

RECOMMANDATION
INTERNATIONALE

OIML R 62

Edition 1985 (F)

Caractéristiques de performance
des extensomètres métalliques à résistance

Performance characteristics of metallic resistance strain gauges



Avant-propos

L'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) est une organisation intergouvernementale mondiale dont l'objectif premier est d'harmoniser les réglementations et les contrôles métrologiques appliqués par les services nationaux de métrologie, ou organismes apparentés, de ses États Membres.

Les deux principales catégories de publications OIML sont:

- les **Recommandations Internationales (OIML R)**, qui sont des modèles de réglementations fixant les caractéristiques métrologiques d'instruments de mesure et les méthodes et moyens de contrôle de leur conformité ; les États Membres de l'OIML doivent mettre ces Recommandations en application dans toute la mesure du possible;
- les **Documents Internationaux (OIML D)**, qui sont de nature informative et destinés à améliorer l'activité des services de métrologie.

Les projets de Recommandations et Documents OIML sont élaborés par des comités techniques ou sous-comités composés d'États Membres. Certaines institutions internationales et régionales y participent aussi sur une base consultative.

Des accords de coopération ont été conclus entre l'OIML et certaines institutions, comme l'ISO et la CEI, pour éviter des prescriptions contradictoires; en conséquence les fabricants et utilisateurs d'instruments de mesure, les laboratoires d'essais, etc. peuvent appliquer simultanément les publications OIML et celles d'autres institutions.

Les Recommandations Internationales et Documents Internationaux sont publiés en français (F) et en anglais (E) et sont périodiquement soumis à révision.

La présente publication – référence OIML R 62 (F), édition 1985 – placée sous la responsabilité du TC 10/SC 6 *Jauges de contrainte*, a été sanctionnée par la Conférence Internationale de Métrologie Légale en 1984.

Les publications de l'OIML peuvent être obtenues au siège de l'Organisation:

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot - 75009 Paris - France
Téléphone: 33 (0)1 48 78 12 82 et 42 85 27 11
Fax: 33 (0)1 42 82 17 27
E-mail: biml@oiml.org
Internet: www.oiml.org

INTRODUCTION

La présente Recommandation est relative aux extensomètres métalliques à résistance ^(*) du type utilisé pour déterminer les propriétés mécaniques des matériaux, pour analyser les contraintes des structures, et comme capteurs dans divers instruments de mesure.

L'importance du contrôle métrologique des extensomètres réside dans le fait que les Etats peuvent ainsi être assurés de l'exactitude, dans des limites d'incertitude acceptables, des valeurs indiquées des caractéristiques de performance. Il s'agit là d'un objectif difficile à atteindre, étant donné que les essais de performance sur les extensomètres doivent être effectués par échantillonnage.

La Recommandation traite directement de ces sujets et comprend une terminologie, les conditions et méthodes d'essai, les méthodes statistiques devant être utilisées (y compris les critères d'acceptation), les exigences concernant la présentation des données, une méthode de vérification recommandée à l'utilisateur et une bibliographie.

^(*) également appelés « jauges de contraintes » ou, en abrégé dans le texte, « jauges ».

TERMINOLOGIE

Le vocabulaire ci-après a été retenu pour définir sans équivoque les termes propres au domaine des extensomètres. Les autres termes utilisés dans cette Recommandation ont une signification généralement connue. On trouvera en Annexe A une nomenclature propre aux extensomètres.

1. Déformation linéaire

Elongation unitaire provoquée dans une structure soit par un champ de contraintes (déformation mécanique), soit par une variation de température (dilatation).

2. Extensomètre à résistance collé (voir Figure 1)

Capteur fixé sur toute sa longueur à une surface et dont la résistance varie avec la déformation de la surface.

3. Grille (voir Figure 1)

Partie du matériau de l'extensomètre sensible à la déformation et qui est le siège principal des variations de résistance dues à la déformation.

4. Support (voir Figure 1)

Couche de matière électriquement non conductrice et servant de support à la grille. Les deux principales fonctions du support sont de permettre le collage de l'extensomètre sur la structure et de servir d'isolant électrique lorsque la structure est conductrice.

5. Type

Ensemble d'extensomètres nominalement identiques en ce qui concerne leurs caractéristiques physiques et de fabrication.

6. Famille

Ensemble d'extensomètres dont les grilles proviennent d'une même fabrication et ont été soumises aux mêmes traitements mécaniques et thermiques lors de cette fabrication.

7. Lot de fabrication

Ensemble d'extensomètres du même type et de la même famille, fabriqués en série (c'est-à-dire faits au même moment et dans les mêmes conditions).

8. Axe de mesure (voir Figure 1)

Axe parallèle aux lignes de la grille.

9. Facteur de jauge

Rapport entre la variation unitaire de résistance de l'extensomètre, due à une déformation, et le mesurande.

Le facteur de jauge est sans dimension et s'exprime comme suit :

$$K = \frac{R - R_0}{R_0} / \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta R}{R_0} / \epsilon$$

où :

K est le facteur de jauge

R est la résistance de l'extensomètre pour la déformation d'essai

R_0 est la résistance de l'extensomètre pour une déformation nulle ou de référence

L est la longueur de la structure d'essai sous l'extensomètre pour la déformation d'essai

L_0 est la longueur de la structure d'essai sous l'extensomètre pour une déformation nulle ou de référence

ΔR est la variation de résistance de l'extensomètre quand la déformation varie de zéro (ou de la valeur de référence) jusqu'à la valeur d'essai

ε est la déformation mécanique $\frac{L - L_0}{L_0}$

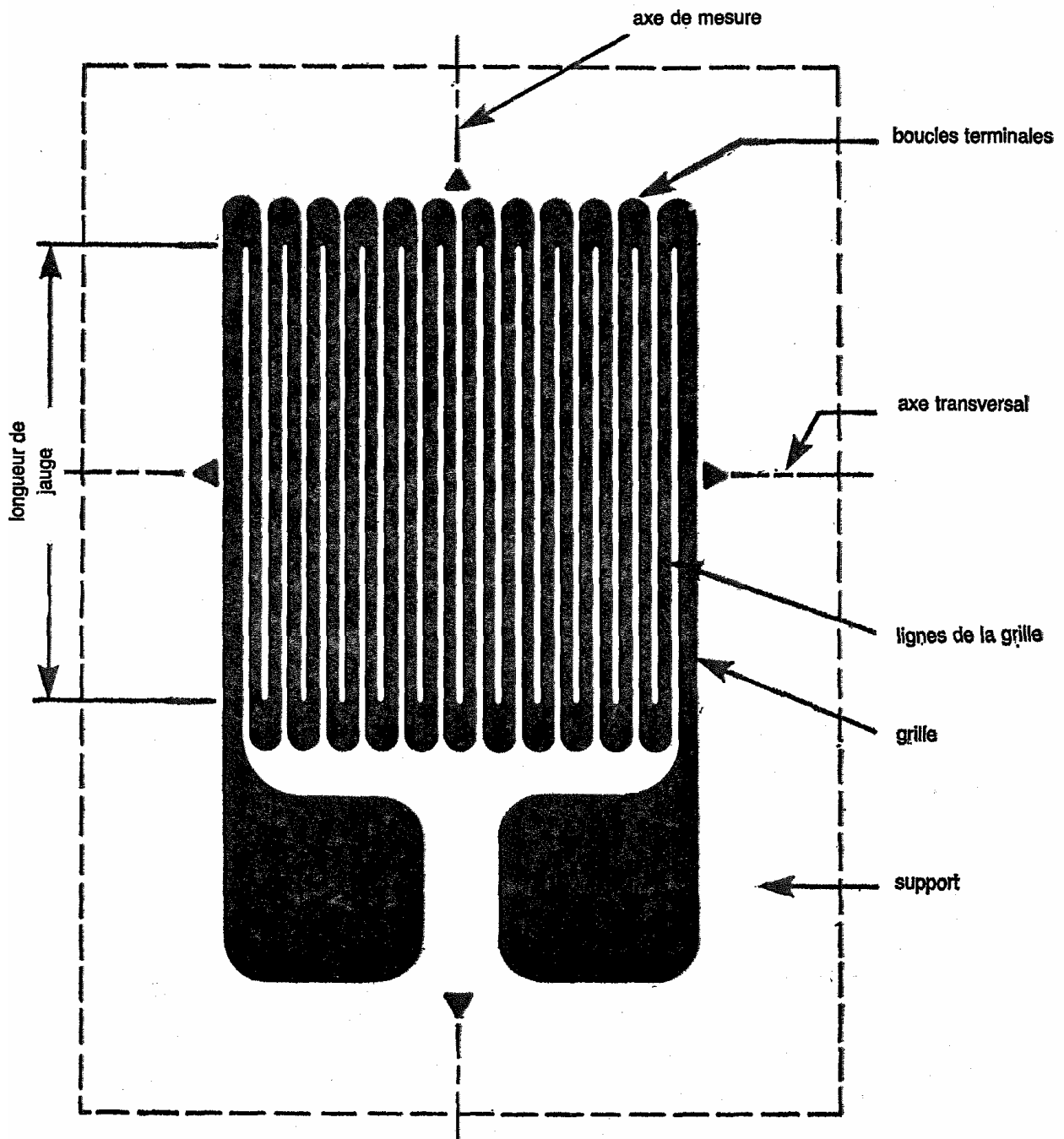


Figure 1. Extensomètre en feuille

10. Longueur de jauge (voir Figure 1)

Longueur de la section sensible à la déformation d'un extensomètre, parallèlement à l'axe de mesure. La longueur de jauge est approximativement la distance délimitée par l'intérieur des boucles terminales de l'extensomètre. Etant donné que la valeur vraie de la longueur de jauge est inconnue, la longueur de jauge peut être mesurée sur la base d'autres paramètres géométriques (par exemple en incluant les boucles terminales) pourvu que la variante soit définie.

