

# Mesurer avec Electronic-Scale



## Contenu

<i>MESURER AVEC ELECTRONIC SCALE</i> .....	<b>2</b>
<i>1. Précision des instruments de mesure à affichage numérique</i> .....	<b>2</b>
<i>2. Précision de l'ELECTRONIC SCALE</i> .....	<b>2</b>
<i>3. Support de mesure</i> .....	<b>3</b>
<i>4. Température</i> .....	<b>3</b>
<i>5. Humidité</i> .....	<b>5</b>
<i>6. Parallaxe</i> .....	<b>6</b>
<i>7. Sensibilité visuelle du contrôleur</i> .....	<b>7</b>

# MESURER AVEC ELECTRONIC SCALE *(abrégé : ES)*

Les résultats de mesure peuvent être influencés par les événements les plus divers. Ainsi, pour effectuer des mesures correctes, il faut, d'une part, que certaines conditions techniques soient remplies et, d'autre part, qu'on dispose d'une connaissance suffisante de toutes les interactions afin que les résultats obtenus puissent être interprétés correctement.

Facteurs d'influence:

- précision et caractéristiques physiques du dispositif étalon / appareil de mesure
- plage de mesure (l'imprécision croît en fonction de la taille de la zone, en principe de manière non linéaire, mais (légèrement) exponentielle)
- condition de mesure (planéité du support de mesure, erreur de parallaxe, principe d'Abbe, etc.)
- climat:
  - o température (température ambiante, chaleur rayonnante de l'éclairage, température corporelle de l'opérateur en cas de contact, ...)
  - o humidité (par exemple pour le papier ou les films plastiques)
  - o durée/degré d'acclimatation
- caractéristiques physiques de la pièce contrôlée (coefficient de dilatation, etc.)
- netteté des arêtes de l'objet à mesurer
- contrôleur / utilisateur (connaissances, expérience et sensibilité (visuelle))

## 1. Précision des instruments de mesure à affichage numérique

Pour les instruments de mesure à affichage numérique, il faut noter qu'en règle générale la valeur affichée ne correspond pas au résultat effectif de la mesure. Cela résulte, d'une part, par le fait que les valeurs intermédiaires (positions derrière le dernier chiffre affiché) sont arrondies et, d'autre part, par le fait que l'affichage ne tient compte ni de l'imprécision de l'appareil ni des influences exercées par le personnel opérateur, etc.

En principe, le fabricant fournit des valeurs de tolérance pour l'imprécision de l'appareil, l'écart par rapport à la mesure réelle devant se situer dans ces plages de valeurs.

Exemple pour un appareil de mesure d'une précision garantie de  $\pm 0.05$  mm:

valeur affichée à l'écran = 347.12 mm

la valeur réelle peut se situer quelque part entre 347.07 mm et 347.17 mm.

On confond souvent la « *fidélité de reproduction* » et la « *résolution* » avec la « *précision* » de mesure effective d'un appareil. Les trois termes présentent néanmoins des significations très différentes. La « *fidélité de reproduction* » exprime l'ampleur de la dispersion lorsque la même unité est mesurée plusieurs fois. En revanche, la « *résolution* » est la finesse de l'affichage ou exprime les plus petites unités affichées (par exemple : 0,01 mm pour l'ES ; les valeurs intermédiaires sont arrondies).

## 2. Précision de l'ELECTRONIC SCALE

Les facteurs qui influencent la précision d'un appareil de mesure (par exemple ES) sont:

- la structure (géométrie des barres, interaction des éléments, plage de mesures, prise en compte de principes de base métrologiques comme le principe du comparateur d'Abbe, la parallaxe, etc.)
- le système optique
- le dispositif électronique (en tant qu'élément d'évaluation) (pour ES:  $\pm 0.01$  mm)
- la précision du condensateur étalon (élément d'impulsion)

Il n'existe pas d'appareil de mesure d'une précision absolue. L'ELECTRONIC SCALE présente également quelques insuffisances. Les marges d'incertitude, d'après le fabricant, sont les suivantes:

