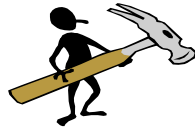
Exemple la température doit être comprise entre 22,5 °C et 23,5°C



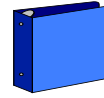
Performance du processus de mesure



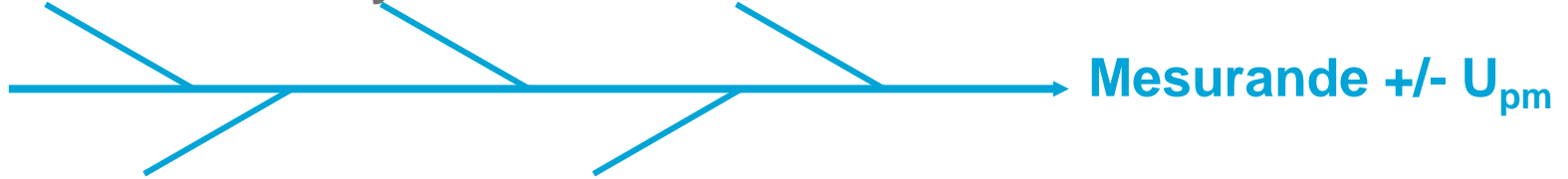
Matière



Moyen



Méthode

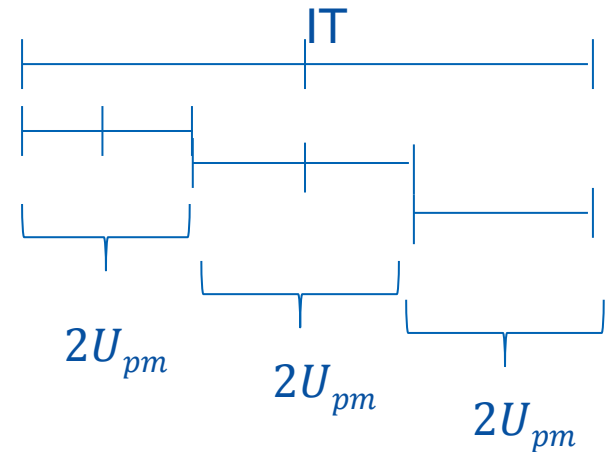


Main d'œuvre = opérateur(s)
Milieu = environnement



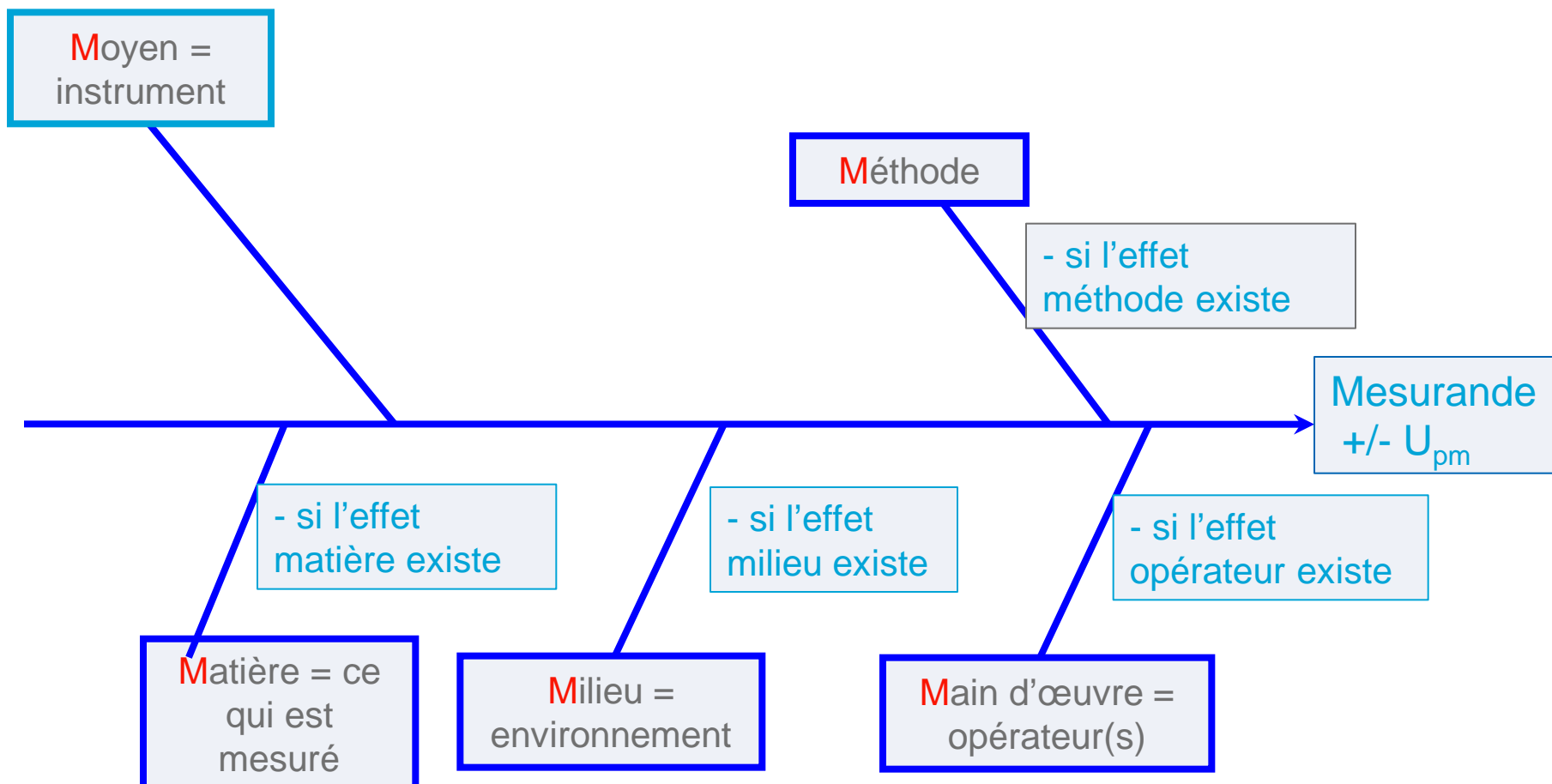
NF ISO 22514-7 19 Janvier 2013 - Méthodes statistiques dans la gestion de processus — Aptitude et performance
 Partie 7 : Aptitude des processus de mesure

$$Q_{pm} = \frac{2 * U_{pm}}{IT} * 100 (\%) < 30 \%$$



Performance de l'instrument de mesure

U_i : Incertitude liée à l'instrument (ou tolérance)



Si l'instrument de mesure ne présente pas de biais systématique et s'il est stable dans le temps (ne dérive pas) et utilisé correctement (maîtrise des 5M) alors en première approximation : U_{pm} est proche de U_i

■ Etalonnage (VIM : 2012 , § 2.39) :

« Opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs [...] qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes [...], puis utilise en une seconde étape une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication »

■ Vérification (VIM : 2012 , § 2.44) :

« Fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées »

■ Etalonnage d'un voltmètre, calibre 1 V

■ Conditions spécifiques :

- ▶ Configuration : mise sous tension 2 heures et après remise à zéro
- ▶ Conditions d'environnement : $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ et $(50 \pm 10)\%HR$

■ Résultats d'étalonnage (dans un certificat d'étalonnage) :

Tension de référence (mV)	Moyenne des tensions lues sur le voltmètre (mV)	Erreur de justesse du voltmètre (mV)	Incertitude élargie sur la détermination de l'erreur de justesse (k=2) (mV)
0,00	0,00	0,00	0,03
100,00	100,03	+ 0,03	0,04
200,00	200,06	+ 0,06	0,04
300,00	300,09	+ 0,09	0,04
400,00	400,12	+ 0,12	0,05
500,00	500,15	+ 0,15	0,05

■ Vérification d'un voltmètre, calibre 1 V

■ Spécification :

- ▶ Spécification : +/- 0,05 % PE

■ Résultat de la vérification (dans un constat de vérification) :

