

# VISHAY - MICROMESURES

98, Bd Gabriel-Péri - BP 51 - 92242 Malakoff Cedex — FRANCE — Téléphone : 01 46 55 98 00 — Télécopie : 01 42 53 67 94



JAUGES D'EXTENSOMETRIE  
ELECTRIQUE

NT 505 B

## Comment choisir une jauge d'extensométrie

### 1.0 Introduction

La première étape de l'installation d'une jauge est le choix de celle qui va répondre au problème posé. Il peut sembler, de prime abord, que le choix d'une jauge est un exercice simple, sans grande conséquence pour le spécialiste des mesures de contraintes. En réalité, une sélection soignée et rationnelle des caractéristiques et des paramètres des jauges peut être très importante pour optimiser les performances de celles-ci dans un environnement donné, obtenir des mesures précises et fiables, faciliter l'installation et enfin, réduire le coût total de la mesure.

L'installation et les performances d'une jauge peuvent être affectées par différents paramètres dont le choix peut se révéler plus ou moins important. Il s'agit de :

- la sensibilité de l'alliage de jauge
- la nature du support
- la longueur de la jauge
- la géométrie
- l'autocompensation
- la résistance ohmique
- les options.

Le principe de choix d'une jauge consiste à déterminer la combinaison particulière des paramètres qui sont compatibles avec les conditions opératoires ou l'environnement et qui, dans le même temps, satisfont les contraintes de l'installation. Ces contraintes peuvent être :

- la précision
- la stabilité
- la température
- l'allongement
- la durée de l'essai
- l'endurance en fatigue
- la facilité d'installation
- l'environnement

Le prix de la jauge seule n'est généralement pas le premier critère de choix mais par contre le coût total de l'installation dont la jauge ne représente qu'une faible part, peut être déterminant.

Dans de nombreux cas, le choix d'une série ou d'une option qui augmente le prix de base de la jauge peut également contribuer à réduire le coût global en raison de la simplification de l'installation et du gain de temps.

Il faut comprendre que le choix d'une jauge nécessite souvent des compromis, car les paramètres qui satisfont certaines conditions peuvent se révéler défavorables pour d'autres. Par exemple, dans le cas de filets avec des petits rayons de courbure où la place pour coller la jauge est très réduite et où le gradient de contraintes est élevé, une toute petite jauge est en théorie, le meilleur choix. Cependant des petites jauges (de taille inférieure à 3 mm) ont généralement de moins bonnes performances en élongation maximale, en fatigue et en stabilité. De plus elles sont plus difficiles à installer. Une autre considération qui peut également influencer le choix d'une jauge est la disponibilité du stock. Bien que des compromis soient presque toujours nécessaires, le spécialiste des mesures de contraintes doit connaître les effets de tels compromis sur les exigences de l'installation et en particulier sur la précision et la validité de l'essai.

Les critères de sélection énoncés dans cette notice concernent principalement les applications de l'analyse des contraintes. Les critères relatifs au choix des jauges pour les capteurs, bien que semblables sur de nombreux points, doivent être appréhendés différemment. Notre département "capteurs" pourra conseiller utilement les utilisateurs éventuels dans ce choix.

## 2.0 Les paramètres de sélection des jauges

### 2.1 Les alliages des jauges

Le principal composant qui détermine les caractéristiques opérationnelles d'une jauge est l'alliage métallique qui constitue l'élément sensible. L'alliage n'étant pas toujours un paramètre indépendant, chaque série de jauges Micromesures (caractérisée par les deux ou trois premières lettres de référence de la jauge) est conçue comme un ensemble alliage / support auquel on ajoutera parfois certaines caractéristiques propres à cette série comme l'encapsulation, les fils de sortie ou les gouttes de soudure sur les pattes.

Micromesures fournit des jauges avec les alliages suivants :

- A : Constantan (dans sa forme autocompensée en température)
- P : Constantan recuit
- D : Isoelastic
- K : Alliage nickel chrome ; Karma modifié autocompensé en température.

#### 2.1.1. Le Constantan (A)

De tous les alliages modernes, le constantan, bien que le plus ancien, reste le plus universellement utilisé. Ceci est dû au fait que le constantan possède le plus grand nombre de propriétés compatibles avec la plupart des applications de jauges. Cet alliage a, par exemple, une bonne sensibilité ou facteur de jauge indépendant des déformations et de la température. Sa résistivité est suffisante pour permettre la réalisation de jauges de résistance élevée, même en petites dimensions, et son coefficient de température n'est pas trop important. De plus sa tenue en fatigue est bonne et il peut supporter des allongements assez importants. Il faut cependant remarquer que le constantan a tendance à présenter une certaine dérive qui devient mesurable au-delà de 65 °C et dont il faut tenir compte quand la stabilité du zéro est un paramètre important sur plusieurs heures ou plusieurs jours.

Une caractéristique importante du constantan est sa possibilité de traitement pour l'autocompensation en température qui lui permet de couvrir un large domaine de coefficients de dilatation (voir encart à droite).

L'alliage A (constantan) de Micromesures est fourni avec les nombres d'autocompensation (STC) 00, 03, 05, 06, 09, 13, 15, 18, 30, 40 et 50 afin d'être utilisé sur les matériaux possédant le même coefficient de dilatation (en ppm / °F).

Pour mesurer de très grands allongements c'est-à-dire 5 % (50 000 µm / m) ou plus, l'alliage P en constantan recuit est recommandé. Ce constantan, sous cette forme, est très ductile et des jauges de 3 mm ou plus peuvent subir des allongements > 20 %. On doit cependant se souvenir, que sous l'effet de déformations cycliques importantes l'alliage P présente une variation permanente de la résistance nominale entraînant une dérive de zéro. En raison de cette caractéristique et de la tendance à une rupture prématurée des brins, l'alliage P n'est pas recommandé pour les applications dynamiques. L'alliage P est uniquement disponible en compensation 08 et 40 pour les métaux et les matières plastiques.

#### 2.1.2. L'alliage isoélastique (P)

Quand des mesures purement dynamiques doivent être effectuées, c'est-à-dire quand il n'est pas nécessaire de maintenir

une référence de zéro stable, l'alliage isoélastique (D) offre certains avantages. Un des principaux est la durée de vie en fatigue supérieure à celle de l'alliage A et un facteur de jauge élevé (autour de 3,2) qui augmente le rapport signal / bruit au cours d'essais dynamiques. L'alliage D n'est pas autocompensé et, comme le montre le diagramme, sa variation en température est si importante (de l'ordre de  $145.10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ), qu'il n'est généralement pas utilisé pour des mesures statiques.

Il arrive cependant quelquefois que l'alliage D trouve certaines applications spéciales dans l'industrie du capteur où l'on désire un signal de sortie important et où un pont complet peut être réalisé pour obtenir une compensation en température satisfaisante.

D'autres applications de l'alliage D peuvent être citées comme sa magnétorésistivité et la non linéarité de sa réponse pour des déformations supérieures à  $\pm 5000.10^{-6}$ . En raison de ces propriétés, l'alliage D est principalement employé pour la mesure de déformations élastiques, purement dynamiques.

### AUTOCOMPENSATION

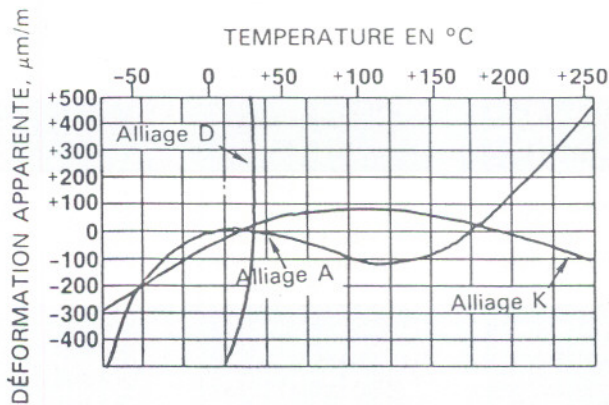
Le constantan et le karma modifié ont la particularité, grâce à un traitement thermique spécifique, de pouvoir être autocompensés en température. L'autocompensation de jauges permet d'obtenir un signal d'origine thermique minimum (déformation apparente), pour un matériau donné, dans un domaine de température compris entre - 45 °C et + 200 °C. Lors du choix des jauges (en constantan ou en Karma), le nombre d'autocompensation (STC ou ACT) devra être précisé (Voir tableau page 3).

Le diagramme du bas de la page, montre les caractéristiques en température des alliages A et K autocompensés, ainsi que de l'alliage D non autocompensé (pour comparaison uniquement).

En pratique, le nombre d'autocompensation sera choisi pour correspondre au mieux au coefficient de dilatation (exprimé en ppm / °F) du matériau sur lequel la jauge sera collée.