ES 180	:	0.03 mm
ES 300	:	0.03 mm
ES 500	:	0.03 mm
ES 800	:	0.04 mm
ES 1000	:	0.05 mm
ES 1300	:	0.08 mm
ES 1500	:	0.10 mm

Ces informations ne sont pas à considérer comme des variations en plus/moins, mais correspondent, chacune d'entre elles, à la « marge d'erreur » globale. Pour l'ES 800, par exemple, l'ensemble des incertitudes doit rester dans une plage de 0,04 mm au maximum. Cela signifie en pratique, pour l'exemple ES 800, que les écarts trouvés lors des contrôles doivent se situer dans une plage.

	de	-0.04 mm	à	0.00 mm (cas extrême inférieur)
ou	de	-0.03 mm	à	+0.01 mm
ou	de	-0.02 mm	à	+0.02 mm
ou	de	-0.01 mm	à	+0.03 mm
ou	de	0.00 mm	à	+0.04 mm (cas extrême supérieur)

Chaque ES est accompagné d'un rapport de contrôle afin que l'utilisateur sache dans quelle plage de tolérance son appareil fonctionne. Mais il faut néanmoins noter que les valeurs de mesure fournies indiquent uniquement la tendance et qu'elles ne peuvent pas être utilisées comme valeurs correctrices absolues, dans la mesure où le point zéro peut être fixé au choix sur l'ES.

### 3. Support de mesure

La déformation de l'échantillon et/ou de l'appareil de contrôle provoque des incertitudes de mesure. Un bon support est nécessaire pour obtenir des résultats de mesure précis. Que ce soit une table lumineuse ou toute autre plaque de mesure, elles ne doivent pas se déformer. La planéité s'intègre directement dans le résultat.

### 4. Température

Dans la pratique, on ne tient souvent pas suffisamment compte de l'influence de la température (tout comme « l'humidité » traitée au point 5) si on ne la néglige pas totalement. Le fait que divers matériaux se dilatent différemment en cas de variation de température entraîne des interprétations erronées des résultats de mesure.

L'exemple suivant illustre cette problématique:

Objet mesuré / échantillon:	Film polyester
Instrument de mesure:	ES 1000 (en acier CrNi)
Température de l'objet mesuré:	30 °C (sur la table lumineuse !)
Température de la règle:	20 °C
Ligne de mesure:	1000 mm

La dilatation thermique répond à la formule suivante:

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T \quad \text{où}$$

$\Delta L$ :	Variation de longueur
L:	Longueur
$\alpha$ :	Coefficient de dilatation thermique
$\Delta T$ :	Différence de température

Le coefficient de dilatation thermique  $\alpha$  du polyester s'établit à:  $27 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Il en résulte la variation de longueur suivante pour le film (sur 1000 mm pour 10 °C de différence de température):

$$\Delta L = L \times C_{dT} \times \Delta T = 1000 \text{ mm} \times 27 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C} = 0.27 \text{ mm}$$

L'erreur se réduit si la règle est à la même température que le film (dilatation thermique de l'acier CrNi :  $11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ). Dans notre exemple, l'augmentation de la longueur s'établit à:

$$\Delta L = L \times C_{dT} \times \Delta T = 1000 \text{ mm} \times 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C} = 0.115 \text{ mm}$$

Comme la mesure est trop courte avec une règle trop longue, la valeur déterminée précédemment pour le film polyester se corrige de ces 0.115 mm.

L'erreur de mesure résultant s'établit ainsi à:  $0.27 \text{ mm} - 0.115 \text{ mm} = 0.155 \text{ mm}$ .

