

## Capteurs de déplacement sans contact de haute précision

### Une très large panoplie de technologies pour couvrir tous les besoins

Les capteurs de mesure de distance et de déplacement sans contact contribuent de plus en plus à la résolution de problèmes de mesure complexes :

Ils sont les seuls à pouvoir répondre aux exigences du contrôle à 100% sur les lignes de production de grandes séries ou les cycles de production sont incompatibles avec le temps nécessaire à l'amenée d'un capteur en contact physique avec la pièce.

Ils sont également utilisés pour ces types d'applications durant lesquelles il convient de ne pas endommager les objets à mesurer ou les surfaces hautement sensibles de ces derniers et pour lesquelles le capteur se doit de travailler sans usure.

A cela s'ajoutent des contraintes de contrôle de tolérances dimensionnelles de plus en plus serrées et des temps de cycle de plus en plus courts. Il n'existe malheureusement pas de «capteur universel miracle» qui permettrait de répondre efficacement à toutes les demandes.

Il est indispensable d'avoir à sa disposition une palette la plus large possible de technologies de mesure afin de pouvoir s'adapter à toutes les productions et à toutes les exigences qu'il s'agisse de temps de cycle, de type de surface de pièces, de type de contrôle à effectuer de précision de mesure etc...

Les capteurs à courants de Foucault ainsi que ceux à triangulation laser ont su faire leur preuve au même titre que les capteurs capacitifs ou à mesure confocale. Les capteurs de mesure sans contact sont disponibles dans les technologies et les types les plus divers. Cependant, l'offre globale ne compte qu'un nombre réduit de capteurs «haute précision», c'est-à-dire capables de fournir à haute cadence et dans les conditions de la production de série des résultats hautement précis. Ce segment des capteurs rapides et précis est le domaine de prédilection des capteurs de Micro-Epsilon, expert dans le domaine du contrôle en ligne par la mesure dimensionnelle sans contact. Les capteurs satisfaisant ces critères sont désignés comme capteurs « haute précision ».

Ci-dessous des caractéristiques typiques de ce genre de capteurs:

- Linéarité:	< 0,2 % d.p.m.
- Résolution:	< 0,005 % d.p.m.
- Fréquence de mesure:	> sur 5 kHz
- Résistance thermique:	< 0,05 % d.p.m./K

Micro-Epsilon propose une très large gamme de ces capteurs répondant à ces critères de «haute précision».

Bien que très ciblée l'offre de capteurs sans contact dite de «haute précision » compte de nombreux produits s'appuyant sur une panoplie de technologies parmi lesquelles il n'est pas toujours facile de s'y retrouver pour trouver le capteur le mieux adapté au type d'application. Le présent document technique a pour but d'éclaircir le fonctionnement de chaque procédé et de vous aider à opter pour le principe de mesure le mieux adapté à vos besoins.

Il convient par ailleurs de noter que le capteur ne permet pas à lui seul d'obtenir le haut degré de précision souhaité. C'est l'ensemble formé par l'électronique (le contrôleur) haut de gamme, la mise en forme des signaux et le capteur lui-même qui permettra d'obtenir ce haut degré de précision.

**Sommaire:**

- Introduction
- Capteurs à courants de Foucault
- Capteurs capacitifs
- Capteurs à triangulation Laser
- Capteurs à mesure confocale
- Comparaison des principes