11. Axe transversal (voir Figure 1)

Axe de l'extensomètre perpendiculaire à l'axe de mesure.

12. Sensibilité transversale

Rapport exprimé en pour cent de la variation unitaire de résistance de l'extensomètre monté perpendiculairement à un champ de déformation uni-axial (jauge transversale) à la variation unitaire de résistance d'un extensomètre similaire monté parallèlement au même champ de déformation (jauge longitudinale).

13. Dilatation

Changement dimensionnel d'une structure non contrainte, soumise à une variation de température uniforme dans toute sa matière.

14. Effet thermique

Déformation réversible due à la température, indiquée par un extensomètre placé sur une structure d'essai ne faisant l'objet d'aucune contrainte, mais soumise à une variation de température.

15. Coefficient de température du facteur de jauge

Rapport de la variation unitaire du facteur de jauge à la variation de température :

$$\frac{K_{T_1} - K_{T_0}}{K_{T_0}} \cdot \frac{1}{T_1 - T_0}$$

où :

T_1 est la température d'essai

T_0 est la température de référence

K_{T_1} est le facteur de jauge à la température d'essai

K_{T_0} est le facteur de jauge à la température de référence

LISTE ALPHABETIQUE DES TERMES

Axe de mesure	Famille
Axe transversal	Grille
Coefficient de température du facteur de jauge	Longueur de jauge
Déformation linéaire	Lot de fabrication
Dilatation	Sensibilité transversale
Effet thermique	Support
Extensomètre à résistance collé	Type
Facteur de jauge	

CARACTÉRISTIQUES de PERFORMANCE

des EXTENSOMÈTRES MÉTALLIQUES à RÉSISTANCE

1. Domaine d'application

- 1.1. La présente Recommandation traite des extensomètres métalliques à résistance du type utilisé pour déterminer les propriétés mécaniques des matériaux, pour analyser les contraintes des structures, et comme capteurs dans divers instruments de mesure (voir Annexe A).
- 1.2. La Recommandation fixe les prescriptions relatives aux essais et à la manière de spécifier les caractéristiques de performance des extensomètres.
- 1.3. Les essais sur les extensomètres sont normalement faits par échantillonnage, ce qui nécessite l'utilisation de méthodes statistiques pour la présentation et la comparaison des données. Les méthodes applicables sont données dans ce texte.
- 1.4. Les techniques de mise en œuvre par l'utilisateur sont particulièrement critiques vis-à-vis des performances de ces instruments. En conséquence, la Recommandation suggère des méthodes pour évaluer les techniques de mise en œuvre par l'utilisateur et pour vérifier les valeurs de sensibilité des extensomètres indiquées par le fournisseur.

2. Principes de la Recommandation

- 2.1. Les extensomètres font partie d'un ensemble complexe qui comprend la structure, l'adhésif, la jauge, le câblage, l'instrumentation et (souvent) une protection vis-à-vis de l'environnement. De nombreux facteurs peuvent ainsi avoir une influence sur le fonctionnement des extensomètres, y compris la technique de mise en œuvre par l'utilisateur. Une autre complication découle du fait qu'un extensomètre mis en place ne peut généralement pas être réutilisé ailleurs, de sorte que les caractéristiques d'une jauge ne peuvent être indiquées que sur une base statistique.
- 2.2. La présente Recommandation stipule que les caractéristiques de performance importantes des extensomètres métalliques à résistance doivent être spécifiées et que les valeurs spécifiées de ces caractéristiques doivent être accompagnées de valeurs d'incertitude correctement indiquées, découlant de procédures statistiques admises.
- 2.3. La présente Recommandation fixe une manière uniforme de détermination des caractéristiques des extensomètres métalliques à résistance qui sont soumis aux contrôles métrologiques. Des références sont données en Annexe D.

3. Caractéristiques

- 3.1. Les caractéristiques suivantes des extensomètres doivent être spécifiées :
 - a) résistance,
 - b) facteur de jauge,
 - c) sensibilité transversale,
 - d) coefficient de température du facteur de jauge,
 - e) effet thermique.

- 3.1.1. L'incertitude globale sur les caractéristiques de jauge 3.1.a à 3.1.e doit être indiquée avec un niveau de confiance d'au moins 95,5 % (c'est-à-dire au moins deux écarts types).
- 3.1.2. La valeur de la résistance de chaque extensomètre, à la température de référence de 23 °C, doit être mesurée et indiquée. On peut également grouper en jeux (4, 5 ou 10 par exemple) des extensomètres d'un même lot de fabrication, et dont les résistances ont des valeurs proches. Dans ce cas, pour chaque jeu, la valeur nominale de la résistance doit être indiquée ainsi que l'incertitude globale.
- 3.1.3. Les caractéristiques 3.1.b à 3.1.e sont déterminées sur des extensomètres non réutilisables et en conséquence les données doivent être traitées statistiquement.
- 3.2. Tous les extensomètres conditionnés en jeux doivent être identiques en ce qui concerne la désignation du fabricant des jauges.

4. Exigences d'essais

4.1. Exigences générales d'environnement

4.1.1. Conditions ambiantes à la température du laboratoire

La température et l'humidité relative nominales doivent être respectivement 23 °C et 50 %. En aucun cas, la température ne doit être inférieure à 18 °C ni supérieure à 25 °C, ni l'humidité relative inférieure à 35 % ni supérieure à 60 %. Pendant les essais d'une jauge à la température du laboratoire, les variations ne doivent pas dépasser ± 2 °C et ± 5 % HR.

4.1.2. Conditions ambiantes aux températures hautes et basses

L'erreur d'ajustage de température ne doit pas être supérieure à la plus grande de ces deux valeurs : ± 2 °C ou ± 2 % de la différence par rapport à la température du laboratoire. L'incertitude totale sur la température ne doit pas dépasser la plus grande de ces valeurs : ± 2 °C ou ± 1 % de la différence par rapport à la température du laboratoire.

Aux températures élevées, le rapport du mélange humide doit rester constant, c'est-à-dire indépendant de la température, à une valeur nominale de 0,009 g d'eau par 1 g d'air à la pression de 1 bar. Cette valeur correspond à une humidité relative de 50 % à 23 °C.

Note : ce rapport du mélange humide indépendant de la température peut être obtenu grâce à un four ouvert sur une atmosphère satisfaisant aux conditions du point 4.1.1.

4.2. Exigences concernant les mesurages d'essai

4.2.1. Mesurages électriques

4.2.1.1. L'incertitude sur le mesurage de la résistance de l'extensomètre (points 3.1.a et 3.1.2) doit être inférieure à $\pm 0,1$ %. Les résultats de mesurages répétés doivent se situer dans une étendue ne dépassant pas $\pm 0,04$ % de la valeur mesurée. L'influence du courant de mesurage sur l'extensomètre ne doit pas être supérieure à $\pm 0,1$ % de la valeur de la résistance.

4.2.1.2. Lors de la détermination du facteur de jauge (point 3.1.b), l'incertitude sur le mesurage de la variation relative de la résistance ne doit pas dépasser la plus grande de ces deux valeurs : ± 2 $\mu\Omega/\Omega$ ou $\pm 0,1$ % de la valeur vraie. Pour la sensibilité transversale, le coefficient de température du facteur de jauge et l'effet thermique (points 3.1.c, d et e), cette incertitude ne doit pas dépasser la plus grande de ces deux valeurs : ± 5 $\mu\Omega/\Omega$ ou $\pm 0,1$ % de la valeur vraie.