Cet exemple illustre nettement l'influence de la température et il est important de connaître les températures effectives, mais également les propriétés physiques de l'échantillon et du dispositif de contrôle. - Si l'on pose l'échantillon et le dispositif étalon sur la table lumineuse chaude, le film (l'échantillon) absorbe rapidement la chaleur alors que la règle en acier (dispositif de contrôle) met un peu plus de temps. Durant cette période d'adaptation, les températures précises ne sont en principe pas connues et l'on ne sait pas encore à quel point l'échantillon et le dispositif de contrôle se sont adaptés. Aucune mesure précise ne peut être obtenue pendant cette période ! (voir également  *Acclimatation*).

### Exemples chiffrés de la dilatation en fonction du matériau, de la température et de la longueur:

a) Dilatation de l'acier CrNi

(Coefficient de dilatation  $C_{dT} = 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )

Différence de température	Longueur mesurée / Variation de la longueur (toutes les dimensions sont en mm)					
	100	200	300	400	500	1000
1 °C	0.00115	0.00230	0.00345	0.00460	0.00575	0.01150
2 °C	0.00230	0.00460	0.00690	0.00920	0.01150	0.02300
3 °C	0.00345	0.00690	0.01380	0.01840	0.02300	0.03450
4 °C	0.00460	0.00920	0.01380	0.01840	0.02300	0.04600
5 °C	0.00575	0.01150	0.01725	0.02300	0.02875	0.05750

b) Dilatation du verre

(Coefficient de dilatation  $C_{dT} = 9.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )

Différence de température	Longueur mesurée / Variation de la longueur (toutes les dimensions sont en mm)					
	100	200	300	400	500	1000
1 °C	0.00090	0.00180	0.00270	0.00360	0.00450	0.00900
2 °C	0.00180	0.00360	0.00540	0.00720	0.00900	0.01800
3 °C	0.00270	0.00540	0.00810	0.01080	0.01350	0.02700
4 °C	0.00360	0.00720	0.01080	0.01440	0.01800	0.03600
5 °C	0.00450	0.00900	0.01350	0.01800	0.02250	0.04500

c) Différence de dilatation de l'acier CrNi par rapport au verre

Différence de température	Longueur mesurée / Variation de la longueur (toutes les dimensions sont en mm)					
	100	200	300	400	500	1000
1 °C	0.00025	0.00050	0.00075	0.00100	0.00125	0.00250
2 °C	0.00050	0.00100	0.00150	0.00200	0.00250	0.00500
3 °C	0.00075	0.00150	0.00225	0.00300	0.00375	0.00750
4 °C	0.00100	0.00200	0.00300	0.00400	0.00500	0.01000
5 °C	0.00125	0.00250	0.00375	0.00500	0.00625	0.01250

Rem.: Les coefficients de dilatation présentés sont des exemples et ils ne s'appliquent pas à toutes les sortes de matériaux !

## 5. Humidité

L'humidité ne provoque aucune variation de longueur sur l'ELECTRONIC SCALE. Mais elle peut exercer une influence sur l'objet mesuré, comme c'était le cas sur l'échantillon de l'exemple présenté précédemment (film polyester).

La dilatation par absorption d'humidité répond à la formule suivante:

$$\Delta L = L \times C_{dF} \times \Delta T \quad \text{où}$$

$\Delta L$ : Variation de longueur  
L: Longueur  
 $C_{dF}$ : Coefficient de dilatation hygrométrique  
 $\Delta T$ : Différence de température

Pour le polyester, le coefficient de dilatation hygrométrique s'établit à:  $12 \times 10^{-6} / \%HR$  (humidité relative).

Le film subit ainsi une variation de longueur (sur 1000 mm pour une variation de 10 %HR):

$$\Delta L = L \times C_{dF} \times \Delta T = 1000 \text{ mm} \times 12 \times 10^{-6} / \%HR \times 10 \%HR = 0.12 \text{ mm}$$

**Attention:** L'absorption d'eau et la dessiccation sont des processus longs en fonction de la structure de l'objet, et peuvent souvent durer plusieurs jours !