Capteurs capacitifs



Capteurs à mesure confocale



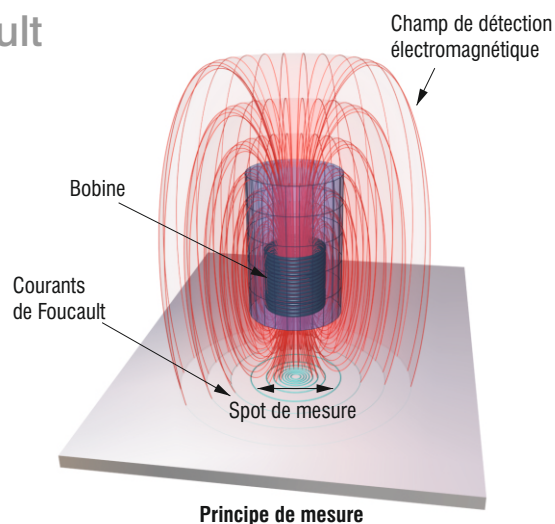
Capteurs à courants de Foucault



Capteurs à triangulation Laser

## Principe de mesure à courants de Foucault

Le principe de mesure à courants de Foucault n'est en fait rien d'autre qu'un procédé de mesure inductif. L'effet permettant la mesure par les courants de Foucault repose sur l'extraction d'énergie à partir d'un circuit oscillant. Cette énergie est nécessaire à l'induction de courants de Foucault dans les matériaux à conductivité électrique. Pour cela, une bobine est alimentée en courant alternatif, ce qui donne naissance à un champ magnétique autour de la bobine. Il suffit alors de placer un objet à conductivité électrique dans ce champ magnétique pour y voir se former conformément à la loi d'induction de Faraday - des courants de Foucault. Conformément à la loi de Lenz, le champ propre à ces courants de Foucault oppose une force à celui de la bobine, ce qui entraîne une modification de l'impédance de la bobine. Cette variation d'impédance dépend de l'écart entre le capteur et l'objet à mesurer et se traduit par un changement de l'amplitude de la tension de la bobine du capteur. Cette variation se présente sous la forme d'une grandeur mesurable correspondant à la variation de distance qui sera mise en forme dans un contrôleur.



### Avantages des systèmes de mesure de déplacement fonctionnant selon le principe des courants de Foucault :

- Utilisables pour tous les objets à conductivité électrique présentant ou non des propriétés ferromagnétiques
- Capteurs de petite taille
- Plage de température élevée
- Insensibilité au regard de l'encrassement, de la poussière, de l'humidité, de l'huile, des matières diélectriques situées dans la fente de mesure et des hautes pressions
- Haute précision de mesure

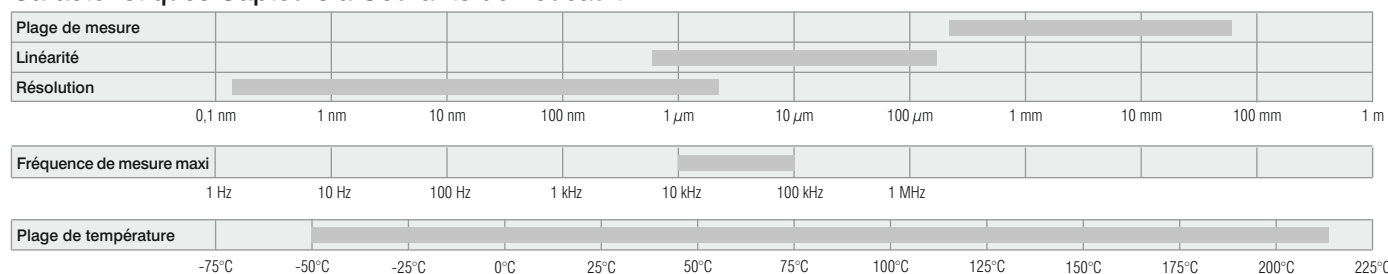


### Restrictions lors de l'utilisation :

- Le signal de sortie et la linéarité dépendent des propriétés électriques et magnétiques du matériau de l'objet à mesurer
- Nécessité de linéarisation et de calibrage via l'opérateur
- Longueur max. du cordon de raccordement du capteur : 15 m
- Plus le diamètre du capteur et donc le diamètre effectif du spot de mesure augmentent moyennant la mesure sur une surface de plus en plus grande.