Cependant la courbe de température représentée ci-dessous pourra être modifiée par une rotation autour du point de référence à l'ambiante pour favoriser un domaine de température particulier en choisissant volontairement un STC différent du coefficient de dilatation du matériau à étudier. Quand le STC choisi est inférieur au coefficient de dilatation du matériau, il en résulte une rotation de la courbe dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et lorsque le STC est supérieur il en résulte une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans ces conditions les courbes de correction fournies avec les jauges ne peuvent plus être utilisées et il est généralement nécessaire de refaire la calibration en relevant les variations du signal fourni par la jauge, en fonction de la température.

Pour toute information complémentaire relative au comportement des jauges avec la température, on se référera à la notice technique TN504



Déformation apparente en fonction de la température pour différents alliages de jauges.

### 2.1.3. Le Karma

Le Karma modifié ou alliage K, avec son large domaine d'applications, occupe une part importante dans la famille des alliages de jauges. Cet alliage se caractérise par une bonne tenue en fatigue et une excellente stabilité ; c'est le meilleur choix pour des mesures précises sur de longues périodes (Plusieurs mois ou années) à température ambiante ou sur des périodes plus courtes à température élevée. Il est conseillé pour les mesures statiques entre  $-269\text{ °C}$  et  $+260\text{ °C}$ . Pendant de courtes périodes, les jauges K encapsulées peuvent être exposées à des températures voisines de  $400\text{ °C}$ . Une atmosphère inerte augmente la stabilité et la durée de vie à haute température.

Parmi les autres avantages de l'alliage K on citera la courbe de température qui est meilleure que celle de l'alliage A et qui permet des corrections plus précises pour des températures extrêmes. Comme le constantan, l'alliage K est autocompensé pour certains matériaux. Les nombres d'autocompensation de l'alliage K sont limités aux valeurs 00, 03, 05, 06, 09, 13 et 15. Le choix de l'alliage K est celui qui doit se faire quand on recherche une jauge autocompensée qui doit supporter des conditions d'environnement plus sévères et atteindre des performances que n'atteignent pas les jauges en alliage A.

COEFFICIENT DE DILATATION ET AUTOCOMPENSATION DES MATÉRIAUX COURANTS			
NOMBRE A.C.T.	COEFFICIENT DE DILATATION EN P.P.M.		MATÉRIAUX
	32 à 212 °F   0 à 100 °C		
00	0.8	1.4	Invar
	0.28	0.5	Quartz
	0.017	0.03	Silicate * de titane
03	3.0	5.4	Alumine
	2.7	4.9	Molybdène
	2.7	4.3	Tungstène
	3.1	5.6	Zirconium
05	5.1	9.2	Verre
	5.0	9.0	Acier 15-7 Mo PH
	5.5	9.9	Acier 410 S.S.
	4.6	8.6	Titane Pur *
	4.9	8.8	Titane 6 AL - 4V°
06	6.4	11.5	Beryllium
	7.0	12.6	Inconel
	6.7	12.1	Inconel X
	6.0	10.8	Fer, fonte grise
	7.5	13.5	Monel
	6.6	11.9	Nickel, A
	6.7	12.1	Acier, 1008, 1018°
	6.3	11.3	Acier 4340
	6.0	10.8	Acier 17-4 PH
5.7	10.3	Acier 17-7 PH	
09	9.3	16.7	Cuivre au beryllium
	10.2	18.4	Bronze, Phos. (10 %)
	9.2	16.6	Cuivre
	9.6	17.3	Acier 304 S.S. *
	8.0	14.4	Acier 310 S.S.
	8.9	16.0	Acier 316 SS
13	12.9	23.2	Aluminium, 2024-T4 *, 7075-T6
	11.1	20.0	Laiton 30-70
	12.6	22.7	Etain (pur)
15	14.5	26.1	Magnésium, AZ-31B *

\* indique les matériaux qui servent à la détermination des courbes de déformation apparente.

En raison des difficultés du soudage des fils sur l'alliage K, les jauges nues sont désormais livrées, en série, avec un dépôt de cuivre renforcé sur les pattes. Ce dépôt cuivré se présente sous forme de plaquette (DP) ou sous forme de goutte (DD) selon la surface de la patte de la jauge. Toutes les jauges d'alliage K qui n'ont pas de fils ou de cosses précablées, ont les lettres DD ou DP dans leur désignation (en plus ou à la place de l'option choisie).

## 2.2. Support

Les jauges conventionnelles à feuille laminée sont constituées par une grille imprimée selon une technique de photogravure sur un support isolant. Ce support a plusieurs fonctions :

- Il permet de manipuler la jauge au cours de l'installation
- Il offre une surface directement collable sur la structure
- Il assure l'isolation électrique entre le métal de la jauge et la structure.

Les supports des jauges Micromesures sont de deux types : polyimide et époxyphénolique renforcé fibre de verre. Comme pour les alliages de jauges, le support n'est pas un paramètre complètement indépendant. Certaines combinaisons de support et d'alliage sont spécifiques et forment ce qu'il est convenu d'appeler la "série" de la jauge. Les séries de jauges Micromesures ainsi que leurs propriétés sont décrites dans la section suivante 2.3. Chaque série a ses caractéristiques propres et des conseils de sélection sont donnés en page 5. Les matériaux utilisés comme support sont décrits ci-dessous.

Le support polyimide E est un support résistant et souple qui peut être appliqué sur des petits rayons de courbure. De plus, la résistance à l'arrachement du métal sur le support étant très importante, les supports polyimides sont moins sensibles aux dommages mécaniques en cours d'installation. Ces avantages ajoutés à un domaine d'utilisation en température important ( $-195\text{ °C}$  à  $+175\text{ °C}$ ) en font le support idéal pour toutes les applications courantes, statiques ou dynamiques, de l'analyse des contraintes. Ce support permet de grands allongements et peut être utilisé pour mesurer des déformations plastiques supérieures à 20 %. Le polyimide de Micromesures entre dans la réalisation des séries suivantes : EA, CEA, EP, EK, S2K, N2A, J2A et ED.

Pour accroître les performances sur un plus large domaine de température, le support W en résine époxy phénolique renforcée de fibres de verre constitue le meilleur choix. Ce support peut être utilisé pour des mesures statiques ou dynamiques de  $-269\text{ °C}$  à  $+290\text{ °C}$ . Pour des applications à court terme, la température extrême peut atteindre  $400\text{ °C}$ . En contre-partie, l'allongement maximum autorisé par ce support ne dépasse 1 à 2 %. Ce support est employé pour la réalisation des séries WA, WK, SA, SK, WD et SD.

## 2.3. Les Séries de jauges

Comme indiqué dans les paragraphes 2.1. et 2.2. l'alliage de jauge et le support ne sont pas totalement indépendants et l'association alliage/support forme une série de jauge qui inclut parfois un dessin ou une caractéristique spécifique à cette série. Afin de déterminer la série de jauge pouvant répondre aux impératifs d'un essai, des informations sur les différentes séries sont données dans les deux tableaux suivants.

Le tableau ci-après fournit un descriptif résumé de toutes les séries classiques proposées par Micromesures ainsi que de leurs principales caractéristiques. Ce tableau indique les performances de chaque série en terme de température de fonctionnement, allongement maximum et tenue en fatigue en fonction de l'allongement. On notera que ce sont des valeurs nominales qui s'appliquent à des jauges de 3 mm et plus.

