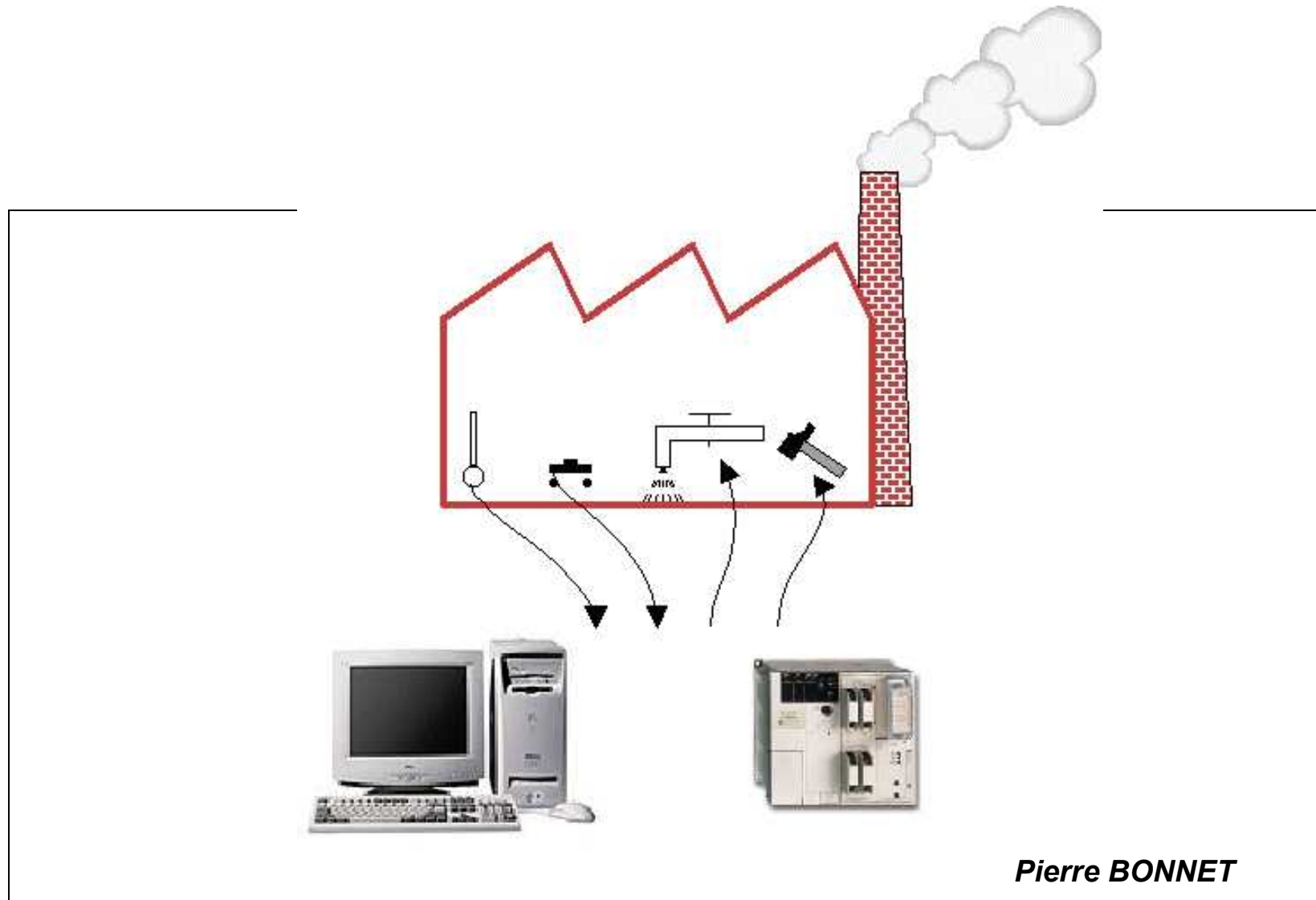


CAPTEURS - CHAINES DE MESURES



Propriétés générales des capteurs

- Notion de mesure
- Notion de capteur: principes, classes, caractéristiques générales
- **Caractéristiques en régime statique**
- Caractéristiques en régime dynamique
- Conditionnement et électronique de mesure
- Conversion numérique
- Transport, perturbations, protection, Isolation des signaux

Caractéristiques statiques des Capteurs

Etendue de mesure

- L'étendue de mesure est la **zone nominale** d'emploi

Zone dans laquelle les caractéristiques du capteur correspondent aux spécifications de **fonctionnement normal** ; elle est bornée par la limite inférieure et la limite supérieure (**portées**)

Exemple 1: pour le capteur de force à sortie fréquentielle dont les caractéristiques sont données ici, la **portée minimum** est 0N, la **portée maximum** est 30N, soit une étendue de mesure de 30N

étendue de mesure	0 - 30 N
sensibilité	10,5 Hz . N ⁻¹
linéarité	3,6 % de l'étendue de mesure
répétabilité	2 %
hystérésis	1,8 %
dérive temporelle	- 0,6 Hz . h ⁻¹
dérive thermique	0,5 Hz . °C ⁻¹
facteur de qualité	180

Tableau 4.1 : caractéristiques techniques du capteur

Caractéristiques statiques des Capteurs

Etendue de mesure

- Exemple 2



Luminancemètre

Caractéristiques techniques

Plages de mesures	de 0,01 cd/m ² à 19990 cd/m ² , en 4 plages de mesures
Résolution	PM I 0,01 cd/m ² PM II 0,1 cd/m ² PM III 1 cd/m ² PM IV 10 cd/m ²
Fréquence de mesure	env. 2,5 mesures/seconde
Affichage	numérique, LCD à 3 1/2 chiffres
Erreurs admissibles	Pour lumière incandescente (éclairage normalisé type A) ±2,5% de la valeur mesurée plus 4 chiffres. Ecartes supplémentaires pour les autres types de lumière (selon CIE TC -2,2) max. ±3,3% de la valeur mesurée.