4.2.2. Mesurages mécaniques

4.2.2.1. Si l'influence de la planéité de l'extensomètre sur le mesurage de résistance (point 4.2.1.1) dépasse $\pm 0,1$ % de la valeur vraie, la jauge doit être appliquée contre une surface pratiquement plane à l'aide d'un dispositif de pression convenable.

- 4.2.2.2. La détermination du facteur de jauge K (point 3.1.b), nécessite un équipement mécanique consistant en une structure d'essai et un dispositif de charge capable de produire dans la structure d'essai une contrainte uni-axiale uniforme correspondant à des valeurs nominales de déformation moyenne principale de $0, \pm 1\ 000$ et $\pm 1\ 100\ \mu\text{m/m}$. Le coefficient de Poisson de la structure d'essai doit être égal à $0,28 \pm 0,01$ sinon les corrections appropriées doivent être effectuées. La déformation moyenne principale ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 50\ \mu\text{m/m}$ de la valeur nominale. La déformation aux différents emplacements de jauge ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 0,5\ \%$ de la valeur moyenne et la déformation à un emplacement de jauge ne doit pas varier de plus de $\pm 0,5\ \%$ de la valeur nominale. L'incertitude sur le mesurage de la déformation moyenne doit être inférieure à la plus grande de ces deux valeurs : $\pm 2\ \mu\text{m/m}$ ou $\pm 0,2\ \%$ de la valeur vraie.
- 4.2.2.3. La détermination de la sensibilité transversale (point 3.1.c) nécessite un équipement mécanique permettant de produire des déformations uni-axiales uniformes de $0, 1\ 000$ et $1\ 100\ \mu\text{m/m}$ dans la direction longitudinale de la structure. L'erreur d'ajustage doit être inférieure à $\pm 50\ \mu\text{m/m}$. La déformation aux différents emplacements de jauge ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 2\ \%$ de la déformation vraie dans la direction longitudinale de la structure, ni de plus de $\pm 5\ \mu\text{m/m}$ dans la direction transversale. L'incertitude sur la déformation ne doit pas être supérieure à $\pm 10\ \mu\text{m/m}$ dans la direction longitudinale de la structure ni à $\pm 1\ \mu\text{m/m}$ dans la direction transversale.
- 4.2.2.4. La détermination du coefficient de température du facteur de jauge (point 3.1.d) nécessite un équipement consistant en une structure d'essai, un dispositif de charge et un four destiné à produire les températures désirées. Il doit être possible d'ajuster la déformation de la structure à des valeurs moyennes de 0 et $+ 1\ 000\ \mu\text{m/m}$. Il est souhaitable qu'une déformation de $- 1\ 000\ \mu\text{m/m}$ puisse aussi être produite. A la place d'une déformation de référence égale à 0 , une petite pré-déformation comprise entre 20 et $100\ \mu\text{m/m}$ peut être utilisée. L'erreur d'ajustage ne doit pas dépasser $\pm 50\ \mu\text{m/m}$. L'incertitude sur la déformation moyenne doit être inférieure à $\pm 5\ \mu\text{m/m}$. La déformation aux différents emplacements de jauge ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 2\ \%$ de la déformation vraie et la déformation à un emplacement de jauge ne doit pas varier de plus de $\pm 2\ \%$ de la valeur nominale.
- 4.2.2.5. La détermination de l'effet thermique (point 3.1e) nécessite une structure d'essai. Elle doit avoir subi un traitement thermique correct et doit être libre de contraintes résiduelles. Ses dimensions et en particulier son épaisseur doivent être suffisantes pour éviter toute distorsion et hystérésis thermique supérieures à $\pm 5\ \mu\text{m/m}$ pour une différence de température de $100\ ^\circ\text{C}$. Cela est valable dans toute l'étendue de température pour laquelle l'effet thermique doit être déterminé. Si cette étendue de température est inférieure à $100\ ^\circ\text{C}$, les exigences sont celles qui s'appliquent à une valeur minimale de $100\ ^\circ\text{C}$. La dilatation de la structure doit être connue dans toute l'étendue de température avec une incertitude inférieure à $\pm 0,2\ (\mu\text{m/m})\cdot^\circ\text{C}^{-1}$. Si nécessaire, la dilatation doit être déterminée en utilisant un dilatomètre et la structure d'essai elle-même, ou une éprouvette fabriquée avec le même matériau que la structure d'essai.

4.3. Exigences concernant les procédures d'essai

Afin de définir complètement les caractéristiques de performance des exten-somètres, quelques exigences sur les procédures d'essai sont nécessaires.

4.3.1. Exigences concernant le stockage et la fixation

4.3.1.1. Les extensomètres non emballés choisis pour l'essai sont stockés dans les conditions ambiantes décrites au point 4.1.1 pendant au moins 72 heures avant d'être fixés sur la structure d'essai ou avant et pendant le mesurage de résistance.

4.3.1.2. Les conditions de fixation correspondent exactement aux instructions données par le constructeur de la jauge.

4.3.1.3. Dans la mesure du possible, les structures d'essai auxquelles ont été fixés les extensomètres destinés à subir les essais de facteur de jauge, sensibilité transversale et coefficient de température du facteur de jauge (points 3.1.b, c et d), sont stockées dans les conditions ambiantes décrites au point 4.1.1 pendant au moins 72 heures avant les essais. Pour la détermination de l'effet thermique (point 3.1e) un stockage dans un dessiccateur au-dessus d'un gel de silice ou de P_2O_5 est recommandé.

4.3.2. Mesurages

4.3.2.1. Pour le mesurage de la résistance (point 3.1.a), il n'y a pas d'exigences particulières.

4.3.2.2. Pour la détermination du facteur de jauge (point 3.1.b), les extensomètres soumis à l'essai sont pré-déformés à trois reprises suivant des cycles de déformation semblables à ceux utilisés pour le mesurage, mais avec des niveaux maximum de déformation supérieurs d'environ 10 %. Ainsi, le cycle de charge est, en valeurs nominales, de :

0, + 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, - 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$,
+ 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, - 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$,
+ 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, - 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$,
0, + 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0, - 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0.

Si possible, une moitié de l'échantillon est soumise à ces déformations et l'autre moitié à des déformations de même amplitude mais de signe opposé. Le facteur de jauge est déterminé à partir de la pente de la droite passant par les points de mesure à + 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$ et - 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Bien que cela soit moins souhaitable, on peut aussi utiliser les cycles de déformation suivants :

0, + 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0, + 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$,
0, + 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0, + 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0

pour une moitié de l'échantillon

et les cycles de déformation suivants :

0, - 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0, - 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$,
0, - 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0, - 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0

pour l'autre moitié de l'échantillon.

Le facteur de jauge est déterminé à partir de la moyenne de pente des droites passant par les points de mesure à 0 et + 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$ et 0 et - 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Si les procédures ci-dessus sont impossibles, on peut appliquer à l'échantillon complet une déformation allant dans une seule des deux directions.

Quand des cycles de déformation autres que ceux décrits dans la première méthode de ce point sont utilisés, il faut décrire les différences. Pour un essai de vérification simple, voir Annexe C.

4.3.2.3. Pour la détermination de la sensibilité transversale (point 3.1.e) les extensomètres soumis à l'essai sont pré-déformés à trois reprises avec une déformation transversale maximale de 1 100 $\mu\text{m}/\text{m}$; ensuite on applique une déformation d'essai de 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$. La sensibilité transversale est déterminée à partir de la pente de la droite passant par les points de mesure à 0 et 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$.

4.3.2.4. Pour la détermination du coefficient de température du facteur de jauge (point 3.1.d), l'équipement est pré-déformé trois fois, à la température du laboratoire, jusqu'à une déformation maximale de + 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour une moitié de l'échantillon et de - 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour l'autre moitié de l'échantillon. La température d'essai est ensuite ajustée et, une fois l'équilibre thermique obtenu, le cycle de déformation 0, 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$, 0 est appliqué en vue du mesurage. Le coefficient de température est calculé à partir de la pente de la droite passant par les points de mesure à 0 et \pm 1 000 $\mu\text{m}/\text{m}$, la valeur de la température du laboratoire étant prise comme température de référence. Si une petite pré-déformation est utilisée, les calculs sont corrigés en conséquence.

4.3.2.5. Pour la détermination de l'effet thermique (point 3.1.e), les structures d'essai sur lesquelles sont fixés les extensomètres sont chauffées jusqu'à la limite supérieure de l'étendue de température. Au fur et à mesure que la température décroît, par palier ou de manière continue mais avec un équilibre thermique suffisant et sans oxydation perceptible, l'indication de déformation en fonction de la température est mesurée. Au moins cinq mesures doivent être faites dans toute l'étendue de température :

- entre 0 et 100 °C, à des intervalles de température d'environ 20 °C, avec un maximum de 30 °C (en gros 5 mesurages par 100 °C),
- au-dessus de 100 °C et en-dessous de 0 °C, à des intervalles d'environ 25 °C avec un maximum de 40 °C (au moins 5 mesurages par 200 °C).