Tension de référence (mV)	Moyenne des tensions lues sur le voltmètre (mV)	Erreur de justesse du voltmètre (mV)	Incertitude élargie sur la détermination de l'erreur de justesse (k=2) (mV)
0,00	0,00	0,00	0,03
100,00	100,03	+ 0,03	0,04
200,00	200,06	+ 0,06	0,04
300,00	300,09	+ 0,09	0,04
400,00	400,12	+ 0,12	0,05
500,00	500,15	+ 0,15	0,05



- Preuves : résultats d'étalonnage
 - Critère d'acceptation : $|e_{\text{justesse}}| + U \leq 0,05\% \text{ PE}$
 - Constat* : CONFORME NON CONFORME
- * valable dans les conditions de l'étalonnage

Résultat de la vérification

Conclusion : le juste nécessaire

Demande de	Il s'agit
Définir la grandeur d'intérêt, celle que l'on a besoin de mesurer pour décider, comparer...	Le mesurande
Définir et connaître le besoin de mesure celui lié au résultat de mesure	L'incertitude cible, l'intervalle de tolérance liée au résultat de mesure
Définir et construire le processus de mesure y compris le choix des instruments de mesure mais pas que....	Choix de l'instrument, étalonnage ou vérification, incertitude d'étalonnage ou intervalle de tolérance lié à l'instrument Les facteurs d'influence
Respecter la mise en œuvre du processus de mesure et en particulier ses limites	Maîtriser les 5M



Métrologie légale et utilisation sur les sites industriels (usages possibles) – MME

La métrologie légale désigne l'application d'exigences réglementaires à des mesurages et à des instruments de mesure

Les exigences peuvent concerner des grandeurs liées à la performance de l'équipement :

- consommation d'électricité et/ou de gaz,
- quantité de chaleur ou de froid produit,
- température, débit...

Des instruments réglementés peuvent être utilisés dans les sites industriels audités.

Finalité de la métrologie légale :

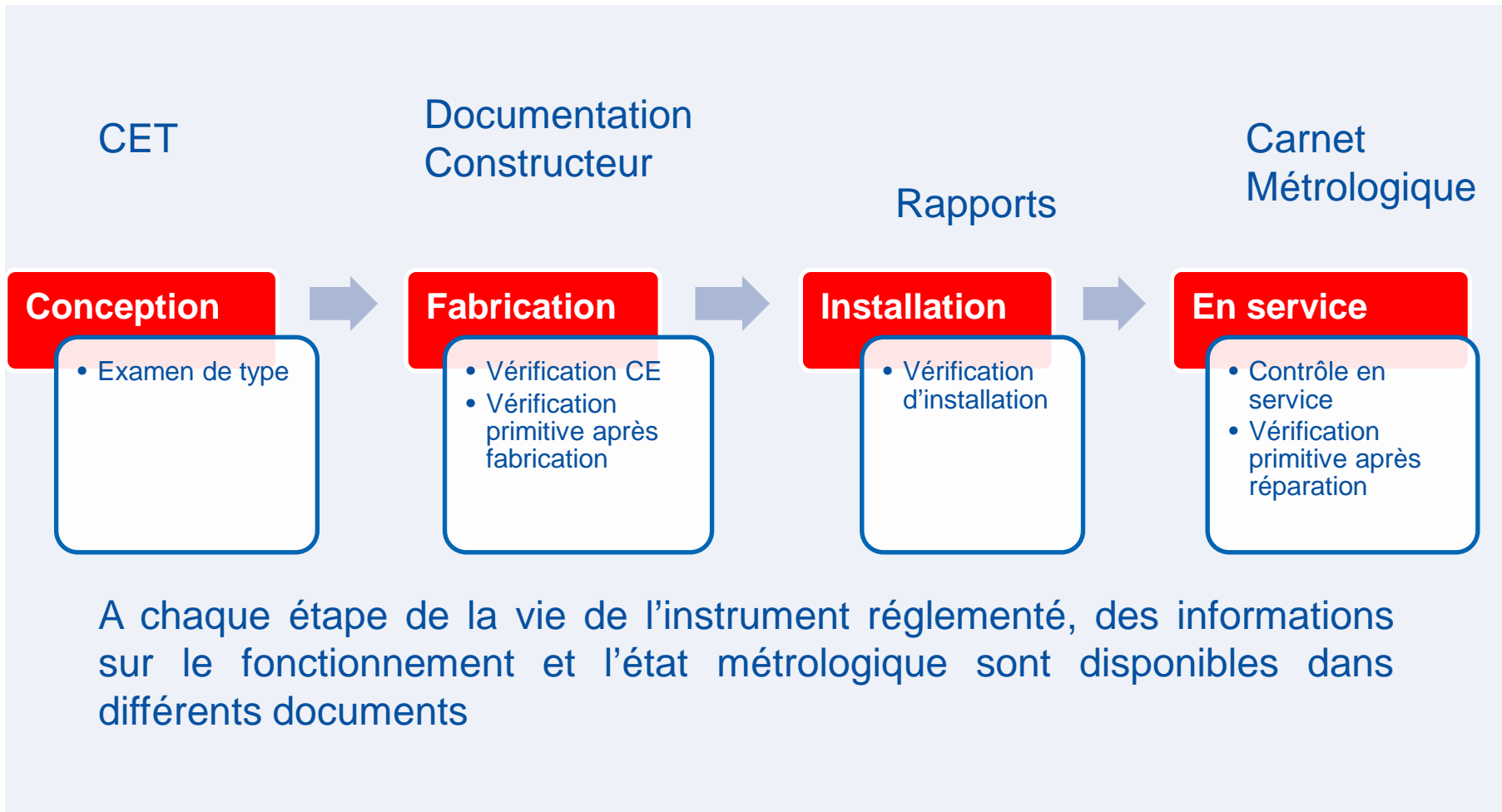
- Garantir la loyauté des transactions
- Percevoir des taxes pour l'Etat
- Répondre à un besoin d'intérêt public (ex : santé publique, environnement,...)