Caractéristiques statiques des Capteurs

Etendue de mesure

- Exemple 3



CARACTERISTIQUES				
	Unités	Gamme de mesure	Précision	Résolution
Vitesse Air	m/s, km/h, mph, noeuds, ft-min	de 1.4 à 108.0 km/h (0.4 à 30 m/s)	≤ 20 m/s : $\pm 3\%$ lecture > 20 m/s : $\pm 4\%$ lecture	0.1 (sauf Ft- min : 1)
Eclairement lumineux	lux, Ft-Cd	0 - 20000 lux	$\pm 5\%$ lecture ± 8	1
Température	$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$	-100 à 1300 $^{\circ}\text{C}$	$\pm(1\%$ lecture + 1°C)	0.1
Humidité relative	%HR	10 - 95% HR	$\leq 70\%$ HR : $\pm 4\%$, pour $\geq 70\%$ HR : $\pm(4\%$ lecture + 1.2% HR)	0.1




Appareil 4 en 1
d'entrée de gamme

Caractéristiques statiques des Capteurs

Etendue de mesure

- Exemple 4

capteur de température

Modèles	Application	Type de contact	Gamme de mesure
905-T1 	Contrôle de température en laboratoire	Pointe	-50 / +500°C
Mini thermomètre 	Mesure de surface	Pastille diam. 14mm	-50 / +250°C
905-T2 	S'adapte à tout type de surface	Lamelles souples	-50 / +500°C

Caractéristiques statiques des Capteurs

Régime statique

- La **réponse statique** est la réponse du capteur en régime permanent, c'est à dire quand les grandeurs d'entrée (mesurande) et de sortie du capteur (mesure) n'évoluent plus dans le temps (dérivée des grandeurs d'entrée et de sortie nulles).



La réponse statique est déterminée pour l'étendue de mesure du capteur (zone nominale d'emploi)

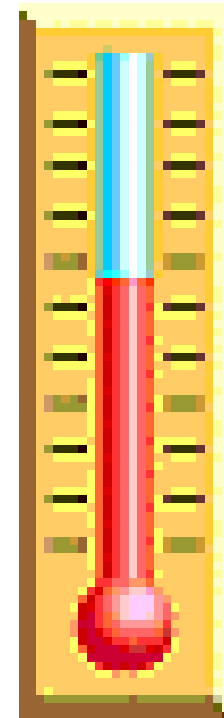
Caractéristiques statiques des Capteurs

Régime statique

- l'évaluation du régime statique suppose que le mesurande est constant et que le capteur n'est plus dans son régime transitoire

- Exemple:

un thermomètre indique la température du milieu dans lequel il se trouve quand il est en *équilibre thermique* avec ce milieu, c'est à dire quand leurs *températures* sont *égales*

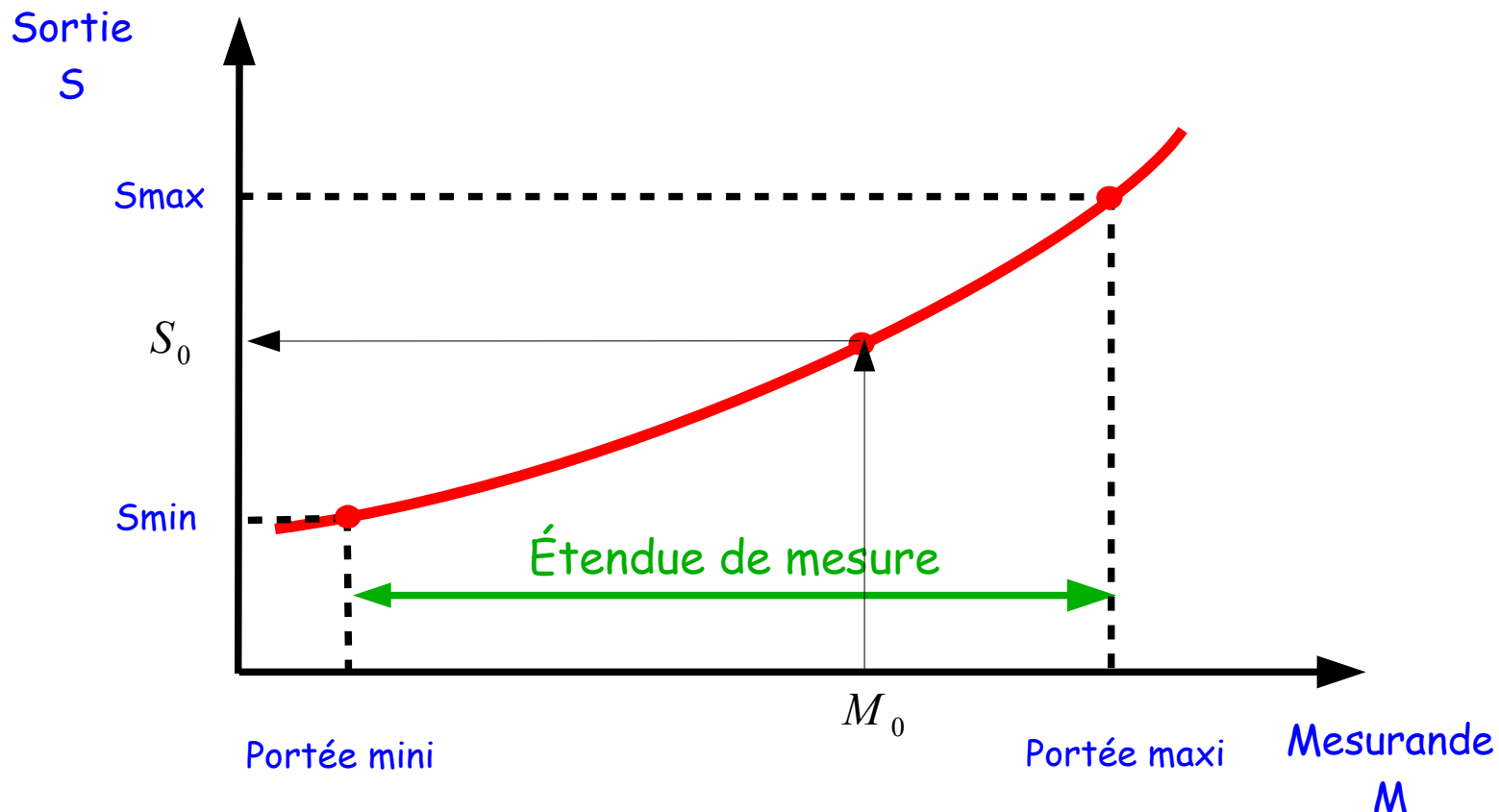


Ce thermomètre est-il en régime statique ?