Davantage de mesures sont effectuées si l'effet thermique change rapidement.

Les conditions ambiantes doivent être conformes à celles indiquées au point 4.1.2. et le matériau constituant la structure d'essai (point 4.2.2.5) doit être particulièrement bien caractérisé : on doit connaître au moins le coefficient linéaire de dilatation et la partie non linéaire de la dilatation. Si les extensomètres sont d'un modèle auto-compensé, le coefficient de dilatation pour lequel ces extensomètres sont compensés doit être indiqué.

5. Interprétation des données et méthodes statistiques

Etant donné qu'on ne peut en général pas réutiliser les extensomètres qui ont été utilisés pour déterminer les valeurs de leurs caractéristiques de performance, on utilise les informations obtenues sur un échantillon d'extensomètres pour estimer les valeurs des mêmes caractéristiques de toutes les autres jauges du même lot de fabrication. Les méthodes statistiques bien connues peuvent être utilisées pour faire ces estimations et pour déterminer les incertitudes associées aux valeurs trouvées. Ces méthodes exigent que les essais soient faits sur un échantillon pris au hasard dans le lot, et supposent en général que les résultats des essais ont une distribution normale (gaussienne). Lors de la vérification des valeurs indiquées, il sera supposé que ces valeurs indiquées sont équivalentes à celles qui auraient été obtenues à partir d'un échantillon de 30 jauges et que les erreurs systématiques sur ces valeurs indiquées sont négligeables ou ont été corrigées.

Pour chaque caractéristique à vérifier, un échantillon d'extensomètres doit être soumis aux essais selon les procédures indiquées au point 4. L'échantillon de contrôle consistera en au moins 5 extensomètres, bien qu'il soit préférable d'avoir un échantillon d'au moins 10 jauges. On fera la moyenne des résultats des divers essais faits sur une même jauge et ces valeurs moyennes seront utilisées dans les calculs ci-après afin de déterminer si la valeur moyenne de la caractéristique de l'échantillon de contrôle, ou sa variabilité, diffère des valeurs indiquées, avec un niveau de confiance de 95 %.

Un test bilatéral de Student est utilisé pour comparer la déclaration du constructeur relative à la valeur d'une certaine caractéristique, V_R , lue sur l'emballage de la jauge, et la valeur moyenne obtenue à partir des essais de contrôle, V_C . On prend pour écart-type de la valeur indiquée, S_R , la valeur $T_R/2$ où T_R est la tolérance indiquée sur l'emballage. L'écart-type de la valeur de contrôle, S_C , est calculé à partir de données résultant de l'essai de contrôle en utilisant la formule classique :

$$S_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

où :

X_i est la valeur moyenne pour la $i^{\text{ème}}$ jauge

\bar{X} est la valeur moyenne pour toutes les jauges de l'échantillon de contrôle

n est le nombre de jauges dans l'échantillon de contrôle

La valeur indiquée par le constructeur, V_R , est considérée comme correcte si :

$$|V_R - V_C| \leq t \cdot \sqrt{\left[\frac{29 S_R^2 + (n-1) S_C^2}{28+n} \right]} \times \left[\frac{30+n}{30n} \right] + e_s \quad (2)$$

où :

t est la valeur correspondant à n dans le Tableau 1

e_s est l'estimation de l'erreur systématique pour la valeur de contrôle, V_C .

Un test bilatéral (test à deux queues) est utilisé pour comparer la variabilité indiquée sur les jauges et la variabilité de l'échantillon de contrôle. La tolérance indiquée, T_R , doit être considérée comme correcte si :

$$A \leq (S_R^2 / S_C^2) \leq B \quad (3)$$

où :

$$S_R = T_R/2$$

S_C est l'écart-type de l'échantillon de contrôle

A et B sont les valeurs du Tableau 1 correspondant au nombre n de jauges dans l'échantillon de contrôle.

Un exemple est présenté en Annexe B.

Tableau 1. Valeurs utilisées pour comparer les valeurs indiquées et les valeurs de contrôle d'une caractéristique de performance moyenne d'un extensomètre et leur variabilité

Nombre de jauges dans l'échantillon de contrôle n	Facteurs permettant de comparer les valeurs moyennes (*) t	Valeurs pour comparer la variabilité (**)	
		A	B
5	2,036	0,306	8,47
10	2,025	0,386	3,57
15	2,018	0,424	2,74
20	2,013	0,448	2,40
30	2,002	0,476	2,10

6. Présentation des indications

6.1. Les indications suivantes, au minimum, doivent être fournies dans l'emballage scellé qui contient les extensomètres :

- a) type de jauge,
- b) identification numérique de la famille,
- c) identification numérique du lot de fabrication,

(*) Obtenu par interpolation pour $t_{0,975}$ à partir d'une table de centiles de la distribution de Student en supposant que S_R a été établi sur la base d'un échantillon de 30.

(**) Obtenu par interpolation à partir d'une table de centiles de la distribution de Fisher pour $F_{0,975}$ en supposant que S_R a été établi sur la base d'un échantillon de 30.

- d) résistance de jauge avec incertitude,
- e) facteur de jauge avec incertitude,
- f) sensibilité transversale avec incertitude,
- g) coefficient de température du facteur de jauge, dans toute l'étendue de température recommandée, à exprimer soit graphiquement, soit numériquement, avec incertitude,
- h) effet thermique en fonction de la température à exprimer soit graphiquement, soit numériquement, avec incertitude. Les données numériques ou le graphique représentant l'effet thermique doivent indiquer si l'essai a été effectué à certains paliers de température stable ou avec une variation continue mais uniforme de la température et un enregistrement des données.

Les indications d, e et f doivent être accompagnées par les indications de température et d'humidité relative en cours d'essai.