### ■ Acclimatation:

En raison de la forte influence de la température et de l'humidité sur la précision, il est extrêmement important d'accorder à l'échantillon et au dispositif de mesure suffisamment de temps pour s'adapter aux conditions préexistantes. Si l'acclimatation est entièrement achevée, les influences de la température et de l'humidité (pour autant que les coefficients correspondants soient connus) peuvent être relativement facilement compensées par le simple calcul à l'aide de la formule précédente. Mais si l'acclimatation est encore en cours (par exemple pour un film en matière plastique après seulement 24 h ou 48 h), on n'en connaît pas l'avancement ou la modification devant encore intervenir. Une compensation calculée ou une mesure en toute certitude n'est pas possible.

## Exemples chiffrés des écarts de mesure d'un film polyester en fonction de la température et de la longueur ou de l'humidité relative et de la longueur:

A) Ecart dimensionnel en cas de variation de température

(Coefficient de dilatation  $C_{dT} = 27 \times 10^{-6} / ^\circ C$ )

Différence de température	Longueur mesurée / Variation de la longueur (toutes les dimensions sont en mm)					
	100	200	300	400	500	1000
1 °C	0.0027	0.0054	0.0081	0.0108	0.0135	0.0270
2 °C	0.0054	0.0108	0.0162	0.0216	0.0270	0.0540
3 °C	0.0081	0.0162	0.0243	0.0324	0.0405	0.0810
4 °C	0.0108	0.0216	0.0324	0.0432	0.0540	0.1080
5 °C	0.0135	0.0270	0.0405	0.0540	0.0675	0.1350
6 °C	0.0132	0.0324	0.0486	0.0648	0.0810	0.1620
7 °C	0.0189	0.0378	0.0567	0.0756	0.0945	0.1890
8 °C	0.0216	0.0432	0.0648	0.0864	0.1080	0.2160
9 °C	0.0243	0.0486	0.0729	0.0972	0.1215	0.2430
10 °C	0.0270	0.0540	0.0810	0.1080	0.1350	0.2700

Différence % HR	Longueur mesurée / Variation de la longueur (toutes les dimensions sont en mm)					
	100	200	300	400	500	1000
1 °C	0.0012	0.0024	0.0036	0.0048	0.0060	0.0120
2 °C	0.0024	0.0048	0.0072	0.0096	0.0120	0.0240
3 °C	0.0036	0.0072	0.0108	0.0144	0.0180	0.0360
4 °C	0.0048	0.0096	0.0144	0.0192	0.0240	0.0480
5 °C	0.0060	0.0120	0.0180	0.0240	0.0300	0.0600
6 °C	0.0072	0.0144	0.0216	0.0288	0.0360	0.0720
7 °C	0.0084	0.0168	0.0252	0.0336	0.0420	0.0840
8 °C	0.0096	0.0192	0.0288	0.0384	0.0480	0.0960
9 °C	0.0108	0.0216	0.0324	0.0432	0.0540	0.1080
10 °C	0.0120	0.0240	0.0360	0.0480	0.0600	0.1200

Rem.: Les coefficients de dilatation présentés sont des exemples et ils ne s'appliquent pas à toutes les sortes de matériaux !

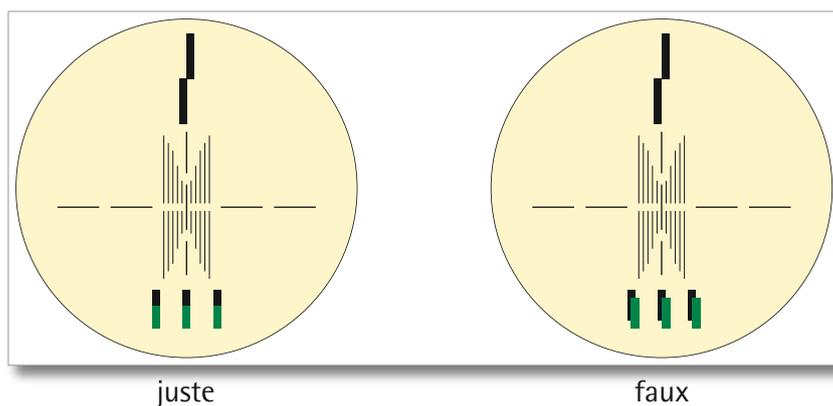
### Loupe ou microscope ?