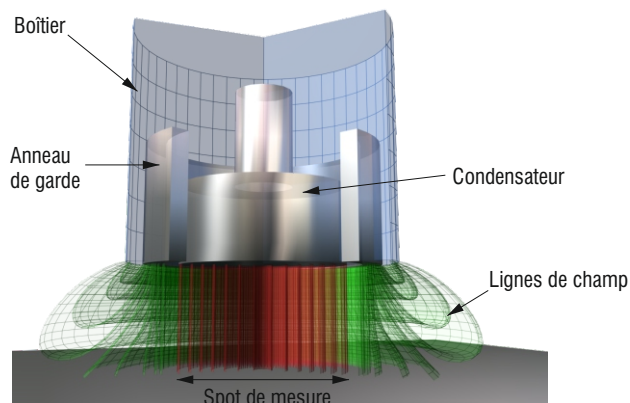
## Caractéristiques Capteurs à Courants de Foucault



## Principe de mesure capacitif

Dans le principe de mesure capacitive, le capteur et l'objet à mesurer agissent de manière similaire à un condensateur à plaques parfait. Si un courant alternatif de fréquence constante traverse le condensateur du capteur, l'amplitude de la tension alternative dans le capteur est proportionnelle à l'écart entre le capteur et l'objet à mesurer (masse - électrode).

Les capteurs ayant été conçus comme des condensateurs à anneaux de garde, il est dans la pratique possible d'obtenir une pente caractéristique de linéarité quasi idéale. Une constante diélectrique entre le capteur et l'objet à mesurer constitue cependant la condition sine qua non d'une mesure constante. Les capteurs capacitifs permettent également des mesures sur des matériaux isolants. Pour cette catégorie d'objets (isolants), un signal de sortie linéaire est rendu possible via câblage électronique.



Principe de mesure

### Avantages des capteurs capacitifs :

- Sensibilité et linéarité constantes pour tous les types d'objets à conductibilité
- Stabilité thermique excellente
- Egalement utilisables pour les objets à mesurer en matière isolante
- Haute flexibilité pour ce qui est de la mise en forme géométrique du capteur (électrode de mesure)
- Résolution nanométrique

### Restrictions lors de l'utilisation :

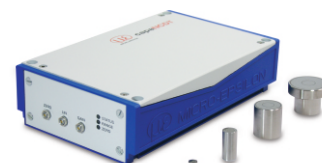
- Ces capteurs sont extrêmement sensibles aux changements de diélectrique dans la fente de mesure et ne s'emploient qu'en environnement propre et sec
- Plus la plage de mesure est élevée, plus le diamètre du capteur et donc le diamètre effectif du spot de mesure augmentent moyennant la mesure sur une surface de plus en plus grande