Caractéristiques statiques des Capteurs

Courbe d'étalonnage

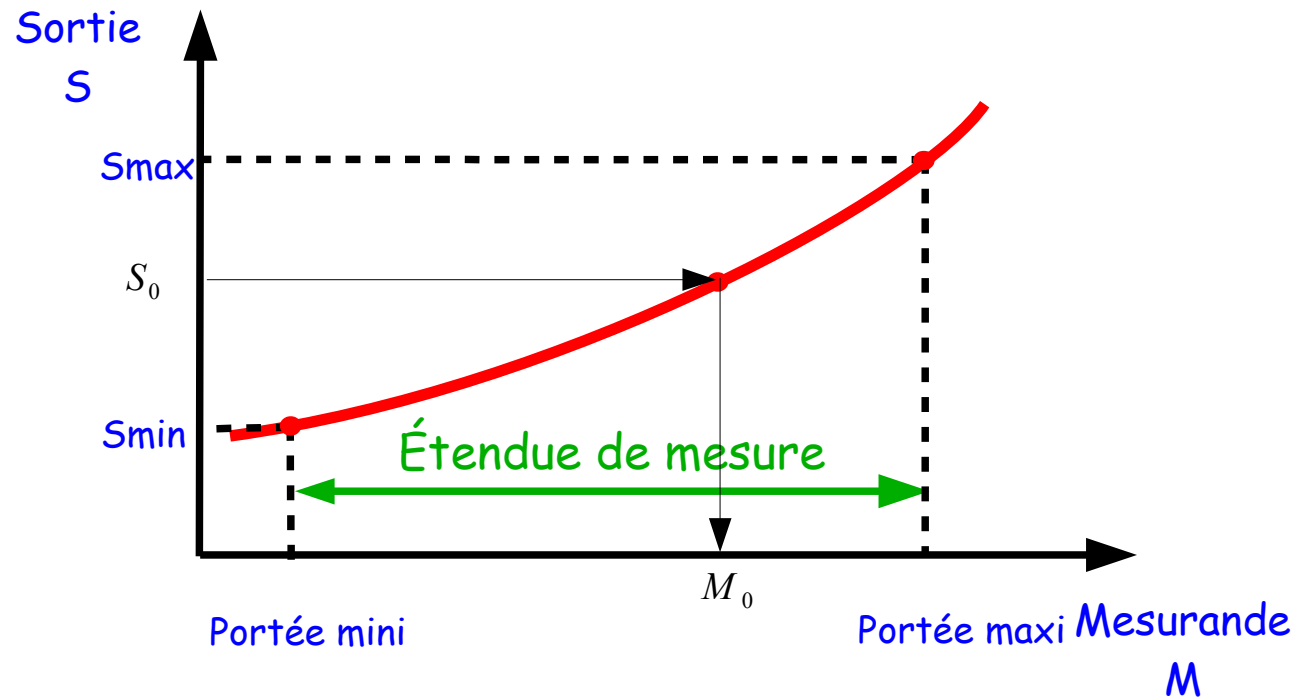
- La caractéristique statique est la courbe qui représente la **réponse statique** en fonction du **mesurande**
↳ on l'appelle aussi **courbe d'étalonnage**.



Caractéristiques statiques des Capteurs

Courbe d'étalonnage

- La **courbe d'étalonnage** permet aussi de connaître la relation inverse entre le mesurande et la mesure.



↪ Il est très rare de disposer de la courbe réciproque de la courbe d'étalonnage. Seule la courbe directe est fournie .

Caractéristiques statiques des Capteurs

Courbe d'étalonnage

- La courbe d'étalonnage peut être définie par un tableau représentatif de **points discrets** de mesure

Exemple : sonde de température résistive PT100

°C	+ 0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 5	+ 6	+ 7	+ 8	+ 9
0	100	100,39	100,78	101,17	101,56	101,94	102,33	102,72	103,11	103,59
+ 10	103,89	104,28	104,67	105,06	105,45	105,84	106,23	106,62	107,01	107,40
+ 20	107,79	108,18	108,57	108,95	109,34	109,73	110,12	110,51	110,89	111,28
+ 30	111,67	112,06	112,44	112,83	113,22	113,60	113,99	114,38	114,77	115,15
+ 40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,86	118,24	118,63	119,01
+ 50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
+ 60	123,24	123,62	124,00	124,39	124,77	125,15	125,54	125,92	126,30	126,69
+ 70	127,07	127,45	127,83	128,22	128,60	128,98	129,36	129,74	130,13	130,51

↪ le tableau s'emploie dans le sens **direct** (température->signal) à un °C près.
et dans le sens **inverse** (signal->température)

↪ il est possible d'affiner la conversion réciproque par **interpolation linéaire**

Caractéristiques statiques des Capteurs

Courbe d'étalonnage

- La courbe d'étalonnage peut être définie une **relation fonctionnelle** $S = \Phi(M)$

Cas 1 : la loi est connue physiquement

Exemple d'une sonde de température type thermistance

$$R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

Cas 2 : la loi est une approximation polynomiale déterminée par régression

Exemple d'une sonde de température type PT100

$$R_T = 100(1 + 3.9083 T - 5,775 \times 10^{-7} T^2)$$

↪ L'inversion de la relation fonctionnelle n'est pas un problème trivial !