Séries	Description et applications	Températures d'emploi	Déformations maximales	Endurance en fatigue	
				Déformations en $\mu\text{m/m}$	Nombre de cycles
EA	Trame métallique de constantan. Support souple et robuste en polyimide. Très utilisée pour l'analyse des contraintes en statique et en dynamique. Déconseillées cependant pour les capteurs de hautes performances.	-75 à 175°C en service normal. -195 à + 205°C en essais de courte durée.	$\pm 3\%$ au-dessous de 3,2 mm de longueur de grille. $\pm 5\%$ au-delà.	$\pm 1800$ $\pm 1500$ $\pm 1200$	$10^5$ $10^6$ $10^8$
CEA	Jauge universelle. Grille de constantan encapsulée dans du polyimide et larges pattes de sortie renforcées de cuivre.	- 75 à + 175°C en service normal Rosettes superposées limitées à + 65°C	$\pm 3\%$ pour grilles inférieures à 3,2 mm $\pm 5\%$ au-delà	$\pm 1500$ $\pm 1500$	$10^5$ $10^6$ * La durée de vie en fatigue est augmentée avec la soudure à bas modules.
N2A	Trame métallique de constantan nue. Support polyimide laminé. Recommandée pour les capteurs de précision en raison de son faible fluage. S'emploie également en analyse des contraintes lorsqu'un support plat et mince est nécessaire.	Usage normal - 75°C à + 95°C pour capteurs	$\pm 3\%$	$\pm 1700$ $\pm 1500$	$10^6$ $10^7$
J2A	Jauges en constantan encapsulées avec support polyimide. Pattes de sorties nues pour fixations des câbles. Conseillée pour les capteurs, l'encapsulation peut cependant renforcer légèrement les capteurs minces.	Usage normal pour capteurs (- 75°C à + 95°C)	$\pm 2\%$	$\pm 1700$ $\pm 1500$	$10^6$ $10^7$
ED	Alliage Isoélastique sur support souple en polyimide. Facteur du jauge élevé et durée de vie en fatigue augmentée pour essais dynamiques. Non conseillées pour essais statiques en raison des mauvaises caractéristiques en température.	Dynamique - 195 à + 205°C	$\pm 2\%$ Non linéaire au-dessus de $\pm 0,5\%$	$\pm 2500$ $\pm 2200$	$10^6$ $10^7$
WA	Jauges de constantan complètement encapsulées avec fils de sortie de grande endurance à la fatigue. Utilisées dans des conditions d'environnement et de température plus sévères que les jauges EA. L'option W est disponible avec certaines géométries mais réduit la tenue en fatigue.	Normal - 75°C à - 205°C Spécial ou court terme (- 195°C à + 260°C)	$\pm 2\%$	$\pm 2500$ $\pm 1800$ $\pm 1500$	$10^6$ $10^6$ $10^7$
EK	Alliage de Karma sur support polyimide. Utilisée pour sa résistance élevée, sa stabilité à haute température et son support souple.	Normal - 195°C à + 175°C Spécial ou court terme (- 269°C à + 205°C)	$\pm 1,5\%$	$\pm 1800$	$10^7$
WK	Alliage K (Nickel-Chrome) entièrement encapsulé avec fils de sortie de grande endurance à la fatigue. La plus large gamme de température et la meilleure résistance aux conditions d'environnement des jauges autocompensées. Option W disponible avec certaines géométries mais tenue en fatigue et en température réduite.	Normal - 269°C à + 290°C Spécial ou court terme (- 269°C à + 400°C)	$\pm 1,5\%$	$\pm 2400$ $\pm 2200$ $\pm 2000$	$10^6$ $10^7$ $10^8$
EP	Constantan spécialement recuit avec support polyimide grand allongement. Utilisées pour les mesures au-delà de la limite élastique. Disponibles avec options E, L et LE mais restrictions possibles de l'allongement maximum.	- 75° à + 205°C	$\pm 10\%$ pour jauges de longueur inférieure à 3,2 mm $\pm 20\%$ au-delà	$\pm 1000$	$10^4$ Les jauges EP ont une dérive de zéro importante en fatigue.
SA	Jauges encapsulées en constantan avec gouttes de soudure. Même support que WA et même usage mais limitations en température en raison des gouttes de soudure.	Normal - 75°C à + 205°C Spécial ou court terme (- 195°C à + 230°C)	$\pm 2\%$	$\pm 1800$ $\pm 1500$	$10^6$ $10^7$
S2K	Karma laminé (0,025 mm) avec support polyimide et encapsulation polyimide complète. Larges pattes de soudure pour une fixation facile des fils.	Normal - 75°C à + 205°C Spécial ou court terme (- 185°C à + 150°C)	$\pm 1,5\%$	$\pm 1800$ $\pm 1500$	$10^6$ $10^7$
SK	Jauges Karma encapsulée avec gouttes de soudure. Usage analogue aux WK mais limitations en température à cause de la soudure.	Normal - 269°C à + 230°C Spécial ou court terme (- 269°C à + 260°C)	$\pm 1,5\%$	$\pm 2200$ $\pm 2000$	$10^6$ $10^7$
WD	Jauges en alliage Isoélastique avec fils de grande endurance pour mesures dynamiques en environnement sévère.	Dynamique - 190°C à + 260°C	$\pm 1,5\%$ Non linéaire au-delà de 0,5 %	$\pm 3000$ $\pm 2500$ $\pm 2200$	$10^6$ $10^7$ $10^8$
SD	Analogues aux WD mais gouttes de soudure au lieu de fils.	Dynamique - 195°C à + 205°C	$\pm 1,5\%$ Non linéaire au-delà de 0,5 %	$\pm 2500$ $\pm 2200$	$10^6$ $10^7$

Tableau de sélection des séries de jauges et des colles

TYPE de l'ESSAI OU APPLICATION	TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT	DUREE DE L'ESSAI EN HEURES	PRECISION REQUISE**	ENDURANCE EN FATIGUE		SELECTION	
				Déformations $\mu\text{m/m}$	Cycles	Série	Colle recommandée
APPLICATIONS GENERALES DE L'ANALYSE DES CONTRAINTES STATIQUES OU DYNAMIQUES*	- 45° à + 65° C	< 10 <sup>4</sup>	Moyenne	± 1300	< 10 <sup>6</sup>	CEA, EA	200 ou AE-10
		> 10 <sup>4</sup>	Moyenne	± 1300	< 10 <sup>6</sup>	CEA, EA	AE-10 ou AE-15
		> 10 <sup>4</sup>	Grande	± 1600	> 10 <sup>6</sup>	WA, SA	AE-15 ou 610
		> 10 <sup>4</sup>	Très grande	± 2000	> 10 <sup>6</sup>	WK, SK	AE-15 ou 610
	- 45° à + 205° C	< 10 <sup>3</sup>	Moyenne	± 1600	< 10 <sup>6</sup>	WA, SA	600 ou 610
		> 10 <sup>3</sup>	Grande	± 2000	< 10 <sup>6</sup>	WK, SK	600 ou 610
	- 269 à + 230° C	> 10 <sup>3</sup>	Moyenne	± 2000	> 10 <sup>6</sup>	WK, SK	610
< 315° C	< 10 <sup>2</sup>	Moyenne	± 1800	< 10 <sup>6</sup>	WK	610	
< 370° C	< 10	Moyenne	± 1500	< 10 <sup>6</sup>	WK	610	
GRANDS ALLONGEMENTS (AU-DELA DE LA LIMITE ELASTIQUE)	- 45° à + 65° C	< 10	Moyenne	± 50 000	1	CEA, EA	AE-10
		> 10 <sup>3</sup>	Moyenne	± 100 000	1	EP	AE-15
		> 10 <sup>3</sup>	Moyenne	± 200 000	1	EP	A-12
	- 20° à + 260° C	< 10 <sup>2</sup>	Moyenne	± 15 000	1	SA, SK, WA, WK	610
- 269° à + 260° C	< 10 <sup>3</sup>	Moyenne	± 10 000	1	SK, WK	600 ou 610	
ANALYSE DES CONTRAINTES DYNAMIQUES (CYCLES)	- 75° à + 65° C	< 10 <sup>4</sup>	Moyenne	± 2000	10 <sup>7</sup>	ED	200 ou AE-10
		< 10 <sup>4</sup>	Moyenne	± 2400	10 <sup>7</sup>	WD	AE-10 ou AE-15
	- 195° à + 260° C	< 10 <sup>4</sup>	Moyenne	± 2000	10 <sup>7</sup>	WD	600 ou 610
		< 10 <sup>4</sup>	Moyenne	± 2300	< 10 <sup>5</sup>	WD	600 ou 610
APPLICATIONS CAPTEURS	- 45° à + 65° C	< 10 <sup>4</sup>	1 à 5 %	± 1300	< 10 <sup>6</sup>	CEA, EA	AE-10 ou AE-15
		< 10 <sup>6</sup>	1 à 5 %	± 1300	< 10 <sup>6</sup>	CEA	AE-15
	- 45° à + 95° C	< 10 <sup>4</sup>	Mieux que 0,2 %	± 1500	10 <sup>6</sup>	N2A	600, 610 ou 43-B
	- 45° à + 150° C	< 10 <sup>4</sup>	0,2% à 0,5%	± 1600	10 <sup>6</sup>	WA, SA	610
	- 195° à + 150° C	< 10 <sup>4</sup>	Mieux que 0,5 %	± 1800	10 <sup>6</sup>	WK, SK	610

\* Cette catégorie comprend la plupart des essais pour lesquels une certaine stabilité de mesure est demandée. Pour une stabilité absolue avec les jauges en constant pendant de longues périodes et à des températures supérieures à 65°C il peut-être nécessaire de travailler en demi-pont ou en pont complet. Les produits de protection peuvent également influencer la stabilité des mesures (en-dehors des applications capteurs où l'élément est hermétiquement scellé).

\*\* Il est difficile de quantifier la "précision" sans tenir compte du programme d'essais et de l'instrumentation employée. En règle générale, le mot précision "moyenne" est employé en analyse des contraintes pour des valeurs de 2 à 5 %, "grande" pour des valeurs de 1 à 3 %, et "très grande" pour 1 % et mieux.