capaNCDT 6100



capaNCDT 6200

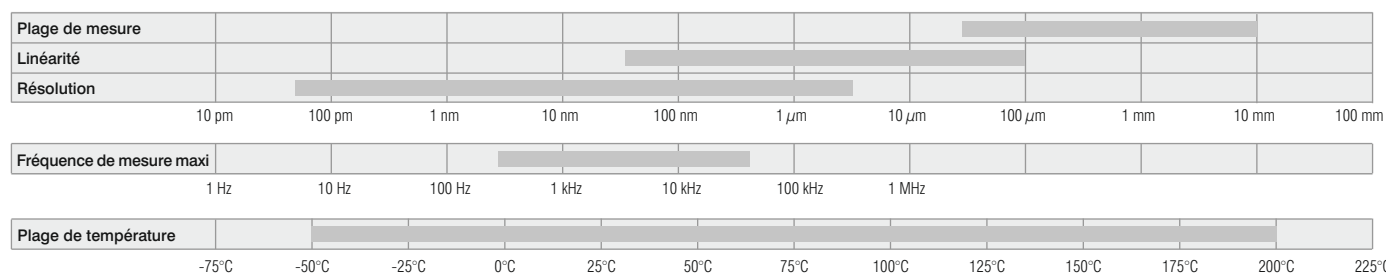


capaNCDT 6300



capaNCDT 6500

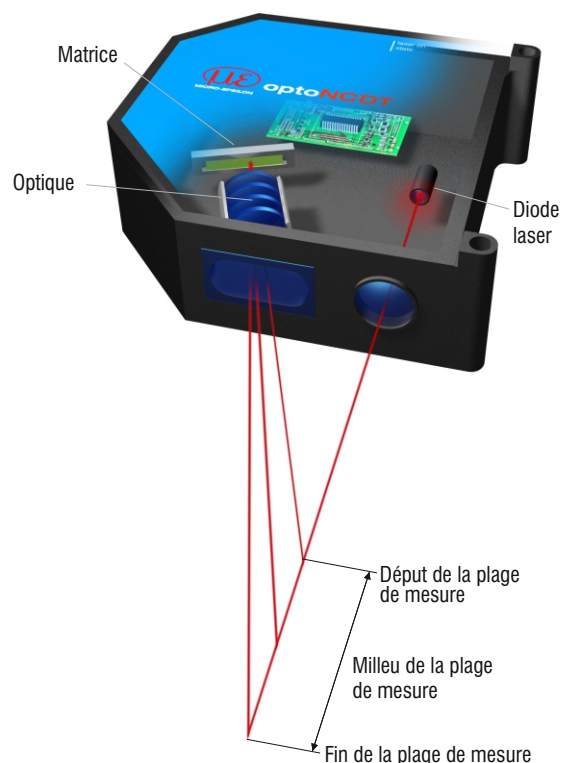
## Caractéristiques Capteurs capacitifs



## Principe de mesure à triangulation laser

Une diode laser émet un faisceau laser en direction de l'objet à mesurer. Le faisceau réfléchi par la surface de l'objet est renvoyé au travers d'une optique réceptrice sur une barrette CCD / CMOS ou un élément PSD. L'intensité du faisceau réfléchi dépend de la plus ou moins grande réflectivité du matériau de l'objet à mesurer. C'est la raison pour laquelle la sensibilité des capteurs à fonctionnement analogique PSD ainsi que celle des séries 1302 / 1402 fait l'objet d'un réglage. Pour les capteurs à fonctionnement numérique CCD des séries 1700 et 2300, le réglage en temps réel des variations d'intensité est effectué par un dispositif unique en son genre : le RTSC (compensation des modifications d'aspect de surface en temps réel).

La distance entre l'objet et le capteur est calculée à partir de la position du point lumineux sur l'élément récepteur. Plus l'objet s'éloigne et plus l'angle de réception du signal réfléchi se ferme. L'angle de l'optique réceptrice avec le faisceau émis étant fixe la variation angulaire de réception déplace la position de réception du spot sur l'élément mesurant.

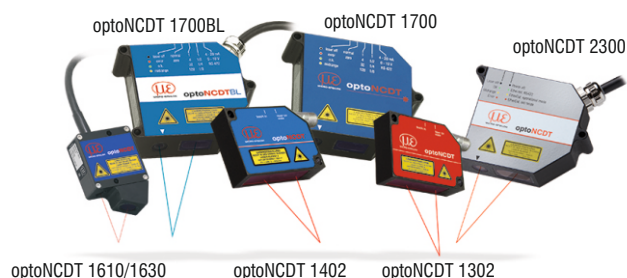


### Avantages du principe de triangulation laser :

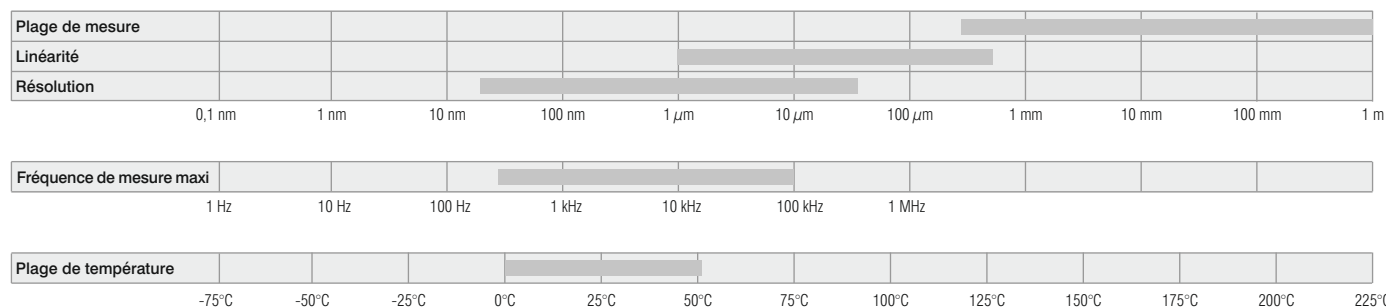
- Diamètre de spot de mesure réduit
- Longue distance entre l'objet à mesurer et le capteur
- Possibilité de grandes plages de mesure
- Adapté à la quasi-totalité des matériaux