En fonction des besoins de mesure, les informations métrologiques issues de la métrologie légale peuvent être utilisées par l'auditeur.

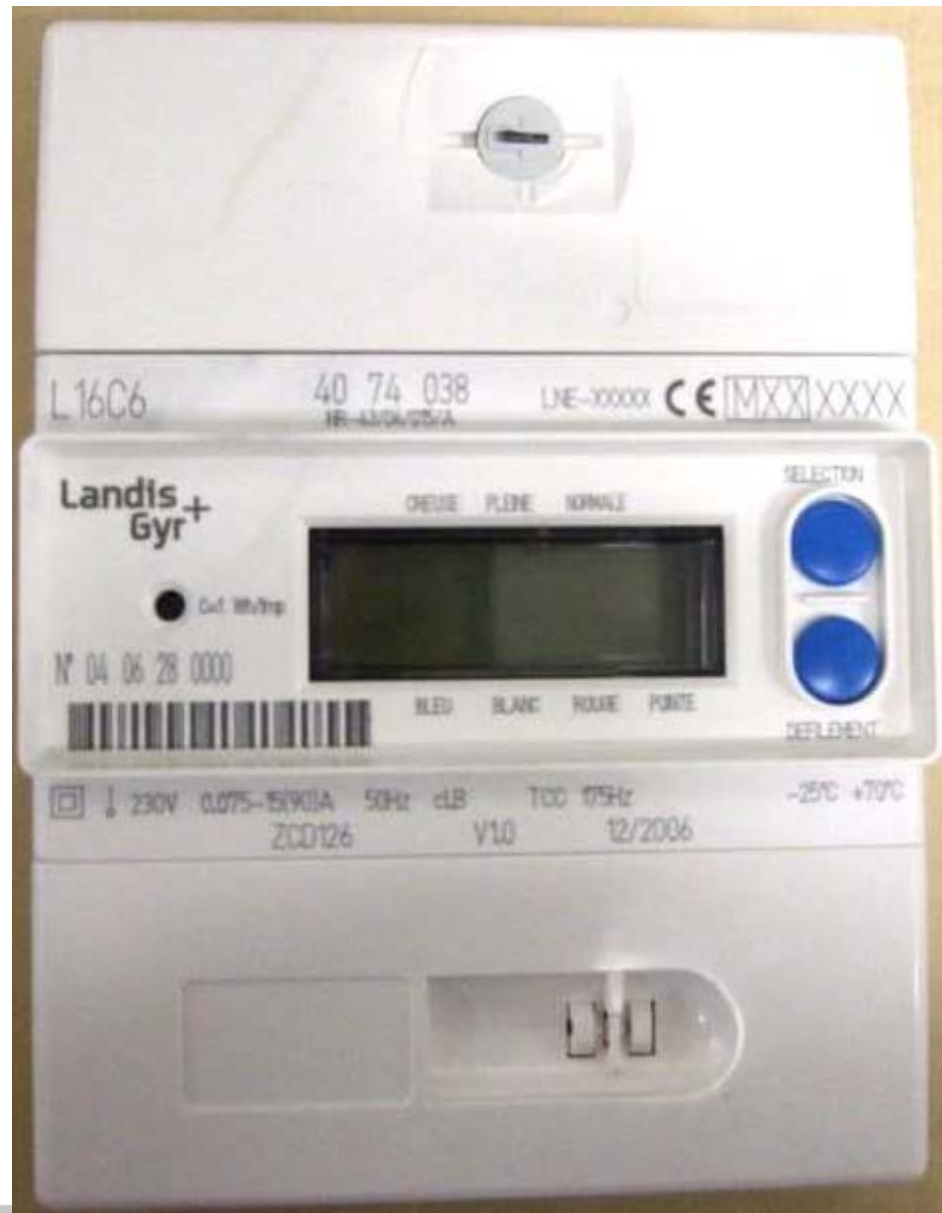
Les modèles des instruments réglementés sont approuvés et leur spécifications connues, évaluées et décrites dans la réglementation.