Le tableau ci-dessus fournit des indications pour le choix d'une série en fonction de certain profils d'essais qui sont classés selon les critères suivants :

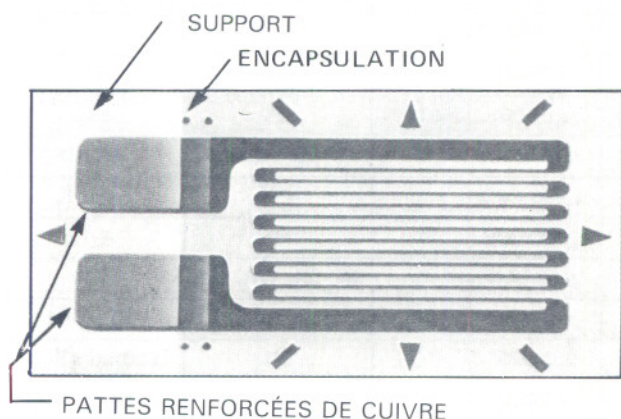
- Type de mesures (statiques ou dynamiques)
- Température de fonctionnement de l'installation
- Durée de l'essai
- Précision souhaitée
- Tenue en fatigue.

Ce tableau fournit également des indications sur le choix de la colle car la colle fait partie intégrante de l'installation et peut agir sur la performance de la jauge.

Complété par le tableau de la page 5, il permet de choisir dans le catalogue 500 la meilleure jauge correspondant aux besoins réels de l'utilisateur. Dans ce but également, la "checklist" du **paragraphe 3.0.** est destinée à passer en revue toutes les questions que celui-ci peut se poser avant de choisir une jauge.

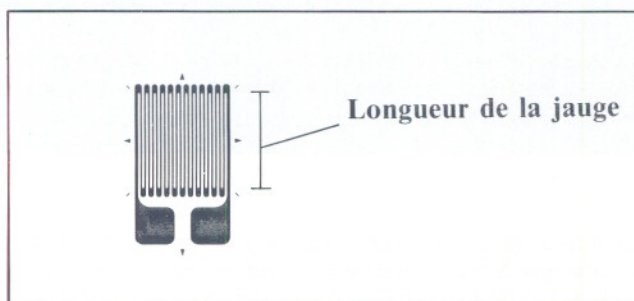
Quand on rencontre un type d'essai qui dépasse les spécifications du tableau cela signifie généralement que l'on dépasse les capacités des jauges disponibles. Dans de tels cas, l'utilisateur aura intérêt à prendre contact avec les spécialistes de Micromesures pour trouver le meilleur compromis dans le choix des jauges les mieux adaptées à son essai.

Comme indiqué dans le tableau précédent, pour des mesures de déformations courantes, ne demandant pas des performances extrêmes et s'effectuant dans des conditions normales d'environnement, les jauges de la série CEA seront conseillées en premier. Ces jauges sont des jauges en alliage A, encapsulées dans du polyimide, qui possèdent des pattes cuivrées renforcées et larges pour permettre la soudure directe des fils de liaison sans qu'il soit nécessaire d'installer des cosses-relais (voir photographie ci-dessous). Ces jauges, bien que minces et flexibles sont très robustes et peuvent se coller sur de très petits rayons de courbure. Leur grande facilité d'emploi et de manipulation les rendent exceptionnelles.



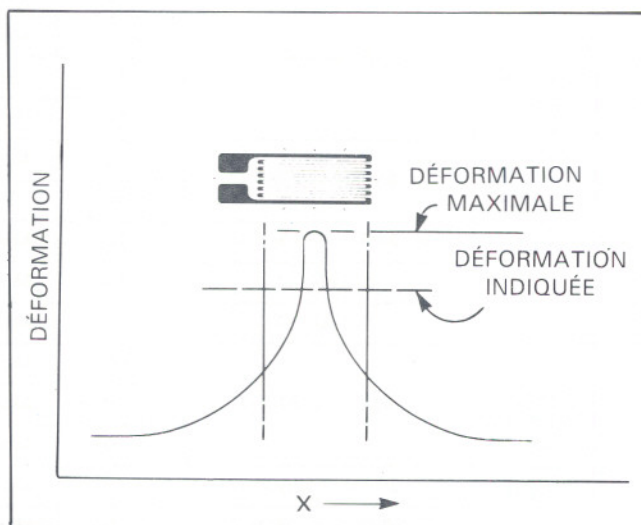
#### 2.4. Longueur de la jauge

La longueur de grille d'une jauge correspond à la longueur de la partie active comme indiqué ci-dessous. Les boucles et les pattes sont considérées comme non sensibles aux déformations en raison de leurs dimensions et de leur faible résistance. Pour répondre aux besoins très variés de l'analyse des contraintes et des applications "capteurs" Micromesures offre des jauges dont la longueur varie de 0,2 mm à 100 mm.



La longueur de jauge est un facteur important pour les performances. En effet, les mesures de déformations sont généralement faites aux points les plus contraints. Très souvent ces points les plus contraints sont localisés en des zones de fort gradient où la déformation maximale est concentrée sur une toute petite surface. Comme la jauge a tendance à intégrer ou moyenner la déformation sur toute la surface de la grille et comme la moyenne de toute répartition non uniforme est toujours inférieure au maximum, une jauge qui est notablement plus grande que la zone de contrainte maximale indiquera une valeur par défaut.

Le croquis ci-dessous illustre la répartition des contraintes dans une zone de concentration et montre l'erreur qui peut résulter de l'utilisation d'une jauge trop longue.



Une règle simple à retenir, lorsqu'elle est applicable, dit que la longueur de la jauge ne doit pas dépasser 0,1 fois le rayon du trou, du filet ou de l'encoche sur lesquels la mesure de déformations doit être faite. Avec des rayons inférieurs à 13 mm, cette règle aboutit à des longueurs de grilles extrêmement petites. En raison d'autres problèmes dus à l'emploi de petites jauges, il est souvent nécessaire de choisir des compromis.

Des jauges de grilles inférieures à 3 mm ont des performances réduites, particulièrement dans le domaine des déformations maximales, de la stabilité en déformation statique et de l'endurance en déformation alternée cyclique.

Quand elles peuvent être utilisées, les jauges longues offrent certains avantages qu'il est bon de noter ; elles sont généralement plus faciles à manipuler, à installer et à câbler que les jauges miniatures. De plus, les grandes jauges offrent une meilleure dissipation thermique en termes de watt/cm<sup>2</sup>. Cette considération peut être importante si la jauge est collée sur un plastique ou sur tout matériau qui serait mauvais conducteur de la chaleur. Une mauvaise dissipation de la chaleur entraîne un échauffement important de la grille, du support et du matériau sur lequel la jauge est collée pouvant affecter notablement les performances et la précision (se référer à la note technique TN-502, *Optimizing strain gage excitation levels*).

Une autre application des grandes jauges et même dans ce cas, des très grande jauges est la mesure des déformations sur des matériaux non homogènes. Dans le cas du béton, par exemple, qui est un mélange d'agrégats (généralement des cailloux) et de ciment, il est conseillé d'utiliser des jauges assez longues pour faire une mesure représentative de la déformation. En d'autres termes, c'est généralement la déformation moyenne que l'on veut mesurer et non pas la variation locale à l'interface de l'agrégat et du ciment. En général, lorsque l'on fait des mesures sur des structures en composite de toute nature, la longueur de la jauge doit généralement être grande comparée aux inhomogénéités du matériau.

En règle générale, sauf cas particuliers cités précédemment, des jauges de 3 à 6 mm seront préférées. Le plus grand choix de géométries et de stock est disponible dans ces dimensions. Par ailleurs, les jauges plus petites ou plus grande coûtent généralement plus cher et si les grandes jauges n'ont pas de meilleures performances en terme de tenue en fatigue, de stabilité ou d'allongement, les petites jauges, au contraire, ont des performances réduites dans ces domaines.

## 2.5. Géométries des jauges

La géométrie des jauges concerne à la fois la forme de la grille, le nombre et l'orientation des grilles (pour une jauge multiple), la configuration des pattes de sortie ainsi que différentes caractéristiques propres à un type particulier. Tous les détails relatifs aux configurations des grilles et des pattes de sorties sont consignés dans le catalogue 500, Partie A "Description des jauges". La très grande variété de jauges est destinée à satisfaire les besoins classiques de tous les utilisateurs de jauges.

Avec les jauges unidirectionnelles, les principaux paramètres de choix sont :

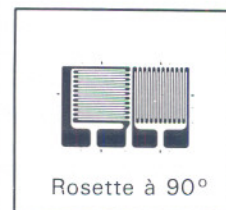
*Les pattes de sorties* — Celles-ci seront compatibles en taille et en direction avec l'espace disponible pour le collage. De plus, la disposition des pattes devra permettre le câblage le plus simple possible.