6.2. Un modèle de présentation des indications, graphique ou numérique, est donné ci-dessous :

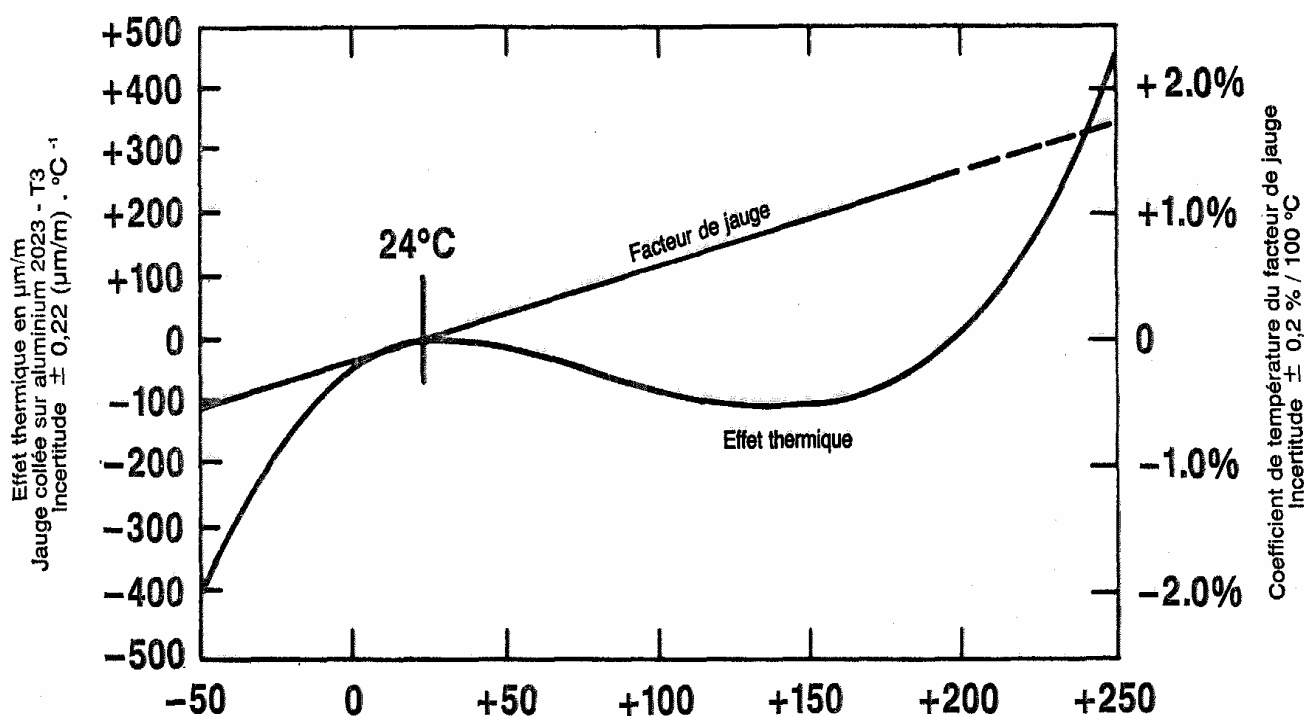
EXEMPLE D'INDICATIONS CONTENUES DANS L'EMPAQUETAGE

TYPE DE JAUGE : RXL-25PB-8764
 FAMILLE : 36D91L
 LOT DE FABRICATION : 6143

CARACTERISTIQUES	VALEURS
1. Résistance de jauge à 24 °C et 50 % RH	350 Ω ± 0,2 %
2. Facteur de jauge à 24 °C et 50 % RH	2,05 ± 1 %
3. Sensibilité transversale à 24 °C et 50 % RH	(- 0,6 ± 0,2) %
4. Coefficient de température du facteur de jauge (si exprimé numériquement)	(+ 0,9 ± 0,2) % /100 °C (*)
5. Effet thermique en µm/m par rapport à la température en °C (si exprimé numériquement). Jauge collée sur aluminium 2023-T3. Variation continue pour température et données	- 45,1 + 3,32 T - 6,76 · 10 ⁻² T ² + 3,20 · 10 ⁻⁴ T ³ - 2,86 · 10 ⁻⁷ T ⁴ µm/m ± 0,22 (µm/m) · °C ⁻¹ (*)

(*) voir figure ci-après pour une présentation graphique.

Indications 4 et 5 (présentées graphiquement)



6.3. La désignation utilisée pour le type de jauge doit être unique de telle manière que, à partir de la documentation, les paramètres suivants puissent être déterminés :

- géométrie de l'extensomètre,
- type de l'alliage sensible aux déformations,
- type du matériau utilisé pour le support, le cas échéant,
- taille approximative du support,
- type des conducteurs, connexions, points de soudure et autres caractéristiques facultatives, le cas échéant,
- coefficient de dilatation du matériau pour lequel l'extensomètre fournit un effet thermique compensé minimal, le cas échéant.

En supplément, on doit conserver les informations sur l'équipement, les procédures et les résultats d'essai et sur les données résultant des essais et utilisées pour indiquer les caractéristiques de l'extensomètre. Ces informations doivent être disponibles sur demande.

7. Assujettissement aux contrôles de métrologie légale

La présente Recommandation fixe les caractéristiques de performance des extensomètres métalliques à résistance qui doivent être spécifiées et les méthodes de leur détermination. Les Etats peuvent, par leur réglementation, imposer des contrôles métrologiques destinés à vérifier que les valeurs indiquées des caractéristiques satisfont aux prescriptions de la Recommandation et ont, pour chaque caractéristique, la valeur fixée dans des limites acceptables d'incertitude. De tels contrôles, lorsqu'ils sont obligatoires, peuvent inclure l'essai de modèle et la vérification primitive.

**ANNEXE A
REALISATION DES JAUGES**

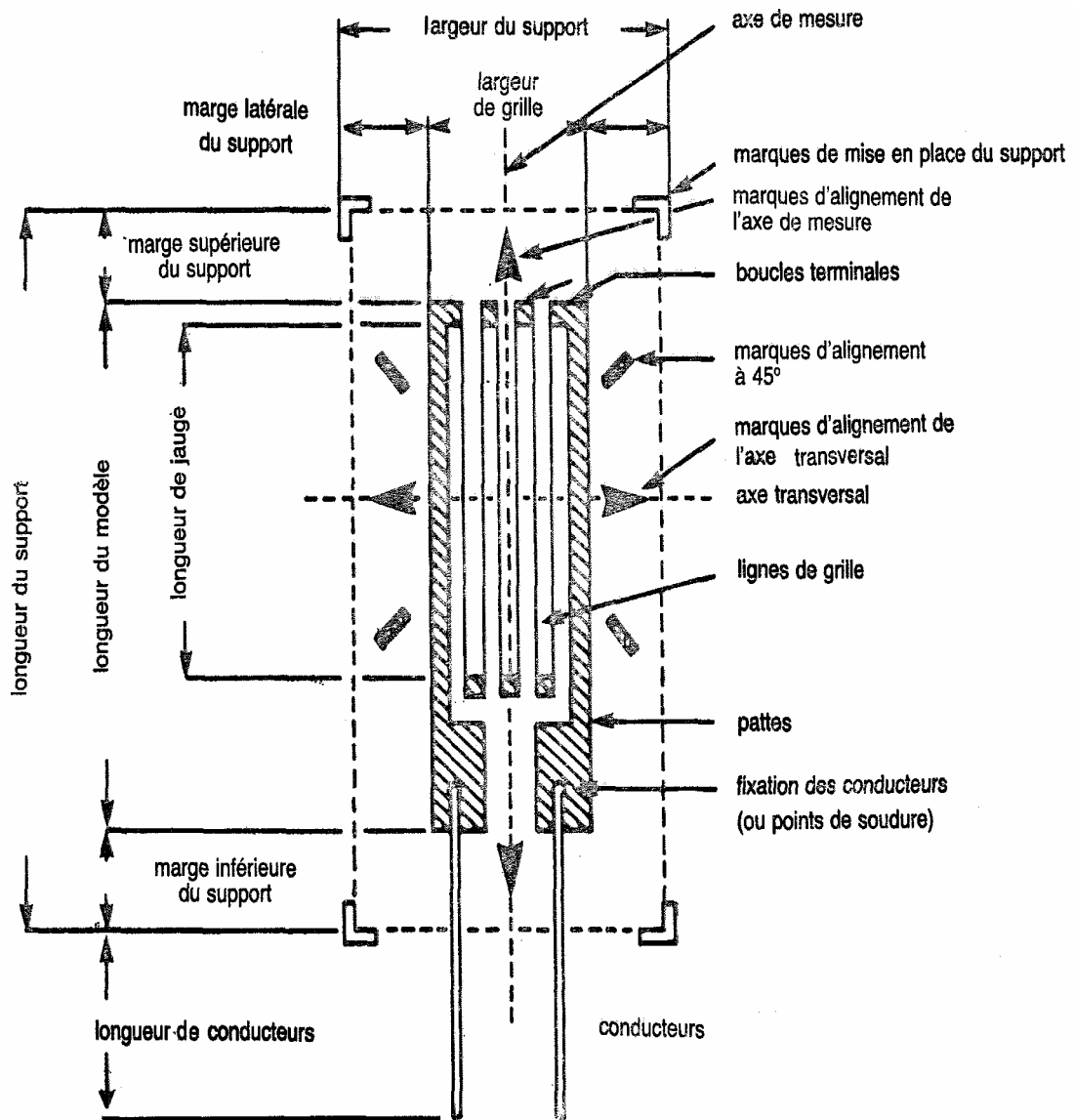


Figure 2. Extensomètre en feuille

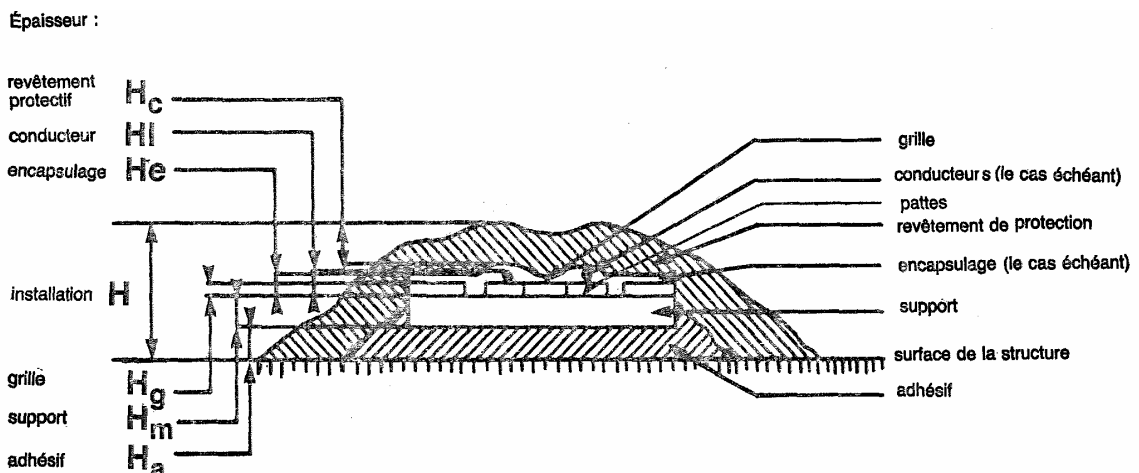


Figure 3. Installation d'un extensomètre
Ecart entre la grille et la surface de la structure :