Ces informations sont disponibles et peuvent être accessibles à l'auditeur presque sans efforts !

Contrôles durant la vie de l'instrument réglementé



Exemple 1 : Compteurs statiques d'énergie électrique





Organisme notifié n°0071
Notified body



CERTIFICAT D'EXAMEN UE DE TYPE

EU TYPE EXAMINATION CERTIFICATE

N° LNE - 7103 rév. 4 du 16 avril 2017

Renouvele le certificat 7103-3

Délevré par : Laboratoire national de métrologie et d'essais
Issued by

En application : Directive 2014/52/UE, Module B
In accordance with
Directive 2014/52/UE, Module B

Fabricant : LANDIS + GYR - 30, avenue du Président Auriol
Manufacturer
BP 3150
FRANCE - 03115 - MONTLUÇON CEDEX

Mandataire : LANDIS + GYR - 30 avenue du Président Auriol - FRA - 03115 - MONTLUÇON CEDEX
Authorized representative

Concernant : Compteur électrique type ZCD126 L16C6 et L16C6M
In respect of
Electrical energy meter types ZCD126 L16C6 and L16C6M

Caractéristiques : Les compteurs LANDIS+GYR types ZCD126 L16C6 et L16C6M sont des compteurs statiques
Characteristics
d'énergie électrique pour courants alternatifs monophasés deux fils.

LANDIS+GYR meters types ZCD126 L16C6 and L16C6M are static electrical energy meters for two wires alternate single-phase current.

Valable jusqu'au : 14 avril 2027
Valid until
April 14th, 2027

Les principales caractéristiques et conditions d'approbation figurent dans l'annexe ci-jointe qui fait partie intégrante du certificat et comprend 9 page(s). Tous les plans, schémas et notices sont déposés au Laboratoire national de métrologie et d'essais sous la référence de dossier P189374 -1.

The principal characteristics, approval conditions are set out in the appendix hereto, which forms part of the approval documents and consists of 9 page(s). All the plans, schematic diagrams and documentations are recorded by Laboratoire national de métrologie et d'essais under reference de P189374 -1.