*La largeur de la grille* — Lorsque des gradients de contraintes importants, perpendiculaires à l'axe de la jauge, existent, une grille étroite réduira l'erreur moyenne résultante. Par contre de telles jauges augmentent la dissipation de chaleur et diminuent la stabilité de la jauge, particulièrement lorsque celle-ci est installée sur un matériau qui a une mauvaise conductibilité thermique.

*La résistance de la jauge* — Dans certains cas, la seule différence qui existe entre deux jauges de la même série est la résistance ohmique, généralement 120 et 350 ohms. Quand ce choix est possible, la valeur la plus élevée sera préférée car la dissipation thermique est réduite dans le rapport 3 (pour une même tension de jauge). Une résistance élevée a l'avantage également de réduire les effets des câbles et en particulier la désensibilisation de ligne due aux résistances des câbles ainsi que les signaux parasites dus aux variations de résistance des câbles sous l'effet de la température. De même le rapport signal/bruit est augmenté avec des jauges de résistance élevée lorsque le circuit comprend des relais, des conducteurs ou toute autre source de variation fortuite de résistance.

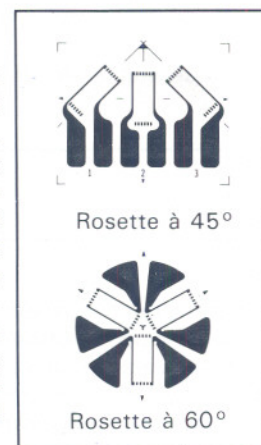
Pour l'analyse des contraintes, une jauge simple ne devrait être utilisée que lorsque l'on est assuré de l'état uniaxial des contraintes et de la direction des axes principaux (avec une précision raisonnable de  $\pm 5^\circ$ ). Ces impératifs limitent sérieusement l'emploi des jauges unidirectionnelles pour l'analyse des contraintes. La non considération de l'état biaxial des contraintes peut entraîner parfois des erreurs importantes sur la valeur de la contrainte mesurée à partir d'une seule jauge.

Pour l'état biaxial des contraintes (cas courant de l'analyse des contraintes), une rosette à deux ou trois éléments est nécessaire pour déterminer les contraintes principales. Quand la direction des contraintes est déjà connue une rosette en T à deux éléments est suffisante à condition d'aligner les grilles



avec les directions principales. Les directions principales sont parfois obtenues en tenant compte des conditions de mise en charge et de la forme de la pièce ; elles sont évidentes par exemple, en raison de la symétrie, dans un cylindre sous pression. Les axes principaux peuvent parfois être mis en évidence par une méthode globale comme la photoélasticimétrie par réflexion.

Dans les cas les plus généraux de contraintes, quand les directions des axes principaux sont indéterminées, une rosette à trois directions doit être utilisée. Cette rosette peut être collée dans n'importe quelle direction mais, généralement une des grilles sera alignée avec un axe particulier de la structure. Les rosettes 3 directions existent en configuration rectangulaire à 45° ou delta à 60°. Le choix le plus courant est la rosette rectangulaire en raison du calcul simplifié de séparation.



Lorsqu'une rosette doit être employée, il faut également prendre en considération la différence qui existe entre les rosettes planes et les rosettes superposées. Quelque soit la longueur de la jauge, la rosette plane est supérieure à la rosette superposée en raison du transfert de chaleur qui est meilleur et qui entraîne une meilleure stabilité et une meilleure précision des mesures statiques. De plus, quand un gradient de contrainte perpendiculaire à la surface, existe (en flexion par exemple), la rosette plane donnera de meilleurs résultats car toutes les grilles sont dans le plan de la surface. De plus, les rosettes superposées sont généralement plus difficiles à préformer que les rosettes planes.



Par contre, lorsqu'un fort gradient de contrainte existe dans le plan de la structure, comme c'est souvent le cas, la rosette plane peut amener des erreurs du fait de la position des grilles qui mesurent les déformations en différents points. Pour ces applications les rosettes superposées sont préférables. Elles sont également intéressantes quand la place disponible pour le collage est limitée.

## 2.6 Options


Micromesures offre un choix important d'options pour ses jauges set sondes spéciales. L'option entraîne généralement une augmentation du prix de la jauge qui se trouve très souvent compensée par les avantages pratiques dont les principaux sont :


- Réduction significative du temps et du coût de l'installation
- Réduction du niveau de dextérité nécessaire à la mise en œuvre
- Augmentation de la fiabilité de l'installation
- Simplification du collage dans des emplacements d'accès délicats
- Meilleure protection des jauges en cours de manipulation et en environnement sévère
- Augmentation de certaines caractéristiques spéciales


La disponibilité de chaque option varie avec la série et le type de jauge. Les options "standard" sont indiquées, pour chaque jauge, dans le catalogue 500.

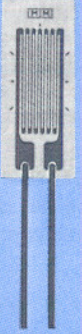
Le tableau ci-dessous résume les différents types d'options.

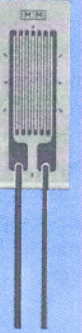
OPTION	BREVE DESCRIPTION
W	Cosses relais intégrées et encapsulation
E	Encapsulation de la jauge. Pattes nues
SE	Gouttes de soudure et encapsulation
L	Fils précâblés
LE	Fils précâblés et encapsulation
P	Précâblage avec 3 m de câble 3 conducteurs
P2	Précâblage des jauges CEA (3 m câble)

<b>Option W</b>	<b>Disponible avec les séries : EA, EP, WA, ED, EK, WK</b>	
<p>Cette option concerne une jauge encapsulée avec cosses relais intégrées. Les cosses relais sont en cuivre de 0,036 mm sur un support polyimide de 0,038 mm. L'option W permet la fixation directe des fils de liaison aux instruments. La température maxi d'utilisation est de 200 °C pour les jauges à support polyimide (E) et 260 °C pour les jauges à support époxyphénolique renforcé (W). Encapsulation complète avec polyimide. La durée de vie en fatigue est légèrement réduite par rapport aux memes jauges sans option. Il en est de même pour l'allongement maximum. La tolérance sur la valeur ohmique se trouve doublée.</p>		

<b>Option E</b>	<b>Disponible avec les séries : EA, ED, EK, EP</b>	
<p>Cette option correspond à une encapsulation avec un film polyimide de 0,025 mm. Elle permet une très bonne protection de la jauge au détriment de la flexibilité du support. La soudure des fils est simplifiée car l'encapsulation évite les projections de soudure de la zone non protégée des pattes de sortie pendant l'installation des fils. L'option E permet d'augmenter la stabilité à long terme de l'installation car la grille est protégée pendant les manipulations de collage. La tolérance sur la valeur ohmique est doublée tandis que les autres caractéristiques sont conservées (tenue en température, durée de vie en fatigue, etc...). L'allongement maximum est légèrement réduit à cause de l'encapsulation.</p>		

<b>Option SE</b>	<b>Disponible avec les séries : EA, ED, EK, EP</b>	
<p>L'option SE correspond au dépôt d'une goutte de soudure sur chacune des pattes de la jauge associé à une encapsulation complète (sauf à l'emplacement des gouttes de soudure) avec un film polyimide de 0,025 mm. Cette option a été conçue principalement pour les petites jauges qui doivent être collées dans des zones d'accès difficile car les fils peuvent être facilement dirigés dans n'importe quelle direction. La goutte est une soudure plomb, étain, argent dont la température de fusion est de 200 °C. Pour une meilleure stabilité à long terme, il est conseillé d'utiliser un flux non corrosif et d'éliminer ensuite toute trace de ce flux, après câblage, avec un solvant de résine avant d'appliquer la protection. L'allongement maximum ainsi que la flexibilité du support sont légèrement réduits du fait de l'encapsulation. La tolérance sur la valeur ohmique est doublée.</p>		

<b>Option L</b>	<b>Disponible avec les séries : EA, ED, EK, EP</b>	
<p>L'option L correspond au précâblage d'une jauge nue avec des rubans de cuivre au plomb. L'emploi de rubans plats (0,30 × 0,10 mm) permet de réaliser des jauges plus fines et plus faciles à former. De plus, ce ruban peut être orienté facilement dans toute direction. La soudure est du type étain-argent qui possède une température de fusion de 220 °C et la limite d'utilisation en température est fixée à 200 °C. La durée de vie en fatigue est réduite en raison de la durée de vie des rubans qui doivent être placés, si possible dans des zones faiblement contraintes. L'allongement maximum et la flexibilité de la jauge sont légèrement réduits en raison de cette option L. La tolérance sur la valeur ohmique n'est pas modifiée.</p>		