### Restrictions lors de l'utilisation :

- La précision de mesure peut varier selon les propriétés de surface
- Veiller impérativement à ce que la trajectoire du faisceau de retour ne soit pas obstruée
- Les dimensions des capteurs à triangulation laser sont importantes
- Mal adapté aux surfaces spéculaires uniquement, sauf avec un alignement particulier des angles d'émission et de réception du faisceau laser



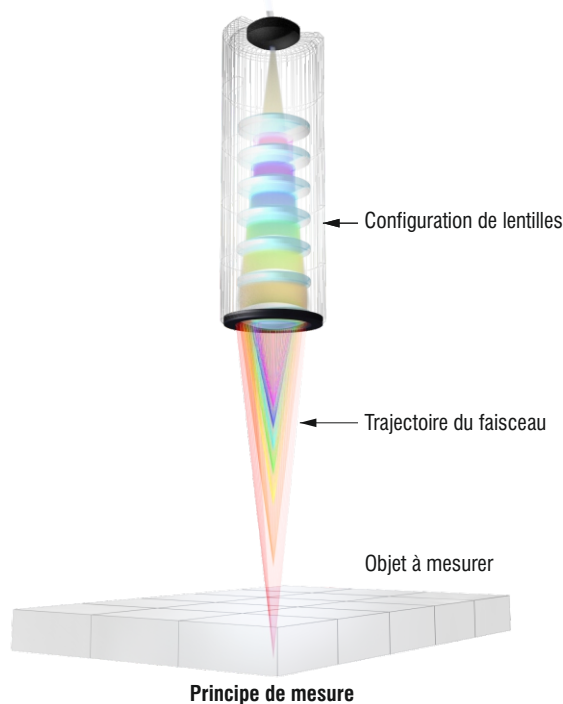
## Caractéristiques Capteurs à triangulation laser



## Principe de mesure confocale à codage chromatique

Une source de lumière polychromatique (lumière blanche) est transmise au capteur via une fibre optique. Les lentilles du capteur sont agencées de telle manière qu'une aberration chromatique contrôlée éclate la lumière en un continuum de longueurs d'onde monochromatiques dans le sens de la longueur de l'axe optique. Le faisceau lumineux est focalisé sur la surface de l'objet à mesurer à travers un collimateur. Les différentes couleurs spectrales sont ainsi focalisées à des distances différentes. A chaque distance correspond une longueur d'onde, sachant que cette variation est continue. Pour la mesure, le système du capteur reconnaît la longueur d'onde de lumière qui se focalise exactement sur l'objet à mesurer. La lumière réfléchie par ce point est reproduite à travers une structure optique sur un spectromètre qui reconnaît et interprète la couleur spectrale reçue. Un calibrage effectué en usine affecte une distance bien précise à chaque longueur d'onde.

Ce principe permet de réaliser des mesures sur absolument toutes les surfaces ; diffusantes, réfléchissantes ou transparentes. Ce procédé permet, à l'aide d'un seul capteur, de mesurer également l'épaisseur des matériaux transparents, par la mesure simultanée de la réflexion de la lumière sur les deux surfaces.