Caractéristiques statiques des Capteurs

Sensibilité en régime statique

- La **sensibilité** σ en un point de mesure M_0 s'exprime par le quotient de la variation de la réponse par la variation du mesurande :

$$\sigma = \left(\frac{\Delta S}{\Delta M} \right)_{M_0}$$

La sensibilité peut se déterminer graphiquement à partir de la courbe d'étalonnage. La sensibilité est la **pente** de la courbe au point M_0

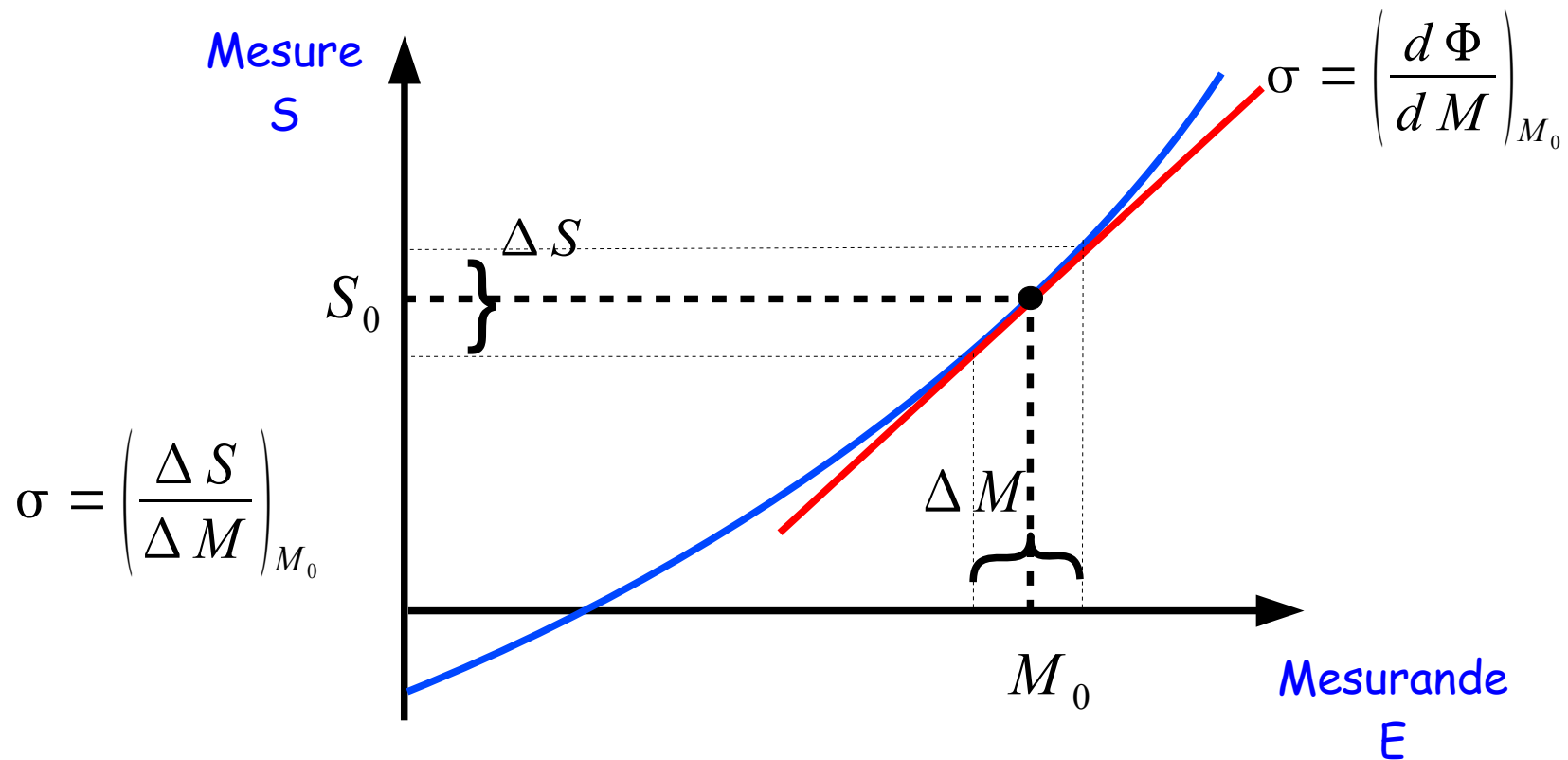
- Lorsque la loi physique $S = \Phi(M)$ reliant la réponse au mesurande est connue, la sensibilité σ se déduit par dérivation :

$$\sigma = \left(\frac{d\Phi}{dM} \right)_{M_0}$$

Caractéristiques statiques des Capteurs

Sensibilité en régime statique

- Evaluation graphique de la sensibilité:



Un capteur est dit "linéaire" lorsque sa sensibilité est constante sur l'étendue de mesure

Caractéristiques statiques des Capteurs

Sensibilité en régime statique

- Sensibilité calculée à partir du modèle physique:

$$\sigma = \left(\frac{dS}{dE} \right)_{E_0}$$

Exemple 1 :

pour un capteur à loi quadratique $s = a.e^2 + b.e + c$

$$\sigma = 2a.e + b$$

Exemple 2:

Pour une thermistance ayant pour résistance R_0 à la température absolue T_0 , l'équation d'état est :