$$H_d = H_a + H_m + 1/2 H_g$$

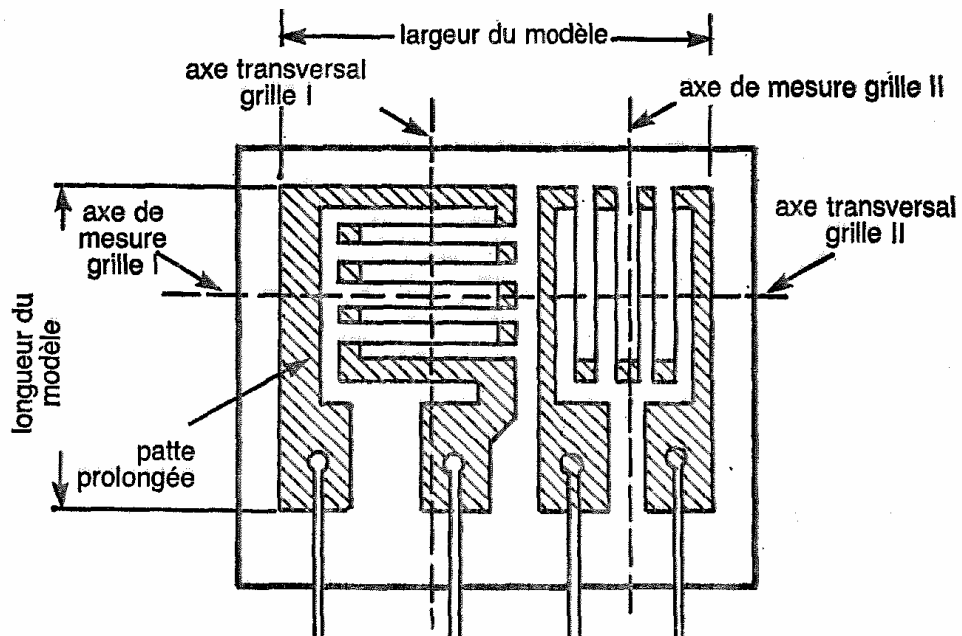


Figure 4. Extensomètre multi-grille.

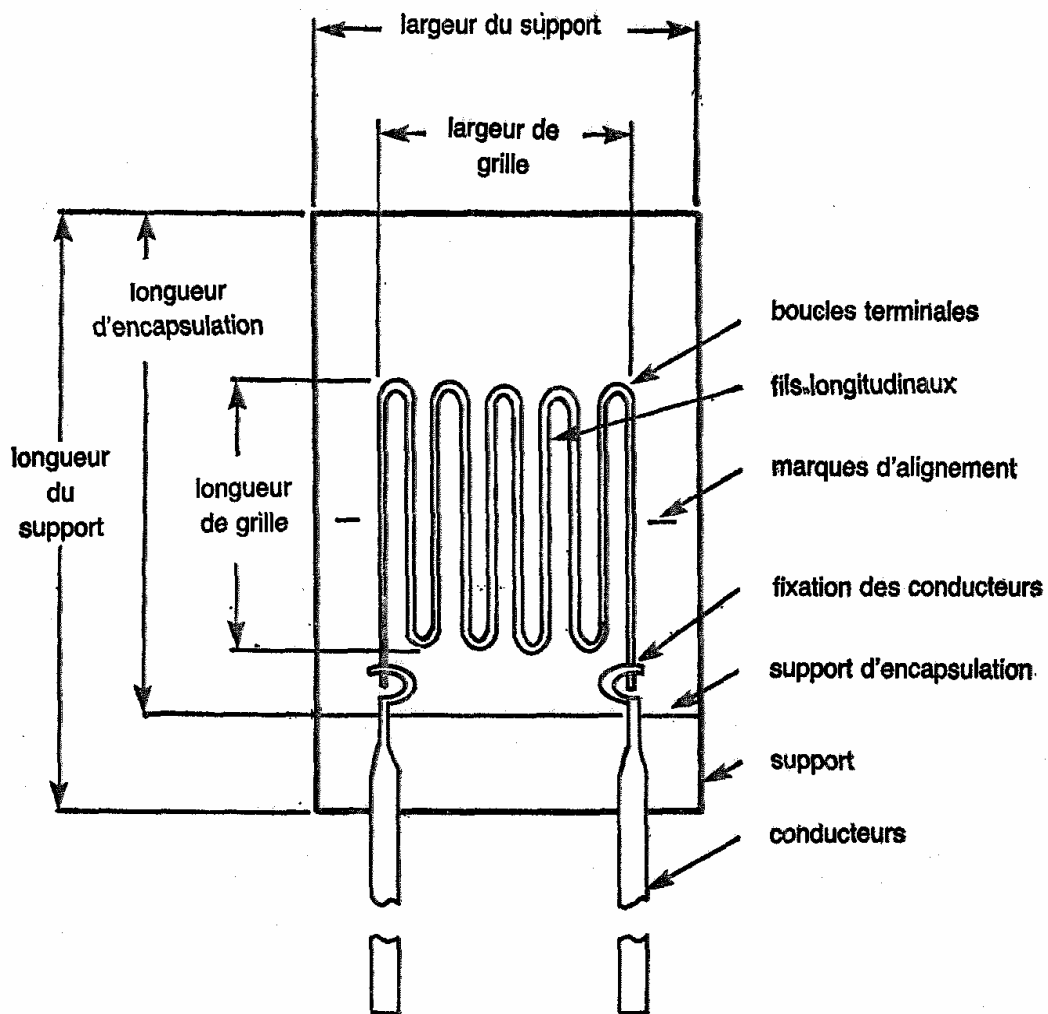


Figure 5. Extensomètre à fil

ANNEXE B

COMPARAISON entre les VALEURS INDIQUEES et les VALEURS de CONTROLE

EXEMPLE

L'exemple ci-après est donné afin de montrer comment les valeurs et les tolérances fournies à l'occasion d'une livraison d'extensomètres peuvent être comparées aux valeurs obtenues à partir d'un échantillon essayé par le laboratoire de contrôle, dans le but de déterminer si les valeurs indiquées représentent correctement les jauges livrées. Le facteur de jauge, K , est la caractéristique utilisée dans cet exemple mais on pourrait faire de même pour toutes les autres caractéristiques.

B.1. On suppose que la valeur du facteur de jauge fournie avec les jauges est égale à $2,024 \pm 0,5 \%$, indication donnée conformément à la présente Recommandation.

B.2. On choisit au hasard, dans la livraison, un échantillon de 10 jauges.

B.3. Les jauges de l'échantillon sont essayées conformément à la procédure indiquée au point 4. Chaque jauge est essayée à la fois en extension et en compression. Le plan d'essai (Tableau B.1) indique le même nombre de points de données pour chaque direction de charge.

B.4. Les résultats des essais sont présentés sous forme de tableau, comme indiqué dans le Tableau B.1. Noter que les valeurs données dans ce tableau ont été obtenues en utilisant des nombres au hasard et peuvent ne pas être représentatives des données réelles provenant d'extensomètres.

B.5. Un facteur de jauge moyen, K_i , est calculé pour chaque jauge essayée. Les valeurs moyennes sont utilisées dans les calculs ultérieurs étant donné que ce sont les performances des jauges qui présentent de l'intérêt et non pas les effets de la procédure d'essai. La valeur moyenne est la meilleure estimation du facteur de jauge pour une jauge particulière. Ces valeurs moyennes sont indiquées dans le Tableau B.1.

B.6. Un facteur de jauge moyen pour l'échantillon, K_C , est calculé :

$$K_C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i$$

Cette valeur est indiquée dans le Tableau B.1.

B.7. Une estimation de l'écart-type pour l'échantillon, S_e , est calculée selon l'expression :

$$S_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - K_C)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Cette valeur est indiquée dans le Tableau B.1.

B.8. Une estimation de l'erreur systématique sur K_C est faite à partir des caractéristiques des instruments, de l'appareillage d'essai, des procédures d'essai, des opérateurs, etc. Cette estimation dépend de l'expérience du laboratoire. Il faut noter que cela n'inclut pas les effets systématiques pour lesquels des corrections ont été effectuées, par exemple corrections d'étalonnage de l'instrument. Dans cet exemple cette erreur systématique, e_s , est estimée à 0,05 %.

B.9. La valeur de facteur de jauge obtenue à partir de (1), K_C , est comparée à la valeur fournie avec les jauges, K_R , en utilisant l'équation :

$$|K_R - K_C| \stackrel{?}{\leq} t \sqrt{\left[\frac{29 S_R^2 + (n-1) S_C^2}{28+n} \right] \left[\frac{30+n}{30n} \right]} + e_s \quad (3)$$

L'utilisation des valeurs tirées du Tableau B.1 donne pour cette équation :

$$|2,024 - 2,020| \stackrel{?}{\leq} 2,025 \sqrt{\left[\frac{29 \times 0,0051^2 + 9 \times 0,0064^2}{38} \right] \left[\frac{40}{300} \right]} + 0,001$$

$$0,004 \leq 0,005$$

Etant donné que cette relation est vraie, il n'y a pas de raison de croire que les deux valeurs diffèrent à un niveau de confiance de 95 % ; la valeur de K_R est en conséquence vérifiée.