Etabli le 26 juillet 2017
Issued on July 26th, 2017

Pour le Directeur Général
Or Agent of the General Director

LNE
Thomas LOMMATZSCH

Responsable du Pôle Certification Instrumentation
Measuring instrumentation principal manager

Laboratoire national de métrologie et d'essais

Établissement public à caractère industriel et commercial • Siège social : 1, rue Gaston Boissier - 75734 Paris Cedex 15 • Tél : 01 40 43 37 00
Fax : 01 40 43 37 37 • E-mail : info@lne.fr • Internet : www.lne.fr • Siret : 313 320 244 00012 • NAF : 743 B • TVA : FR 92 313 320 244
Bardini Paris Centrale IBAN : FR76 3058 8600 0149 7207 4010 170 BIC : BARCFRPP

Compteurs statiques d'énergie électrique EMT

Erreur composite (Composite error)

Valeur du courant	Facteur de puissance	$e(I, \cos\varphi)$	$\delta(T, I, \cos\varphi)$	$\delta(U, I, \cos\varphi)$	$\delta(f, I, \cos\varphi)$	e_c (1)	EMT (2)
I_{\min}	1	0,32	-0,38	-0,07	-0,03	0,50	2%
I_{tr}	0,5 inductif	0,46	-0,41	-0,06	-0,04	0,62	2%
I_{tr}	1	0,15	-0,20	-0,07	-0,03	0,26	2%
I_{tr}	0,8 capacitif	0,08	-0,41	-0,04	-0,01	0,42	2%
$10I_{tr}$	0,5 inductif	0,19	+0,23	+0,14	+0,02	0,33	2%
$10I_{tr}$	1	-0,20	+0,39	+0,27	+0,25	0,57	2%
$10I_{tr}$	0,8 capacitif	-0,06	-0,32	-0,30	+0,03	0,44	2%
	0,5 inductif	0,15	+0,29	+0,10	+0,16	0,38	2%
I_{\max}	1	-0,18	+0,16	+0,24	+0,19	0,39	2%
I_{\max}	0,8 capacitif	-0,10	+0,09	-0,22	-0,26	0,37	2%

(1) $e_c = \sqrt{e^2(I, \cos\varphi) + \delta^2(T, I, \cos\varphi) + \delta^2(U, I, \cos\varphi) + \delta^2(f, I, \cos\varphi)}$

(2) EMT: erreur maximale autorisée pour la gamme de température +5°C à +30°C.

$e(I, \cos\varphi)$: l'erreur intrinsèque max du compteur

$\delta(T, I, \cos\varphi)$: l'erreur en pourcentage supplémentaire due à la variation de la température pour la plage de température -25°C à +70°C.

$\delta(U, I, \cos\varphi)$: l'erreur en pourcentage supplémentaire due à la variation de la tension

$\delta(f, I, \cos\varphi)$: l'erreur en pourcentage supplémentaire due à la variation de la fréquence

Exemple 2 : Compteur de puissance active

- *Arrêté du 01/08/2013*
- *Domaine d'application : le texte et les exigences s'appliquent aux compteurs d'énergie active qui mesurent l'énergie consommée dans un circuit.*
- *Ne s'applique pas aux transformateurs de mesure externes pouvant être associés, ni aux compteurs d'énergie réactive, ni aux systèmes de mesures d'énergie électrique embarqués à bord des engins circulant sur les réseaux ferrés.*
- *S'applique aux compteurs de classe A B C destinés aux usages domestique, commercial ou industriel léger, aux compteurs de classe D, destinés à un usage industriel lourd*

Compteur de puissance active

Les compteurs en service respectent les **erreurs maximales tolérées** suivantes :