$$R(T) = R_0 \cdot \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

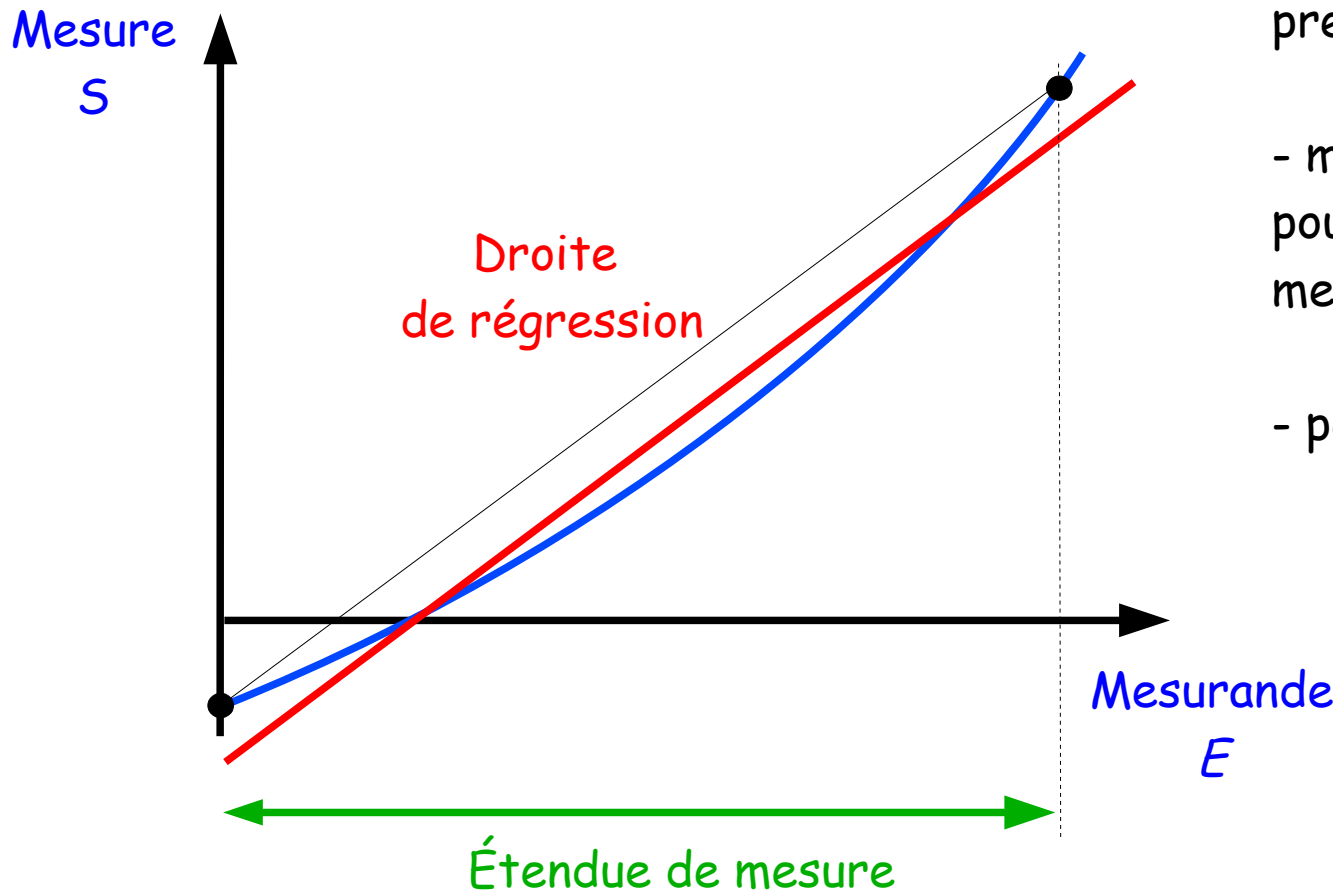
La sensibilité de ce capteur est donc :

$$\sigma(T) = \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2} \cdot R_0 \cdot \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Caractéristiques statiques des Capteurs

Sensibilité en régime statique

- Sensibilité moyenne sur l'étendue de mesure



-sensibilité calculée entre le premier et le dernier point

- moyenne des sensibilités évaluées pour N points sur l'étendue de mesure

- pente de la droite de régression

$$s_{reg} = a e + b$$

$$a = \frac{N \sum s_i e_i - \sum s_i \cdot \sum e_i}{N \cdot \sum e_i^2 - (\sum e_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum s_i \cdot e_i^2 - \sum s_i \cdot e_i \cdot \sum e_i}{N \cdot \sum e_i^2 - (\sum e_i)^2}$$

Caractéristiques statiques des Capteurs

Résolution

- La résolution est la **plus petite variation** de la mesure qu'il est possible d'observer



References	Capacities	Resolutions
AND CNREH 0.3	0.3 Nm	0.03 mNm
AND CNREH 1.5	1.5 Nm	0.15 mNm
AND CNREH 6	6 Nm	0.6 mNm
AND CNREH 12	12 Nm	1.2 mNm

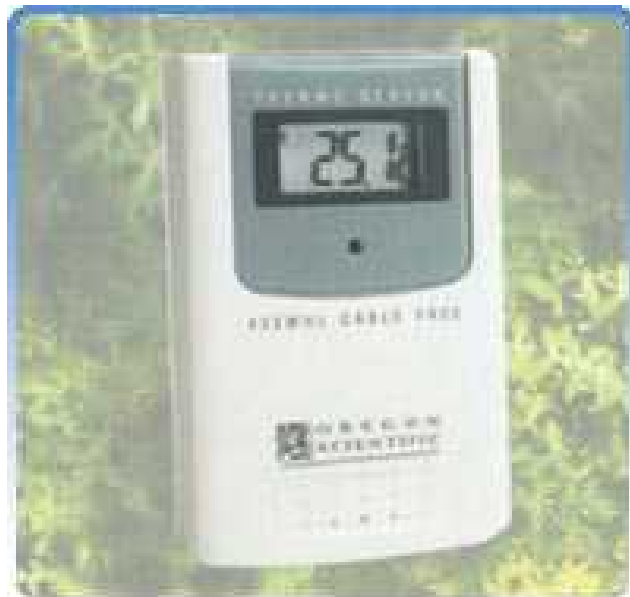
Les capteurs de couple de cette série ont une résolution égale à 1/10000 de leur étendue de mesure

Attention : la résolution est souvent supérieure qualitativement aux autres caractéristiques d'un capteur. Ce n'est pas parce que mesure varie très finement qu'elle est **juste** dans sa valeur absolue

Caractéristiques statiques des Capteurs

Résolution

- Autre exemple:



FONCTIONS

Température de -20°C à 60°C (résolution : 0,1°C).

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Sélecteur °C/°F.

Ecran LCD 1 ligne (affichage de la température ambiante).

Affiche la mesure sur son écran LCD et la transmet à l'unité mère sur 433 Mhz.

Boîtier résistant et étanche.

Transmission sur 433 Mhz à 30 m maxi.

Cycle de transmission vers l'unité mère : 30 secondes.

LED rouge témoin de communication.

Se fixe à une paroi ou se pose.

Alimentation : 2 piles LR03 'AAA' (fournies).

Dimensions : 91x59x20 mm. Poids : 78 g.

Notice en français. Garantie d'un an.

Attention : la résolution n'est pas la précision !!!!