L'ELECTRONIC SCALE propose un choix de différents auxiliaires optiques pour le repérage des lignes de mesure. D'une part, une loupe à grossissement 10x et, d'autre part, des microscopes spécialement conçus pour cette utilisation avec un grossissement soit de 25x soit de 50x.

La loupe de précision utilisée dans le modèle standard possède les avantages d'un angle de vue plus large et d'une représentation latérale. Mais elle présente malheureusement le grand inconvénient de la parallaxe.

### 6. Parallaxe

S'il y a un espace intermédiaire entre les lignes de la plaque graduée du dispositif de mesure et les lignes figurant sur l'objet à mesurer, l'erreur de mesure est constituée si la direction du regard dans la loupe n'est pas exactement verticale.



L'erreur de mesure croît avec la distance entre la marque de mesure sur la plaque graduée et la ligne à mesurer sur l'échantillon et avec l'écart angulaire de l'axe de visée par rapport à la verticale.

Le « contrôle de la parallaxe » de l'ELECTRONIC SCALE permet à l'utilisateur de contrôler l'angle de visée.

Ce n'est que si les champs superposés sont ajustés de manière optimale les uns aux autres que l'observateur regarde verticalement sur les repères. La plaque graduée soigneusement conçue de l'ES et bien utilisée contribue ainsi à réduire la marge d'interprétation individuelle et de réduire l'incertitude et la dispersion des résultats de mesure de divers opérateurs à un niveau minimal.

Dans les systèmes optiques à plusieurs lentilles, comme un microscope, l'axe optique est donné par le système de lentilles. Un angle de visée oblique n'est ainsi pas possible comme pour une loupe et il n'y a pas d'erreur de parallaxe. Outre le grossissement plus important, c'est l'avantage principal d'un microscope. Les inconvénients d'un microscope sont l'angle de vue plus réduit et l'inversion de l'image représentée. Ce qui apparaît en haut se situe en bas; ce qui apparaît à gauche se situe à droite. C'est un peu troublant lors des premiers travaux réalisés au microscope. Mais on s'y habitue généralement assez vite.

## 7. Sensibilité visuelle du contrôleur

C'est en forgeant qu'on devient forgeron ! – le travail récurrent ou régulier permet d'éduquer l'œil, et la sensibilité visuelle du contrôleur s'affine. On améliore la rapidité et la qualité de la lecture ainsi que la sécurité de l'interprétation.

### Les facteurs influençant le résultat des mesures

#### Facteurs d'influence généraux:

- précision et caractéristiques physiques du dispositif étalon / appareil de mesure
- plage de mesure (l'imprécision croît en fonction de la taille de la zone, en principe de manière non linéaire, mais (légèrement) exponentielle)
- condition de mesure (planéité du support de mesure, erreur de parallaxe, principe d'Abbe, etc.)
- climat:
  - o température (température ambiante, chaleur rayonnante de l'éclairage, température corporelle de l'opérateur en cas de contact, ...)
  - o humidité (par exemple pour le papier ou les films plastiques)
  - o durée/degré d'acclimatation
- caractéristiques physiques de la pièce contrôlée (coefficient de dilatation, etc.)
- netteté des arêtes de l'objet à mesurer
- contrôleur / utilisateur (connaissances, expérience et sensibilité (visuelle))

#### Facteurs influençant la précision d'un ELECTRONIC SCALE ou d'un dispositif similaire:

- la structure (géométrie des barres, interaction des éléments, plage de mesures, prise en compte de principes de base métrologiques comme le principe du comparateur d'Abbe, la parallaxe, etc.)
- le système optique
- le dispositif électronique (en tant qu'élément d'évaluation) (pour ES:  $\pm 0.01$  mm)
- la précision du condensateur étalon (élément d'impulsion)