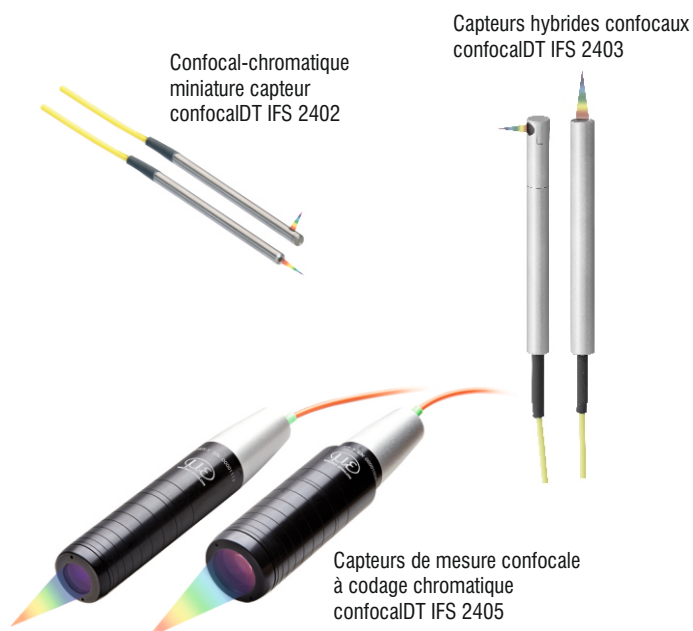


### Avantages des capteurs de mesure confocale :

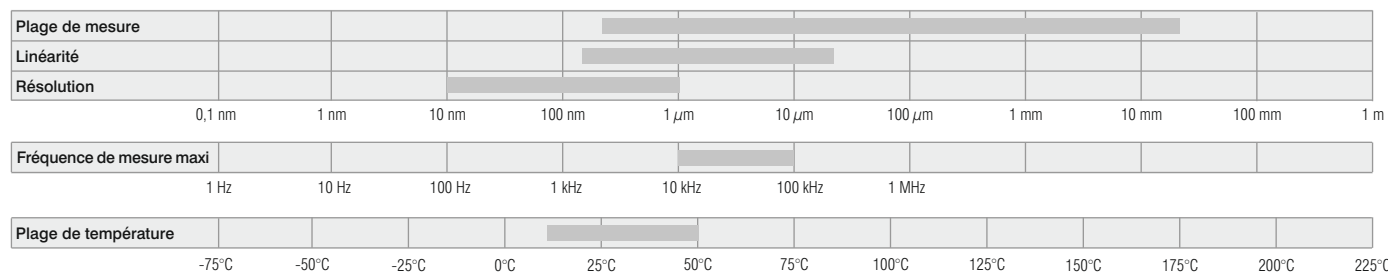
- Résolution extrêmement élevée (nanomètres)
- Mesures possibles sur tous types de surfaces
- Spot de mesure minuscule et constant
- Trajectoire compacte du faisceau
- Le faisceau de retour emprunte le même trajet que le faisceau émis permettant la mesure au fond de trous étroits
- Mesure unilatérale d'épaisseur de matériaux transparents
- Direction de mesure radiale possible
- Pas de prescription de protection contre les rayons laser du fait de l'utilisation de lumière blanche
- Très grande vitesse de mesure

### Restrictions lors de l'utilisation :

- L'écart entre le capteur et l'objet à mesurer est limité
- Les plages et distances de mesure sont plus limitées que pour un capteur à triangulation laser



## Caractéristiques Capteurs de mesure confocale par codage chromatique

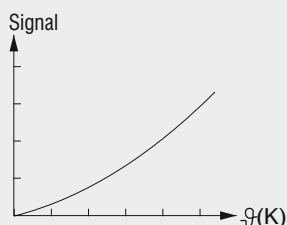




## Glossaire, définitions

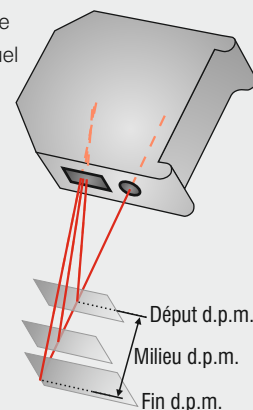
### Stabilité thermique

La stabilité thermique indique l'erreur éventuelle exprimée en pourcentage de la valeur de mesure par unité (K ou °C). Cette erreur peut être due à une déformation physique des composants internes ou à l'influence exercée sur les composants électroniques par la température. A des températures différentes, cette déformation entraîne des résultats légèrement différents.