Caractéristiques statiques des Capteurs

Résolution

- Exemple 4:



CARACTERISTIQUES				
	Unités	Gamme de mesure	Précision	Résolution
Vitesse Air	m/s, km/h, mph, noeuds, ft-min	de 1.4 à 108.0 km/h (0.4 à 30 m/s)	≤ 20 m/s: $\pm 3\%$ lecture > 20 m/s: $\pm 4\%$ lecture	0.1 (sauf Ft- min : 1)
Eclairement lumineux	Lux, Ft-Cd	0 - 20000 lux	$\pm 5\%$ lecture ± 8	1
Température	$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$	-100 à 1300 $^{\circ}\text{C}$	$\pm(1\%$ lecture + 1 $^{\circ}\text{C})$	0.1
Humidité relative	%HR	10 - 95% HR	$< 70\%$ HR : $\pm 4\%$, pour $\geq 70\%$ HR : $\pm(4\%$ lecture + 1.2% HR)	0.1

Caractéristiques statiques des Capteurs

Type d'erreurs

Définitions :

- Une **erreur [systématique]** est une différence entre la valeur « vraie » de la mesure et celle obtenue à partir de la réponse du capteur.
L'erreur **absolue** est caractérisée par une valeur **absolue** et un **signe**
Une erreur présente un caractère **systématique** et **répétitif**.
- L'**erreur relative** est le **quotient** de l'erreur absolue par la valeur « vraie »
L'erreur relative n'est généralement pas signée.
- Une **incertitude** est un écart évalué **statistiquement** par rapport à la valeur vraie valeur.
Généralement, on suppose que la distribution des résultats est « normale », c'est à dire gaussienne. On parle d'**incertitude [absolue]**, d'**incertitude relative**, ou de **précision** sur les résultats de la mesure

Il est fréquent que les incertitudes soient appelées "erreurs" (non-signées)

Caractéristiques statiques des Capteurs

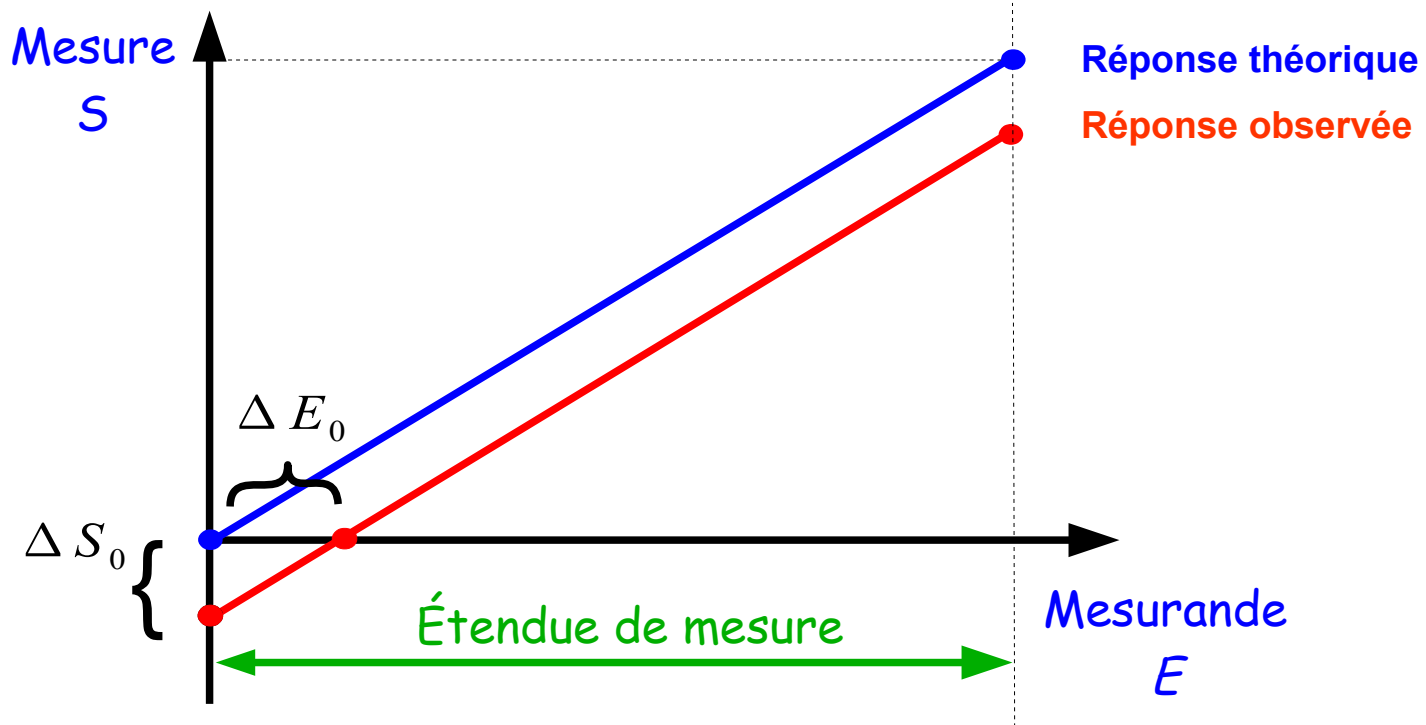
Erreurs systématiques

- Les erreurs systématiques sont celles qui n'ont aucun caractère aléatoire. La mesure dans des conditions identiques donne toujours la même erreur par rapport à la valeur vraie.
- Les sources usuelles d'erreurs systématiques sont:
 - mauvais étalonnage du zéro, de la pleine échelle
 - prise en compte d'un facteur de gain erroné
 - erreur liée au principe même du capteur (non-linéarité intrinsèque...)
 - erreur liée à l'emploi du capteur (par exemple, mauvaise jonction thermique d'un thermomètre avec le corps à mesurer)
- Les erreurs systématiques peuvent être éliminées par
 - un **ré-étalonnage périodique** du capteur
 - un meilleur choix de capteur
 - une utilisation optimale du capteur

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs systématiques

- L'**erreur d'offset** ou **décalage** est la différence entre la valeur « vraie » de la mesure et celle obtenue à partir de la réponse du capteur pour la **borne inférieure** de l'étendue de mesure