B.10. La variabilité de l'échantillon est comparée à la tolérance fournie avec les jauges en utilisant l'équation (3) du point 5, c'est-à-dire :

$$A \stackrel{?}{\leq} (S_R^2 / S_C^2) \stackrel{?}{\leq} B$$

L'utilisation dans cette équation des valeurs tirées du Tableau 1 (point 5) donne :

$$0,386 \leq \left[\frac{0,0051^2}{0,0064^2} = 0,635 \right] \leq 3,57$$

Etant donné que cette relation est vraie, il n'y a pas de raison de croire que les variabilités diffèrent à un niveau de confiance de 95 % ; la valeur de T_R est en conséquence vérifiée.

TABLEAU B.1

Jauges impaires — Essais 1, 2 et 3 en traction ; essais 4 et 5 en compression
 Jauges paires — Essais 1, 2 et 3 en compression ; essais 4 et 5 en traction

JAUGE n°	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4	ESSAI 5	MOYENNE K_i	$K_i - K_c$	$(K_i - K_c)^2$
1	2,039	2,040	2,012	2,040	2,005	2,027	+ ,0068	4,624 × 10 ⁻⁵
2	2,008	2,015	2,013	2,022	2,019	2,015	- ,0052	2,704 × 10 ⁻⁵
3	2,038	2,039	2,001	2,040	2,000	2,024	+ ,0038	1,444 × 10 ⁻⁵
4	2,002	2,014	2,036	2,003	2,005	2,012	- ,0082	6,724 × 10 ⁻⁵
5	2,013	2,022	2,027	2,037	2,048	2,029	+ ,0088	7,744 × 10 ⁻⁵
6	2,000	2,021	2,046	2,008	2,034	2,022	+ ,0018	0,324 × 10 ⁻⁵
7	2,007	2,027	2,004	2,039	2,011	2,018	- ,0022	0,484 × 10 ⁻⁵
8	2,047	2,005	2,047	2,001	2,028	2,026	+ ,0058	3,364 × 10 ⁻⁵
9	2,013	2,008	2,007	2,015	2,011	2,011	- ,0092	8,464 × 10 ⁻⁵
10	2,005	2,010	2,036	2,003	2,034	2,018	- ,0022	0,484 × 10 ⁻⁵
						20,202		36,36 × 10 ⁻⁵

Valeurs indiquées (sur l'emballage) :

$$K_R = 2,024$$

$$S_R = \frac{T_R}{2} = \frac{0,005 \cdot 2,024}{2} = 0,0051$$

Valeurs de contrôle (calculées) :

$$K_C = \frac{\Sigma K_i}{n} = \frac{20,202}{10} = 2,0202 \quad (1)$$

$$S_C = \sqrt{\frac{\Sigma (K_i - K_C)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3,636 \cdot 10^{-4}}{9}} = 0,0064 \quad (2)$$

$$e_s = 0,0005 K_C = 0,0010$$

ANNEXE C

METHODE RECOMMANDEE à l'UTILISATEUR pour l'ESSAI d'une JAUGE

C.1. Résumé de la méthode

Beaucoup d'utilisations des extensomètres font intervenir des conditions d'environnement et autre qui rendent difficile la détermination des caractéristiques d'un extensomètre au cours d'un essai réel. Dans ce cas, il est souvent recommandé de vérifier un échantillon de jauges sur un banc d'essai dont les conditions sont semblables à celles de l'utilisation attendue. Un tel essai est souvent réalisé. Dans d'autres cas, la comparaison dans des conditions contrôlées des performances de la jauge avec des jauges étalonnées fournit les meilleures indications sur la qualité des jauges achetées en même temps que sur la compétence de l'utilisateur à réaliser des installations d'extensomètres convenables.

La procédure suggérée ci-après a été établie afin de permettre cette comparaison et de servir de procédure d'assurance de qualité, tant pour les extensomètres achetés que pour la qualification de l'installateur.

L'essai consiste à comparer l'extensomètre à essayer avec une jauge étalon de référence en utilisant une barre d'essai (cantilever ou poutre encastrée) de bonne qualité mais simple et bon marché. Un chargement par poids permet d'assurer la répétabilité.

C.2. Appareillage

L'équipement à utiliser est montré en Figure 6. La barre d'essai montrée en Figure 7 est reconnue comme ayant un fonctionnement correct pour la procédure d'essai décrite. Les barres d'essai sont encastrées dans le châssis, comme indiqué sur la Figure, et chargées en extrémité. Le chargement est effectué à l'aide de poids produisant une déformation unitaire d'environ $1\ 000\ \mu\text{m}/\text{m}$ à l'emplacement de la jauge. Notons que la poutre décrite produit une contrainte variant linéairement le long de sa surface lorsqu'elle est chargée.

Chaque poutre doit comporter un extensomètre de référence. Le facteur d'étalonnage et l'incertitude résultant de la combinaison jauge-poutre doivent être connus.

C.3. Procédure

La jauge à essayer est collée sur la poutre d'acier, en alignement avec les marques, comme indiqué sur la Figure 7. L'alignement doit être précis et les techniques de collage utilisées doivent être aussi proches que possible de celles que l'on utilise pour un essai sur le lieu d'utilisation.

Le facteur de jauge à la température du laboratoire est déterminé en comparant les données de la jauge à essayer et celles de la jauge étalon, avec et sans charge. Des corrections doivent être introduites pour tenir compte d'un mauvais alignement de la jauge, ainsi que de l'épaisseur de l'installation.

Note : aucune correction n'est nécessaire en ce qui concerne la jauge étalon, si elle a été correctement étalonnée.

Les jauges peuvent être essayées à la fois en traction et en compression, simplement en retournant la poutre dans l'installation d'essai. Le facteur de jauge des jauges à essayer doit rester dans les limites des tolérances indiquées par le constructeur, après que l'on ait tenu compte des erreurs et de l'incertitude résultant de l'installation d'essai de l'utilisateur.

En utilisant les méthodes statistiques décrites au point 6 et à l'Annexe B, les données sont réduites et comparées avec les résultats attendus. Il faut se rappeler que cette manière très simple de faire un essai entraîne par beaucoup de ses aspects des incertitudes et qu'il n'est pas possible de s'attendre à une précision comparable à celle des équipements les plus précis utilisés pour déterminer le facteur de jauge. Par une utilisation aussi soignée que possible, on peut attendre de l'installation d'essai ainsi décrite un écart inférieur à $11 \mu\text{m/m}$ par rapport à l'exactitude globale d'étalonnage lors d'un essai type. Des charges répétées avec le même poids et dans de mêmes conditions d'environnement doivent entraîner des variations, en ce qui concerne l'information donnée par la jauge étalon, ne dépassant pas $5 \mu\text{m/m}$. Si une telle répétabilité n'est pas obtenue, il faut en chercher la raison soit dans les caractéristiques de la jauge, soit dans l'installation, soit dans la technique d'essai.

La Figure 8 représente, sous forme de graphique, l'erreur maximum globale que l'on peut attendre d'un tel système.