### Plage de mesure

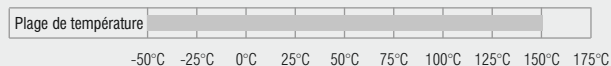
La plage de mesure décrit l'espace de mesure d'un capteur dans lequel l'objet à mesurer doit se situer afin que les données techniques spécifiques soient remplies. On appelle « Début de plage de mesure » et « Fin de plage de mesure » les zones situées aux extrémités de cet espace.



d.p.m. = de la plage de mesure

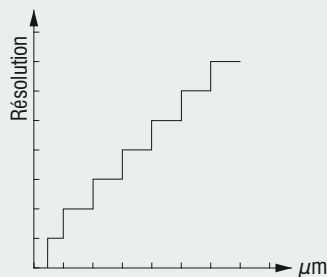
### Plage de températures (fonctionnement)

Il s'agit de la plage de températures ambiantes pour laquelle le capteur peut être utilisé sans modifier de façon sensible ses performances.



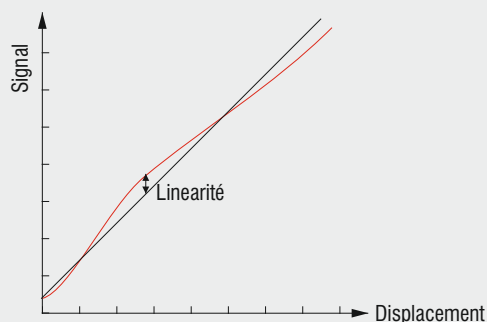
### Résolution

La résolution correspond à la plus petite modification possible d'une grandeur qu'un capteur peut mesurer en toute fiabilité. Dans la pratique, la résolution se détermine à partir du rapport signal-bruit, tout en prenant en considération le spectre des fréquences alors détecté.



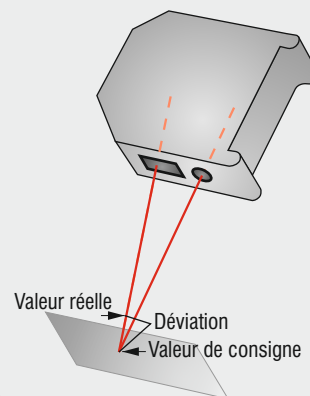
### Non-linéarité >> Linéarité

On appelle non-linéarité ou linéarité l'écart maximal entre une pente caractéristique de réponse du capteur en fonction de la distance - idéalement droite - et la pente caractéristique réelle. Elle est indiquée en pourcentage de la plage de mesure.



### Précision ou erreur de mesurage

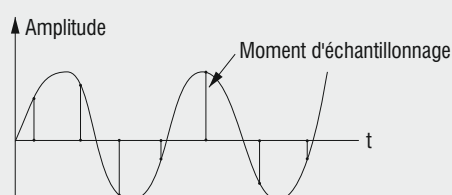
La précision indique l'erreur de mesure maximale tout en prenant en compte l'ensemble des facteurs qui influencent la mesure réelle. Parmi ces facteurs à jouer un rôle déterminant, on compte entre autre la linéarité, la résolution, la stabilité thermique, la stabilité à long terme ainsi qu'une erreur statistique (qui peut être rectifiée par calcul).