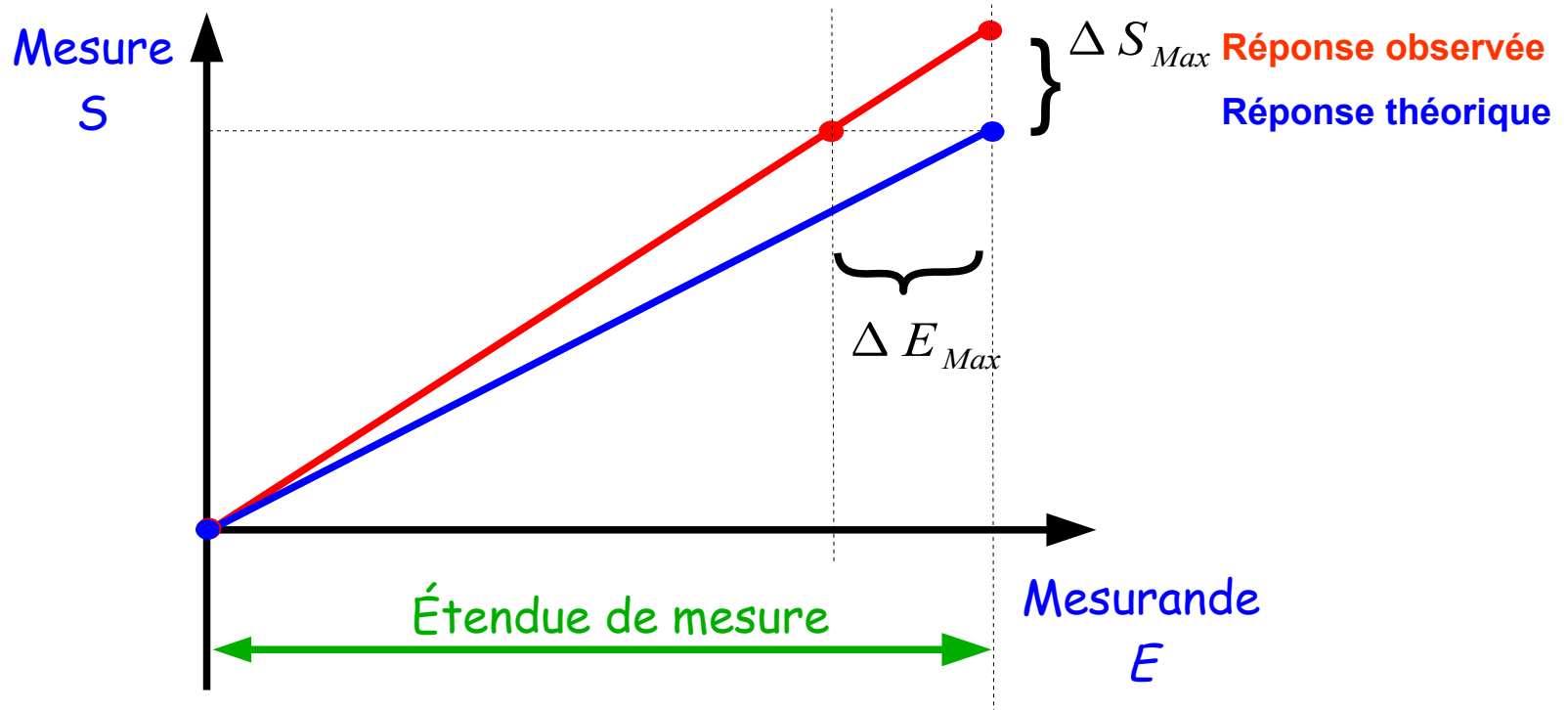


- Les erreurs absolues s'évaluent soit dans l'unité du mesurande, soit dans l'unité de mesure.

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs systématiques

- L'**erreur de gain** est l'erreur de pente de la courbe caractéristique du capteur; elle est visible essentiellement pour la **borne supérieure** de l'étendue de mesure.