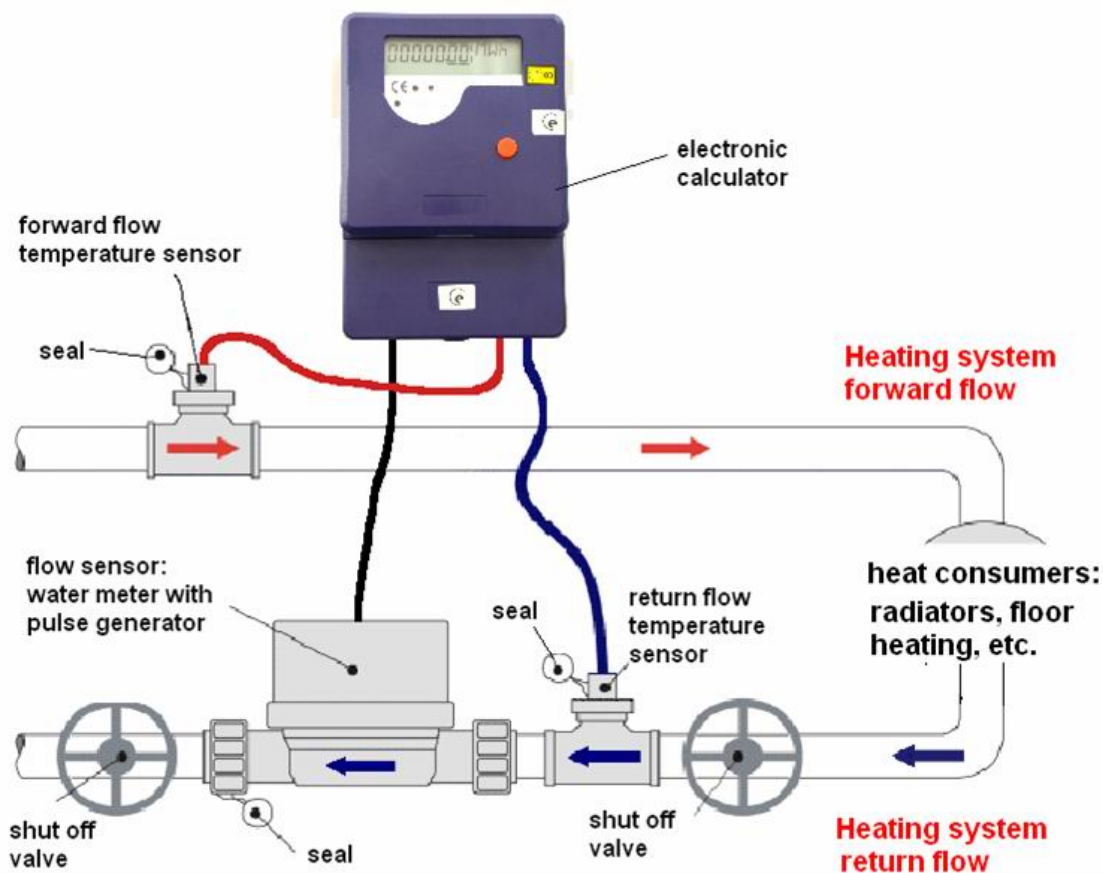
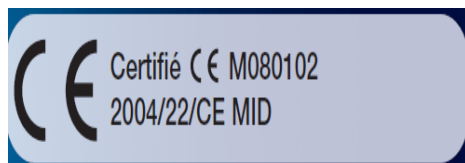
- pour les compteurs de classe A : $\pm 8,0 \%$;
- pour les compteurs de classe B : $\pm 4,5 \%$;
- pour les compteurs de classe C : $\pm 2,5 \%$;
- pour les compteurs de classe D : $\pm 1,0 \%$.

Ces erreurs maximales tolérées s'appliquent sur la plage de courant **$0,1 \times I_{ref}$ à I_{max}** , lorsque le facteur de puissance varie entre **0,5 (inductif) et 0,8 (capacitif)**, en passant par une valeur égale à 1. Pour les compteurs électromécaniques, sur la plage de courant s'étendant de $0,1 \times I_{ref}$ à $0,5 \times I_{ref}$, ces erreurs s'appliquent uniquement à un facteur de puissance égal à 1.

Les erreurs des compteurs sont déterminées avec des incertitudes de mesurage qui sont inférieures ou égales au **tiers** des erreurs maximales tolérées.

Exemple 3: Compteur d'énergie thermique

❑ Arrêté du 03/09/2010



Conclusion : la métrologie légale, une opportunité

La métrologie légale fournit au-delà des exigences métrologiques un suivi quasi continu permettant l'usage de l'instrument réglementé

Les informations utiles sont disponibles dans de multiples documents, CET, Arrêtés etc.

Les informations peuvent se substituer à des mesures pouvant être réalisées lors des audits