<b>Option LE</b>	<b>Disponible avec les jauges : EA, ED, EK, EP</b>	
<p>L'option LE correspond à l'association de l'option L précédente et de l'encapsulation avec un film polyimide de 0,025 mm qui assure une meilleure protection de la jauge. Les jauges avec l'option LE présentent une meilleure stabilité à long terme que les jauges nues qui ne sont protégées qu'après installation. Des rubans de cuivre de section 0,3 × 0,10 mm et de 20 mm de longueur sont précâblés sur la jauge. La soudure du type étain-argent, à une température de fusion de 220 °C qui limite la température d'utilisation des jauges à 200 °C. La jauge est entièrement encapsulée à l'exception de l'extrémité du support de jauge afin d'éviter le contact des rubans sur la surface de la pièce à étudier. La durée de vie en fatigue est légèrement réduite du fait de l'endurance limitée des rubans de cuivre. L'allongement maximum est également réduit à cause de l'option LE. De plus, la flexibilité étant moins bonne, les jauges ne sont pas aussi facilement formables que les jauges "standard". La tolérance sur la valeur ohmique est doublée en raison de l'option.</p>		

## 2.7 Options standard des jauges EA

De même que pour le choix d'une jauge, le choix d'une option nécessite souvent des compromis. Ainsi une option qui permettra d'augmenter une performance particulière pourra nécessiter des précautions plus grandes dans l'installation. En raison des nombreuses interactions entre les problèmes d'installation et les performances des paramètres associés aux options, les avantages et les mérites respectifs de chaque option sont évalués qualitativement dans le tableau ci-dessous. Dans un but comparatif, les caractéristiques des jauges CEA sont également mentionnées dans la colonne de droite de ce tableau.

Lorsque l'on envisage d'utiliser une jauge EA avec une option, il est conseillé de vérifier tout d'abord, si la jauge CEA ne peut pas répondre au problème.

Ainsi, en comparant une jauge EA avec l'option W et une jauge CEA on pourra constater que cette dernière est moins chère, plus souple et donc plus facile à former et de plus possède une meilleure tenue en fatigue. Le seul avantage de l'option W serait le plus grand choix de géométries disponibles et la présence de cosse relais de grandes dimensions.

Dans le tableau ci-dessous, la note 5 de référence correspond à une jauge EA sans option. Les notes supérieures indiquent une augmentation des performances avec l'option tandis que les notes inférieures correspondent à une réduction de ces performances.

PARAMÈTRES ASSOCIÉS AUX OPTIONS	OPTIONS STANDARD					JAUAGES CEA
	W	E	SE	L	LE	
Facilité de l'installation de la jauge	8	7	6	5	6	10
Facilité de câblage	10	8	7	7	8	10
Protection de la jauge	8	8	8	5	8	8
Endurance en fatigue	2	7	8	3	4	4
Elongation maximale	2	3	3	4	3	3
Tolérance sur la valeur ohmique	3	3	3	5	3	3
Effets de renforcement	2	3	3	5	3	3

### 3.0 Méthode de sélection des jauges

Bien que les performances d'une jauge pour une application donnée dépendent de sa conception et de sa fabrication et bien que Micromesures offre un très grand choix de jauges pour répondre au maximum des besoins, la méthode de sélection peut se résumer à quelques étapes simples. Il est évident, lorsque l'on regarde le tableau ci-dessous qui explique le code de désignation des jauges qu'il y a au moins cinq paramètres à choisir, (sans compter les options). Ce sont :

- la série de la jauge
- le nombre d'auto-compensation
- la longueur de la grille
- la géométrie
- la résistance ohmique

Parmi les cinq paramètres cités la longueur et la géométrie de la jauge sont les deux premiers : ils dépendent de la place disponible pour installer la jauge et de la nature du champ de contraintes en termes de biaxialité et de gradient. Le catalogue 500, section A, a été conçu pour simplifier ce choix de longueur et de géométrie. Les grilles disponibles pour chaque longueur de jauges sont groupées et classées par ordre de taille. Les jauges indiquées dans la section "Super stock" sont les plus utilisées dans le domaine de l'analyse des contraintes. Il est conseillé de consulter cette section en premier lorsque l'on cherche une jauge.

Après le choix de la longueur et de la géométrie, il faudra choisir une série c'est à dire la combinaison de l'alliage de jauge et du support. Ce choix se fera en consultant le tableau de la page

6 qui indique la série conseillée en fonction des impératifs de l'essai. Si l'on prévoit une option particulière il est conseillé de vérifier la comptabilité de cette option au moment du choix de la série.

Après le choix de la série (et de l'option éventuelle) l'utilisateur se référera au catalogue 500 pour chercher si la taille, la géométrie et la série choisies existent. Si cette combinaison n'est pas référencée dans le catalogue, on cherchera si une autre jauge de même taille ou de taille légèrement différente et de même géométrie peut répondre aux besoins de l'essai. Dans certains cas, très rares, il peut être nécessaire de choisir une autre série et de recommencer l'opération. Très généralement, surtout pour les mesures classiques, il existe plusieurs types de jauges dont la taille et la géométrie peuvent convenir.

Dans ces cas on aura intérêt à choisir une jauge dans le super stock afin d'éviter les problèmes de disponibilité. Comme indiqué page 8, pour le choix d'une géométrie, il y a souvent avantage à choisir une jauge de 350 ohm si cette valeur est compatible avec l'instrument de mesure. Cette décision peut cependant être influencé par des considérations de prix, surtout pour les très petites jauges. De plus, la tenue en fatigue de ces petites jauges de résistance élevée est réduite. Finalement pour avoir la désignation exacte de la jauge il faut également inclure le nombre d'autocompensation (STC) à partir de la liste de la page 4 du catalogue 500 (partie A).

Pour passer en revue tous les paramètres à prendre en compte dans le choix d'une référence de jauge, une checklist a été établie, à la page suivante. On s'y référera si nécessaire.

#### LES DIFFÉRENTES ÉTAPES CONCERNANT LE CHOIX DE LA JAUGE

#### EA-06-250BF-350 — OPTION LE

Etape 1 — LONG. DE LA JAUGE

Etape 2 — GÉOMÉTRIE

Etape 3 — SÉRIE

Etape 4 — OPTION (EVENTUEL.)

Etape 5 — RESISTANCE

Etape 6 — AUTOCOMPENSATION

### 3.0 Checklist de sélection

Cette checklist est destinée à passer en revue les questions qu'il convient de se poser pour le choix d'une jauge. Les considérations prises en compte concernent les applications courantes de l'analyse des contraintes et ne tiennent pas compte de certaines applications spéciales comme les radiations, les champs magnétiques intenses ou les forces centrifuges extrêmes.

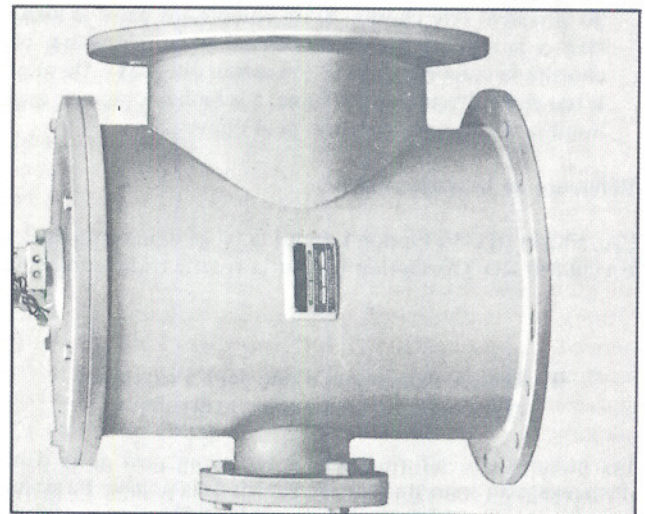
CONSIDERATIONS POUR LA SÉLECTION DES PARAMÈTRES	
<b>Etape N° 1</b> <b>Longueur de jauge</b>	<input type="checkbox"/> Gradients de contraintes <input type="checkbox"/> Zone de déformation maximale <input type="checkbox"/> Précision requise <input type="checkbox"/> Stabilité des mesures statiques <input type="checkbox"/> Elongation maximale <input type="checkbox"/> Endurance en fatigue <input type="checkbox"/> Dissipation thermique <input type="checkbox"/> Espace disponible pour le collage <input type="checkbox"/> Facilité d'installation
<b>Etape N° 2</b> <b>Géométrie de la jauge</b>	<input type="checkbox"/> Gradients de contraintes (dans le plan et perpendiculairement à la surface) <input type="checkbox"/> Biaxialité des contraintes <input type="checkbox"/> Dissipation thermique <input type="checkbox"/> Espace disponible pour le collage <input type="checkbox"/> Facilité d'installation <input type="checkbox"/> Disponibilité de la valeur ohmique
<b>Etape N° 3</b> <b>Série de la jauge</b>	<input type="checkbox"/> Type de mesures (statiques, dynamiques, domaine élastique ou plastique) <input type="checkbox"/> Température de l'essai <input type="checkbox"/> Durée de l'essai <input type="checkbox"/> Tenue en fatigue <input type="checkbox"/> Précision requise <input type="checkbox"/> Facilité d'installation
<b>Etape N° 4</b> <b>Options</b>	<input type="checkbox"/> Type de mesures (statiques ou dynamiques, domaine élastique ou plastique) <input type="checkbox"/> Environnement (laboratoire ou chantier) <input type="checkbox"/> Stabilité requise <input type="checkbox"/> Sensibilité de la structure aux effets de la soudure (plastique, os, etc...) <input type="checkbox"/> Espace disponible pour le collage <input type="checkbox"/> Rapidité de la mise en œuvre
<b>Etape N° 5</b> <b>Valeur ohmique</b>	<input type="checkbox"/> Dissipation thermique <input type="checkbox"/> Désensibilisation de ligne <input type="checkbox"/> Rapport signal/bruit
<b>Etape N° 6</b> <b>Valeur d'autocompensation</b> <b>Nombre de STC</b>	<input type="checkbox"/> Matériau de la structure <input type="checkbox"/> Température de fonctionnement <input type="checkbox"/> Précision requise