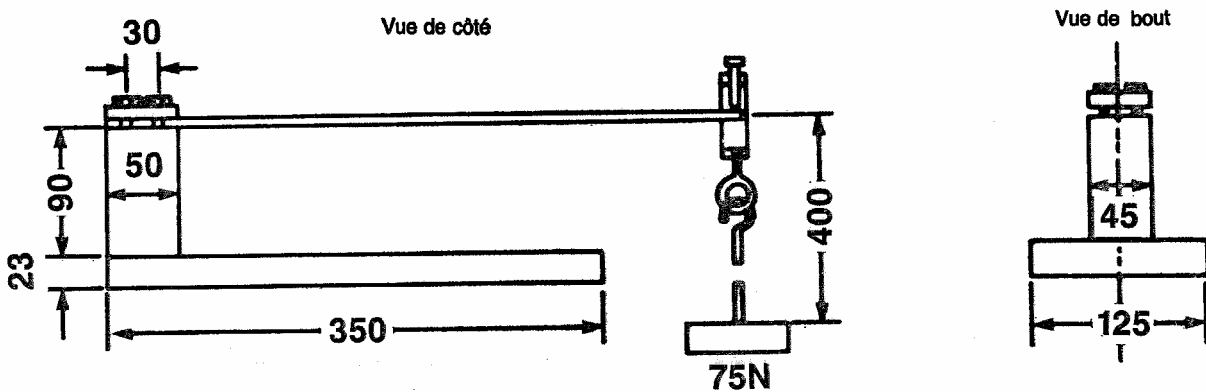


Figure 6. Banc d'essai des extensomètres par l'utilisateur

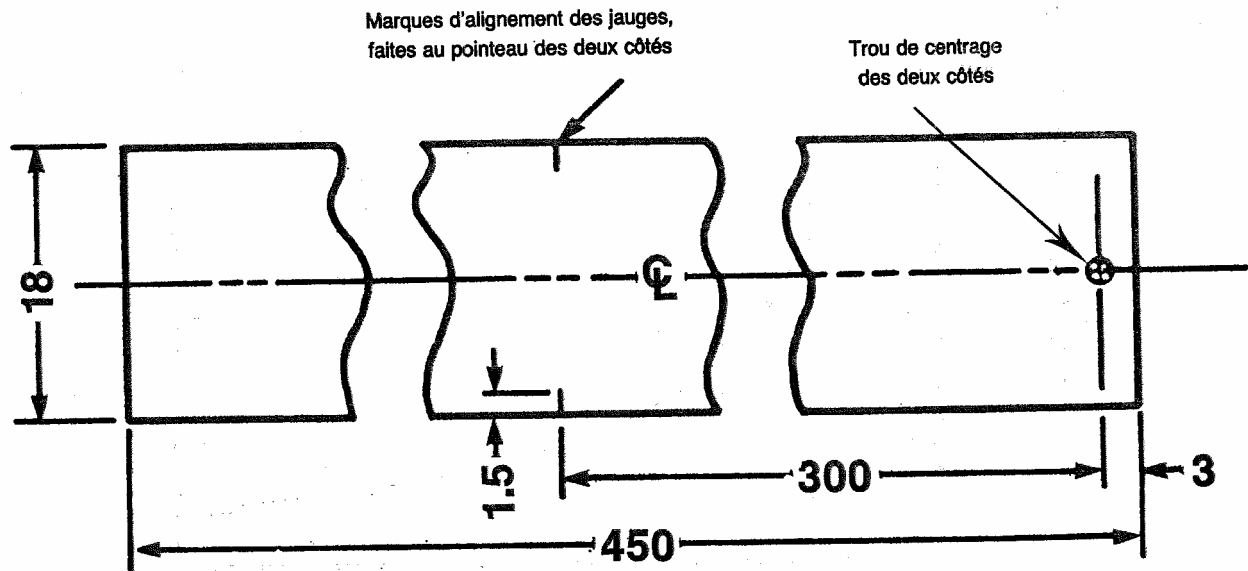


Figure 7. Structure d'essai pour l'utilisateur

Note : Matériau suggéré : acier à outil de 6 mm, meule sur toutes les faces ; le trou de centrage et les marques au pointeau sont faits avant durcissement; durcissement à HRC 45 minimum.

Notes pour les Figures 6 et 7 :

1. Les dimensions sont données en mm.
2. Des réalisations dont les dimensions ou les matériaux constitutifs diffèrent de ceux qui sont indiqués peuvent être tout aussi sûres et exactes. Cependant, plus la barre est fine, plus les erreurs provenant de causes variées augmentent.
3. Le calcul de la déformation approximative de surface de la structure sur la poutre, au point d'essai se fait comme suit :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2 \cdot E}$$

où :

ε est la déformation en m/m

M est le moment fléchissant en N · m

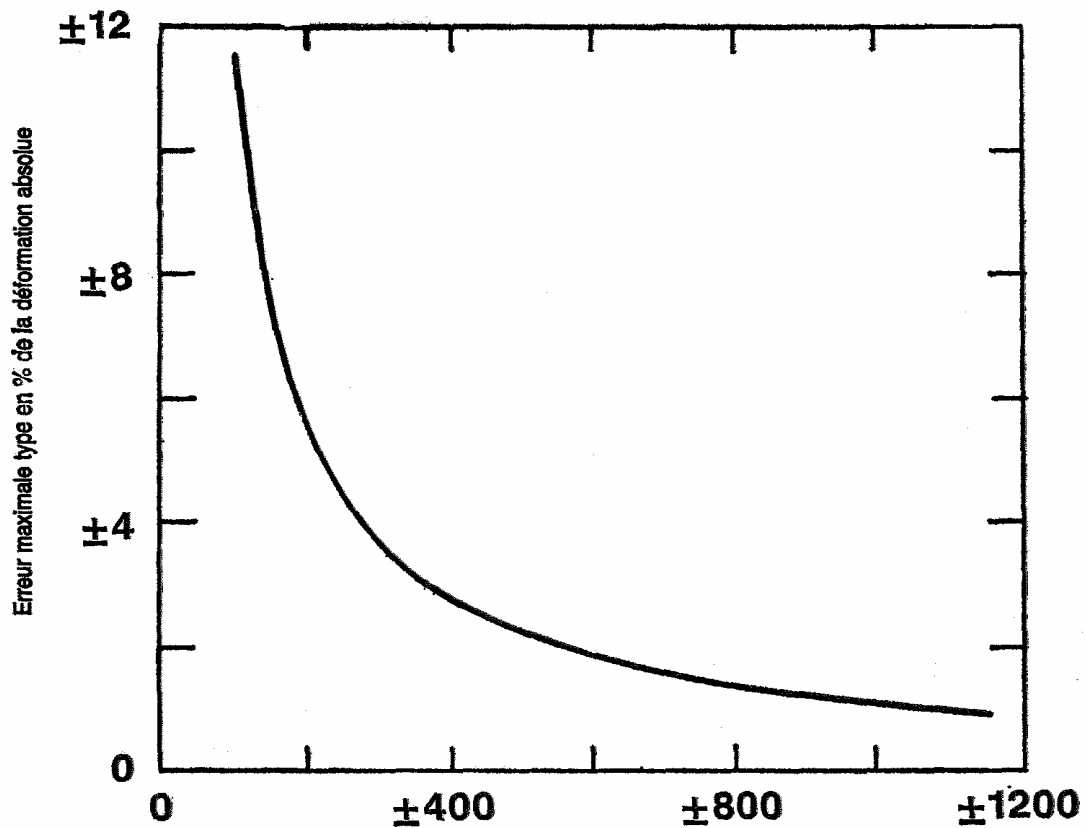
σ est la contrainte en N/m²

b est la largeur de la poutre en m

E est le module d'élasticité en N/m²

h est l'épaisseur de la poutre en m

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot [75 \text{ N}] \cdot [0,3 \text{ m}]}{[0,018 \text{ m}] \cdot [0,006^2 \text{ m}^2] \cdot [207 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2]} = 0,001006 \text{ m/m} = 1006 \text{ } \mu\text{m/m}$$



Déformation en $\mu\text{m/m}$ à la jauge d'essai

Figure 8. Exactitude type d'un banc d'essai des extensomètres par l'utilisateur

ANNEXE D

BIBLIOGRAPHIE

1. « Bonded Electric Résistance Strain Gauges with Metallic Measurement Grids — Characteristics and Testing Conditions ». VDE/VDI — Richtlinien NR 2635 August, 1974. Verein Deutscher Ingenieure, VDE/VDI — Fachgruppe Messtechnik, 4000 Dusseldorf 1, Graf-Recke-Str. 84, R.F. d'Allemagne.
2. « Calibration of Measuring Instruments — Force and Strain Measuring Extensometers ». Draft Recommendation, Rc. Aero 803 21. Bureau National de l'Aéronautique et de l'Espace, Boulogne 92100, France (non daté).
3. « Measurements and Uncertainties » by P. Giacomo, Bureau International des Poids et Mesures. OIML Bulletin N° 65, 1976.
4. « Methods for Calibration of Bonded Electric Résistance Strain Gauges ». Draft for Development 6:1972. British Standards Institution, 2 Park Street, London W1A 2BS, England.
5. « Standard Methods of Test for Performance Characteristics of Bonded Résistance Strain Gages ». Désignation : E 251-74, American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103, USA, 1974.
6. « Strain Gages, Bonded Résistance ». Classification Spécification NAS 942 (National Aerospace Standard 942) 1963. Aerospace Industries Association of America, Inc. Published by National Standards Association Inc., 1315 Fourteenth Street, N.W., Washington D.C., USA.

Sommaire

<i>Avant-propos</i>	2
Introduction.....	3
Terminologie.....	4
1. Domaine d'application.....	7
2. Principes de la recommandation	7
3. Caractéristiques.....	7
4. Exigences d'essai.....	8
5. Interprétation des données et méthodes statistiques	11
6. Présentation des indications.....	12
7. Assujettissement aux contrôles de métrologie légale	14
Annexe A.....	15
Annexe B	17
Annexe C	20
Annexe D - Bibliographie.....	23