## Glossaire, définitions

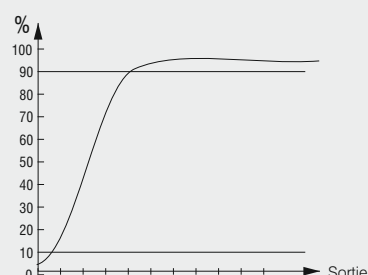
### Taux d'échantillonnage

Le taux d'échantillonnage correspond à la fréquence à laquelle les signaux analogiques sont échantillonnés dans le temps lors d'une conversion A/D.



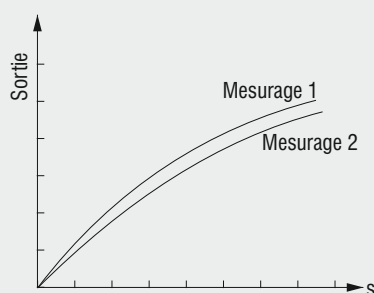
### Temps de réaction

Le temps de réaction correspond au temps nécessaire à la sortie de signal pour augmenter le niveau des signaux de 10% à 90%. Pour les appareils de mesure numériques, il s'agit du temps parcouru pour émettre une valeur de mesure stable.



### Reproductibilité

Indication quantitative de l'écart entre deux mesures indépendantes d'une même grandeur ayant été effectuées dans les mêmes conditions.



### Rapport signal-bruit

Le rapport signal-bruit renseigne quant à la qualité d'un signal utile transmis. Un bruit est une pollution du signal (comparable à un flou) qui accompagne chaque transmission de valeur de mesure. Plus l'écart de valeur entre le signal utile et le bruit est grand, plus la reconstitution à partir du signal des informations transmises est stable. Si, durant l'échantillonnage numérique, l'écart entre le signal utile et le bruit est trop réduit, il est alors possible qu'une valeur incorrecte soit détectée et que l'information soit erronée.

## Tableau comparatif des critères d'utilisation et des données de performance

Tous les procédés présentent leur panoplie d'avantages et de restrictions. Il s'agit maintenant de comparer les différents procédés de mesure afin de simplifier la prise de décision en fonction du problème de mesure et d'en déduire le principe le mieux adapté.

Les deux tableaux suivants sont censés faciliter la prise de décision. Les procédés de mesure traités dans cette notice technique correspondent tout simplement à des principes technologiques de base. De ces différents procédés, il ressort une multitude de possibilités d'application et de modifications.

Technologie de mesure	Courants de foucault	Capacitive	Triangulation laser	Confocal-chromatique	
Précision	+	+	+	+	
Résolution	+	+	+	+	
Plage de température	jusqu'à 40 °C	+	+	+	
	jusqu'à 90 °C	+	o	+	
	jusqu'à 150 °C	+	+	o	
	au déla de 150 °C	+	+	o	
Encombrement du capteur	+	o	-	o	
Superficie du spot de mesure	o	o	+	+	
Insensibilité à l'environnement	+	-	-	o	
Distances de mesure	o	-	+	-	
Fréquence de mesure / Largeur de bande	+	o	o	o	
Objet à mesurer	transparent	-	+	o	+
	Métaux	+	+	+	+
	Isolant	-	o	+	+
	Structure de surface	+	+	o	+
	Run out électrique (instabilité diélectrique hétérogénéité matériau)	-	+	+	+

+ bien o neutre - problématique

### Données réalisées pour les produits de série

Technologie de mesure		Courants de foucault	Capacitive	Triangulation laser	Confocale-chromatique
Plage de mesure	mm	0,4 - 80	0,05 - 10	0,5 - 1000	0,3 - 30
Linéarité	µm	8	0,01	0,4	0,15
Résolution maximale	µm	0,02	0,0000375	0,03	0,01
Fréquence de mesure (analogique)	kHz	jusque 100	jusque 8,5	37,5	
Largeur de bande (numérique)	kHz		jusque 50	jusque 50	jusque 70
Plage de température	°C	-50 ... 350	- 50 ... 200	0 ... 55	10 ... 50
Stabilité thermique	d.p.m./°C	< ± 0,015	< 0,0005	< 0,01	< 0,01

d.p.m. = de la plage de mesure