### 4.0 Exemples de choix d'une jauge

Dans ce chapitre, trois exemples représentatifs de cas réels de l'analyse des contraintes sont étudiés et les raisons du choix des jauges sont expliquées. On notera cependant qu'un utilisateur averti ne procédera pas selon la méthode pas à pas, décrite dans ces exemples. En effet, il aura à l'esprit les conditions de l'essai et de l'environnement ainsi que les contraintes de l'installation et, à l'aide de la section A du catalogue 500, il sélectionnera rapidement la meilleure combinaison de géométrie et de série correspondant à son essai.

#### A. Etude d'un récipient sous pression

Les mesures de déformations sont effectuées sur un modèle en plastique, à échelle réduite, d'un récipient sous pression. Le modèle sera testé en statique autour de l'ambiante et, bien que les essais, au total, devront durer plusieurs mois, chaque essai, en particulier, ne durera que quelques heures.



#### Choix de la jauge :

- 1. Longueur de la jauge** — De très petites jauges sont à éviter en raison des fortes dissipations thermiques et de la mauvaise conductibilité thermique du plastique. Le modèle est assez grand et, apparemment, sans gradient de contrainte important. Une jauge de 6,3 mm sera conseillé en raison de la grande disponibilité dans cette taille.
- 2. Géométrie de jauge** — Dans certaines zones du modèle, les directions des contraintes sont évidentes par symétrie et des jauges simples peuvent être utilisées. La jauge 250 BF est un bon compromis en raison de sa résistance élevée qui permet de réduire les problèmes de dissipation thermique.

Dans d'autres zones du modèle, les directions des contraintes ne sont pas connues et une rosette à trois éléments sera nécessaire. On préférera une rosette plane à une rosette superposée en raison des effets de renforcement et de la dissipation thermique. A cause de sa valeur ohmique, on préférera la 250 RD.

3. *Série* — Le support polyimide sera préféré en raison de son faible module qui minimise les effets de renforcement sur le plastique. Comme l'alliage de jauge recommandé pour les mesures statiques à l'ambiante est l'alliage A (constantan) la série EA sera choisie pour cette application.
4. *Options* — Une chaleur excessive au cours du câblage peut endommager le matériau de la structure. L'option L (précâblage des fils) sera choisie pour éviter d'avoir à souder des fils sur la jauge. L'option L sera préférée à l'option LE afin d'éviter l'effet de renforcement de l'encapsulation.
5. *Résistance de la jauge* — La résistance a déjà été choisie au paragraphe 2 lors du choix de la géométrie ; en effet, en choisissant la 250 BF au lieu de la 250 BG et la 250 RD au lieu de la 250 RA, la résistance de 350 ohms était déjà définie.
6. *Autocompensation en température* — En théorie, les jauges doivent être autocompensées pour le matériau sur lequel elles sont collées mais ce n'est pas toujours possible car les plastiques et surtout les plastiques renforcés ont des coefficients de dilatation très différents. Pour des plastiques non renforcés, des nombres d'autocompensation de 30, 40 ou 50 devraient être choisis. Si un compromis entre le matériau et le nombre d'autocompensation est nécessaire, on choisira la compensation 13 (en raison du stock). De plus, le test étant effectué à l'ambiante, à la limite, n'importe quel nombre d'autocompensation peut convenir.

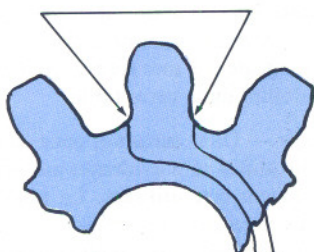
**Référence de la jauge choisie :**

EA -30-250 BF-350/Option L (pour la jauge unidirectionnelle)  
EA-30-250 RD-350/Option L pour la rosette tridirectionnelle

**B. Analyse dynamique d'une dent d'engrenage cylindrique sur une pompe hydraulique**

Les mesures des déformations se feront au pied de la dent d'engrenage au cours du fonctionnement de la pompe. Le rayon de raccordement de la dent est d'environ 3 mm et la température de l'essai variable entre -20 et +80 °C.

**EMPLACEMENT DES JAUGES**



**Choix de la jauge**

1. *Longueur de jauge* — Une jauge de petite taille comparée au rayon de courbure sera conseillée. La taille de 0,38 mm serait théoriquement la meilleure mais, compte tenu du choix limité de géométries et d'alliages dans le catalogue 500 A, on lui préférera une jauge de 0,8 mm.
2. *Géométrie de la jauge* — Comme l'engrenage est un engrenage cylindrique, les directions des axes principaux sont connues et une jauge simple pourra être utilisée. Une jauge avec les pattes de sortie du même côté pour faciliter le câblage sur le côté de l'engrenage sera conseillé : la 031 CF semble répondre à cet objectif.
3. *Série* — De faibles niveaux de contraintes sont attendus et, de plus, les signaux devront être transmis par des contracteurs tournants ou bien par télémetrie. L'alliage isoélastique (D) est conseillé en raison de son facteur de jauge élevé (3,2 au lieu de 2,1 pour les alliages A ou K). Comme la jauge doit être souple et flexible pour épouser la forme du rayon de raccordement, le support E semble être le meilleur choix. La température de l'essai n'est pas un facteur de choix important car tous les supports sont utilisables dans ce domaine de température. La combinaison du support E et de l'alliage D définit la série ED.
4. *Options* — Pour une bonne protection de la jauge au cours de l'essai, il est conseillé de choisir l'option E qui correspond à l'encapsulation de la jauge. En raison du faible espace disponible entre les dents de l'engrenage en fonctionnement, une installation très plate devra être réalisée avec des fils très fins qui seront fixés à 90° de la direction de la jauge pour être reliés à des fils plus gros, sur le côté de l'engrenage. Cet impératif empêche l'emploi des jauges précâblées (option L).
5. *Résistance* — La série ED de la jauge 031 CF est disponible en 350 ohms. La plus forte valeur ohmique est conseillée, quand le choix existe, afin de réduire le rapport signal/bruit, surtout dans le cas des contacteurs tournants.
6. *Autocompensation* — L'alliage D n'est pas autocompensé mais pour des essais dynamiques, lorsque seule la déformation dynamique est à mesurer, l'autocompensation n'est pas nécessaire. Dans le cas de la série ED, le nombre d'autocompensation est remplacé par DY pour "dynamique".

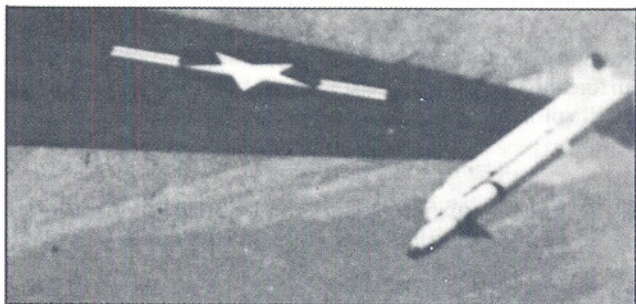
**Référence de la jauge choisie :**

En tenant compte des impératifs cités plus haut, la jauge choisie sera du type

ED-DY-031 CF-350/Option E

### C. Essais en vol d'une extrémité d'aile en titane — avec et sans missile

La température en cours d'essai qui peut varier entre  $-55$  et  $+230$  °C, constitue le facteur le plus important pour le choix de la jauge.



#### Choix de la jauge :

1. *Longueur* — Une étude préliminaire par revêtements photoélastiques a montré qu'une longueur de 1,6 mm était le meilleur compromis compte tenu des gradients de contraintes et de l'espace disponible pour l'installation des jauges.
2. *Géométrie* — Les informations fournies par l'étude photoélastique permettent de placer des jauges simples et des jauges en T en certains points. Aux endroits où les directions principales des déformations varient avec les manœuvres de l'avion des rosettes rectangulaires seront conseillées. Les

gradients sont suffisamment importants pour nécessiter l'emploi de rosettes superposées. En consultant le catalogue 500 A, les rosettes 060 WT et 060 WR seront choisies ainsi que les 062 AP pour les jauges simples. En faisant cette sélection, on s'assurera que ces jauges sont disponibles dans la série WK qui est compatible avec le domaine de température de l'essai.

3. *Série* — Le large domaine de température nécessite le choix de l'alliage K comme métal de jauge. Les séries SK ou WK peuvent être choisies mais on préférera la jauge WK en raison de son précâblage en série.
4. *Options* — Pour simplifier l'installation, on pourrait conseiller l'option W (cosses relais intégrées) mais cette option n'existe pas avec les rosettes superposées. Elle n'est disponible qu'avec les jauges simples.
5. *Résistance* — Lorsqu'elles sont disponibles, les jauges 350 ohms seront préférées en raison des avantages de la résistance élevée.
6. *Autocompensation* — Le titane utilisé est du type 6A1-4V qui possède un coefficient de dilatation de  $4,9 \cdot 10^{-6}$  par °F ( $8,8 \times 10^{-6}$  par °C). L'alliage K avec l'autocompensation 05 correspond au meilleur choix.

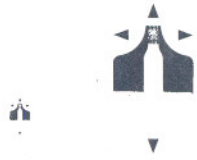
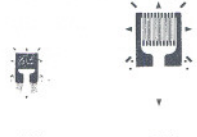

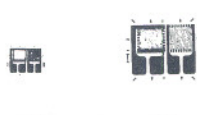
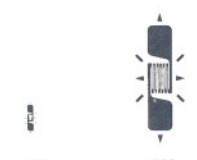



#### Référence de la jauge choisie :

WK-05-062AP-350/Option W  
WK-05-060WT-350  
WK-05-060WR-350      Pour les rosettes

Les jauges décrites ci-dessous représentent les types les plus fréquemment utilisés pour les applications courantes de l'analyse des contraintes. Les longueurs de grille varient de 0,4 à 13 mm et les jauges unidirectionnelles sont représentées à l'échelle 1 avec les rosettes à 2 et 3 directions. De plus, quelques jauges doubles en chevron ont été sélectionnées pour des mesures de cisaillement ou de torsion. Des jauges 120 et 350 ohms ont été choisies.

La sélection des jauges à partir de cette liste garantit un délai de livraison très court ainsi qu'un prix avantageux. Les jauges du type CEA sont recommandées en premier choix compte-tenu de leur facilité de mise en œuvre : en effet leurs larges pattes de sorties renforcées en cuivre permettent la fixation des câbles sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des cosses relais.

Toutes les jauges décrites ci-dessous appartiennent au "Super Stock". Nous garantissons la livraison d'au moins 10 paquets en compensation 06 ou 13. Si l'application nécessite l'emploi d'une jauge qui n'est pas décrite ci-dessous, il est conseillé de consulter le catalogue 500 A.

<b>GÉOMÉTRIE DE LA JAUGE</b> Taille réelle grossie si nécessaire pour une meilleure définition.	<b>TYPE</b>	<b>GÉOMÉTRIE DE LA JAUGE</b> Taille réelle grossie si nécessaire pour une meilleure définition.	<b>TYPE</b>
<b>015UW</b> <span style="background-color: #e0e0e0;">TYPE "CEA"</span> 	Microgrille avec larges pattes de sortie renforcées destinée à la mesure des gradients de contraintes élevées. Dimension des pattes 1,8 x 1 mm  CEA-XX-015UW-120	<b>062UW</b> <span style="background-color: #e0e0e0;">TYPE "CEA"</span> 	Petite jauge d'usage général avec larges pattes de sortie renforcées. Dimensions des pattes 1,8 x 1 mm  CEA-XX-062UW-120 CEA-XX-062UW-350
<b>032UW</b> <span style="background-color: #e0e0e0;">TYPE "CEA"</span> 	Jauge miniature avec larges pattes de sortie destinée à la mesure des gradients de contraintes élevées. Dimension des pattes 1,8 x 1 mm  CEA-XX-032UW-120	<b>062TT</b> 	Usage général, 2 éléments à 90° Les deux grilles sont indépendantes.  EA-XX-062TT-120
<b>031DE</b> 	Jauge miniature pour la mesure des concentrations de contraintes (filets, trous etc...)  EA-XX-031DE-120	<b>125AD</b> 	Usage très général. Les séries ED, WD, DY sont recommandées pour les mesures de fatigue. La série WK est destinée aux mesures à haute température.  EA-XX-125AD-120 WK-XX-125AD-350
<b>062AP</b> 	Petite jauge d'usage général. La série WK est recommandée pour les températures élevées.  EA-XX-062AP-120 WK-XX-062AP-350	<b>125UN</b> <span style="background-color: #e0e0e0;">TYPE "CEA"</span> 	Jauge étroite d'usage général avec sorties larges renforcées. Dimensions des sorties 1,5 x 1,1 mm  CEA-XX-125UN-120 CEA-XX-125UN-350

## GÉOMÉTRIE DE LA JAUGE

Taille réelle grossie si nécessaire pour une meilleure définition.

## TYPE

125UW

TYPE "CEA"

Jauge CEA la plus utilisée. Dimensions des pattes 2,5 x 1,8 mm



CEA-XX-125UW-120  
CEA-XX-125UW-350

## GÉOMÉTRIE DE LA JAUGE

Taille réelle grossie si nécessaire pour une meilleure définition.

## TYPE

187UV

TYPE "CEA"

Rosette 2 éléments à 90° pour mesure de torsion et de cisaillement. Sortie électrique commune. Dimensions des sorties renforcées 3,3 x 2 mm.



CEA-XX-187UV-120  
CEA-XX-187UV-350

125B

Grille étroite avec sorties longues. Usage général.



EA-XX-125BB-12

250BG

Jauge à usage très général. La série EP est conseillée pour des allongements > 20%.



EA-XX-250BG-120  
EP-08-250BG-120  
WA-XX-250BG-120  
WK-XX-250BG-350

125BT

Grille étroite et géométrie compacte. Usage général.



1X



2X

EA-XX-125BT-120

250UN

TYPE "CEA"

Jauge étroite à sorties renforcées. Dimensions des sorties 2 x 1,1 mm



CEA-XX-250UN-120  
CEA-XX-250UN-350

125UR

TYPE "CEA"

Rosette 3 éléments à 45° avec sorties renforcées. Dimensions des sorties 2 x 1,5 mm



CEA-XX-125UR-120  
CEA-XX-125UR-350

250UW

TYPE "CEA"

Jauge et sorties plus larges que la 250 UN ci-dessus. Dimensions des sorties 2,5 x 1,8 mm



CEA-XX-250UW-120  
CEA-XX-250UW-350

125UT

TYPE "CEA"

2 éléments à 90° pour usage général. Dimensions des sorties renforcées 2,5 x 1,8 mm.



CEA-XX-125UT-120  
CEA-XX-125UT-350

250UR

TYPE "CEA"

Grande rosette de 3 éléments à 45° avec sorties renforcées. Dimensions des pattes 2,5 x 1,8 mm



CEA-XX-250UR-120  
CEA-XX-250UR-350

125TK

Résistance élevée. 2 éléments à 90° pour mesure de couples de torsion.



EA-XX-125TK-350

500UW

TYPE "CEA"

Jauge longue à usage très général. Dimensions des sorties renforcées 2,5 x 1,8 mm.



CEA-XX-500UW-120

20CBW

Jauge longue pour béton et intégration des déformations sur grandes structures.



# Instrumentes de mesures extensométriques

Pour compléter l'installation des jauges, des instruments de précision, faciles à utiliser, ont été conçus par le Measurement Group pour répondre aux besoins des utilisateurs les plus exigeants.

## Pour les mesures statiques

Le P 3500 est un pont d'extensométrie portatif de précision alimenté par piles et équipé d'un affichage 4 - 1/2 digits à cristaux liquides. Il peut être complété par le boîtier de commutation 10 voies type SB 10.

*Pour plus de détails, consulter le bulletin 245.*

Le P 3800 est un pont d'extensométrie de laboratoire qui se caractérise pour une large gamme de réglage du facteur de jauge et de la tension d'excitation. Sa résolution peut atteindre 0,1  $\mu\text{m}/\text{m}$ . Il peut également être utilisé comme conditionneur de capteurs à jauges.