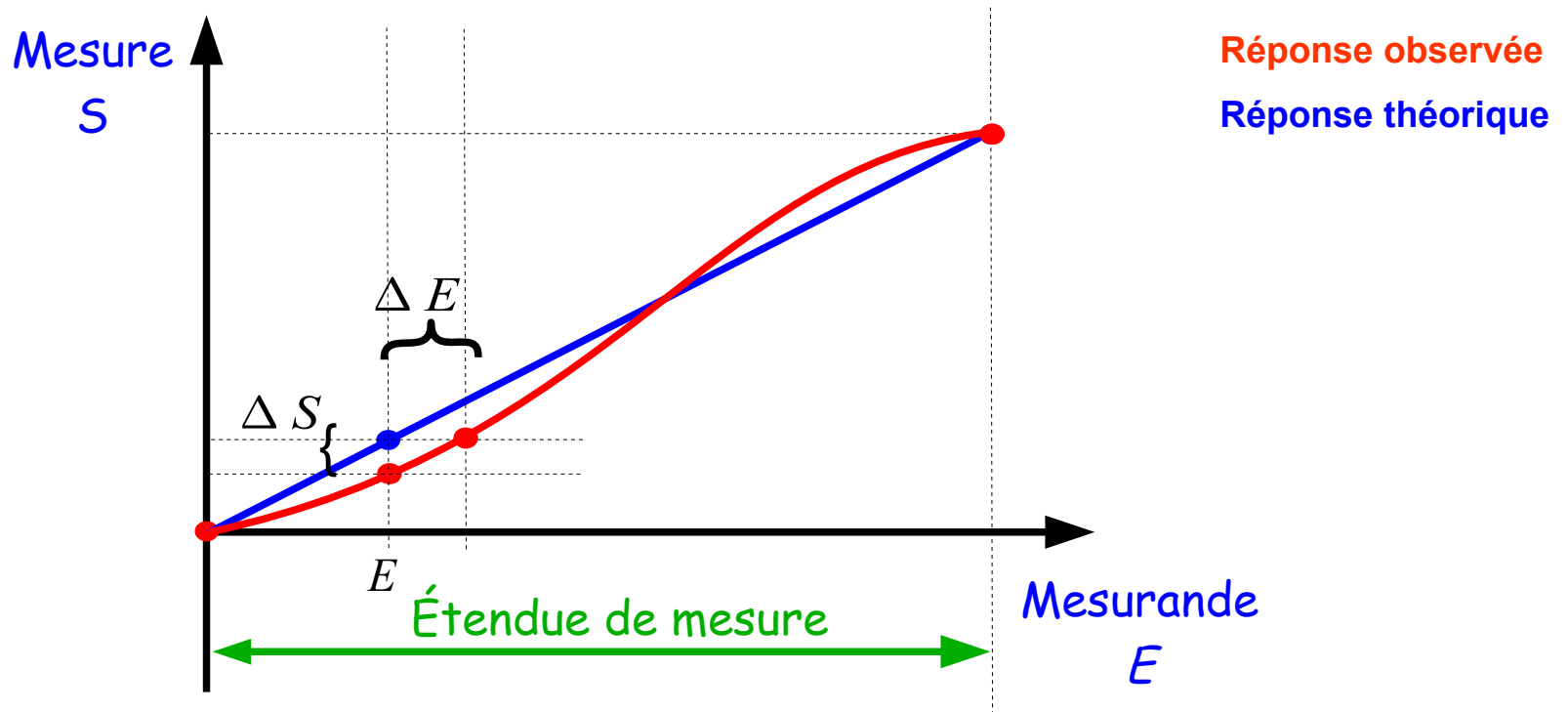


- Certains capteurs intègrent une procédure interne de ré-étalonnage (étalon interne) du zéro et de la pleine échelle.

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs systématiques

- L'**erreur de linéarité** est l'erreur entre la courbe caractéristique du capteur et la droite théorique de réponse.



- L'erreur de linéarité maximale sur l'étendue de mesure est souvent appelée **erreur de linéarité intégrale**.

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

Les erreurs **aléatoires** peuvent être dues :

- aux caractéristiques intrinsèques (présence de bruit thermique, frottement, seuil...)
- au mode d'emploi de l'appareil (erreur de lecture sur un appareil à aiguille, numérisation de la sortie, ..)
- à des signaux parasites d'origine électriques
- aux grandeurs d'influence (température, tension d'alimentation, pH...)

Même si leur origine est connue, on ne peut pas connaître leur valeur ni leur signe ; pour les évaluer, on fait appel à des méthodes statistiques

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

Evaluation des erreurs aléatoires :

Moyenne : soient les mesures x_1, x_2, \dots, x_n d'un même grandeur X répétée n fois, la valeur moyenne de la mesure est :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

Écart : c'est la différence entre une mesure x et la moyenne ; elle peut être positive ou négative ; la moyenne des écarts est nulle pour une erreur aléatoire centrée.

$$x_i - \bar{X}$$

Écart absolu moyen (EAM): moyenne des valeurs absolues des écarts à la moyenne.

$$EAM = \frac{1}{n} \sum |x_i - \bar{X}|$$

Variance : moyenne des carrés des écarts

$$V_x = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{X})^2$$

Écart quadratique moyen (EQM) ou écart type : racine de la moyenne des carrés des écarts

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{X})^2}$$

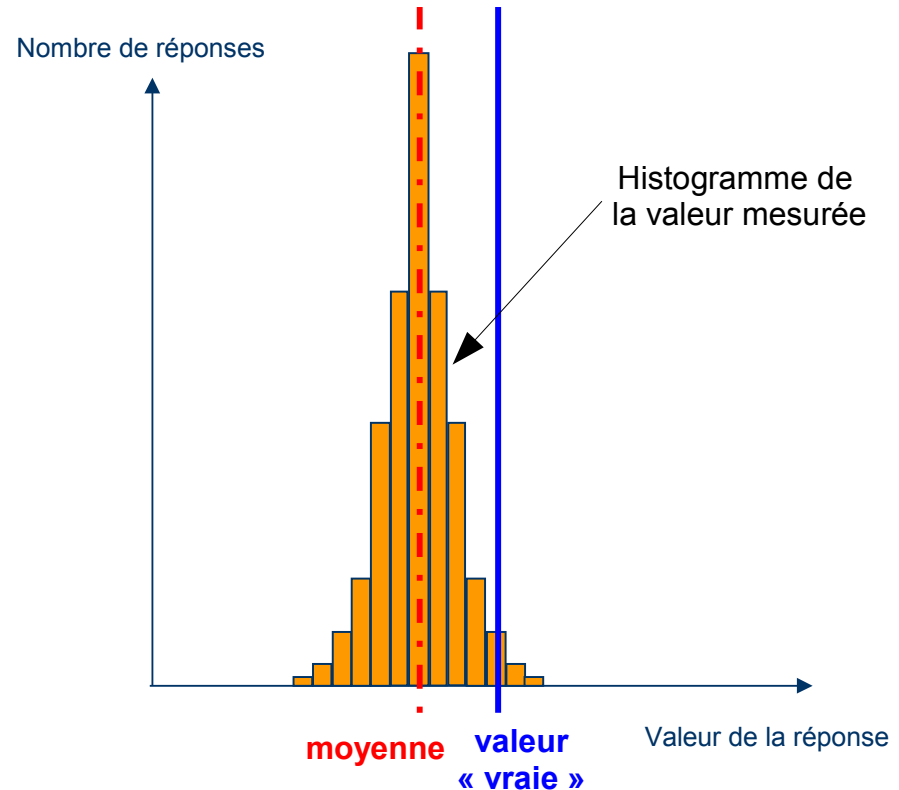
Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- **Fidélité:**

la fidélité est l'aptitude à donner, pour une **même valeur** de la grandeur mesurée, des indications voisines entre elles,

même si la valeur moyenne de cette réponse est éloignée de la **valeur « vraie »**, c'est à dire attendue compte tenu des caractéristiques du capteur



Un capteur est **fidèle** si **l'écart-type** sur les réponses à une même valeur du mesurande est **faible**

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Fidélité:

la mesure de la fidélité est basée sur l'écart-type σ de l'histogramme.

La fidélité est la probabilité cumulée que la mesure soit incluse dans un intervalle donné.

La fidélité pour une confiance donnée s'exprime par : $F = k \sigma$

Pour la loi Gaussienne de moyenne \bar{m} et d'écart-type σ , la confiance à $x\%$ est :

$$P(\bar{m} \pm \sigma) = 68,3 \%$$

$$P(\bar{m} \pm 2 \sigma) = 95,5 \%$$

$$P(\bar{m} \pm 3 \sigma) = 99,7 \%$$

Généralement, on adopte $k=2$; pour les applications critiques, on adopte $k=3$.

Rappel : la loi Gaussienne a pour expression
$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{m})^2}{2\sigma^2}}$$

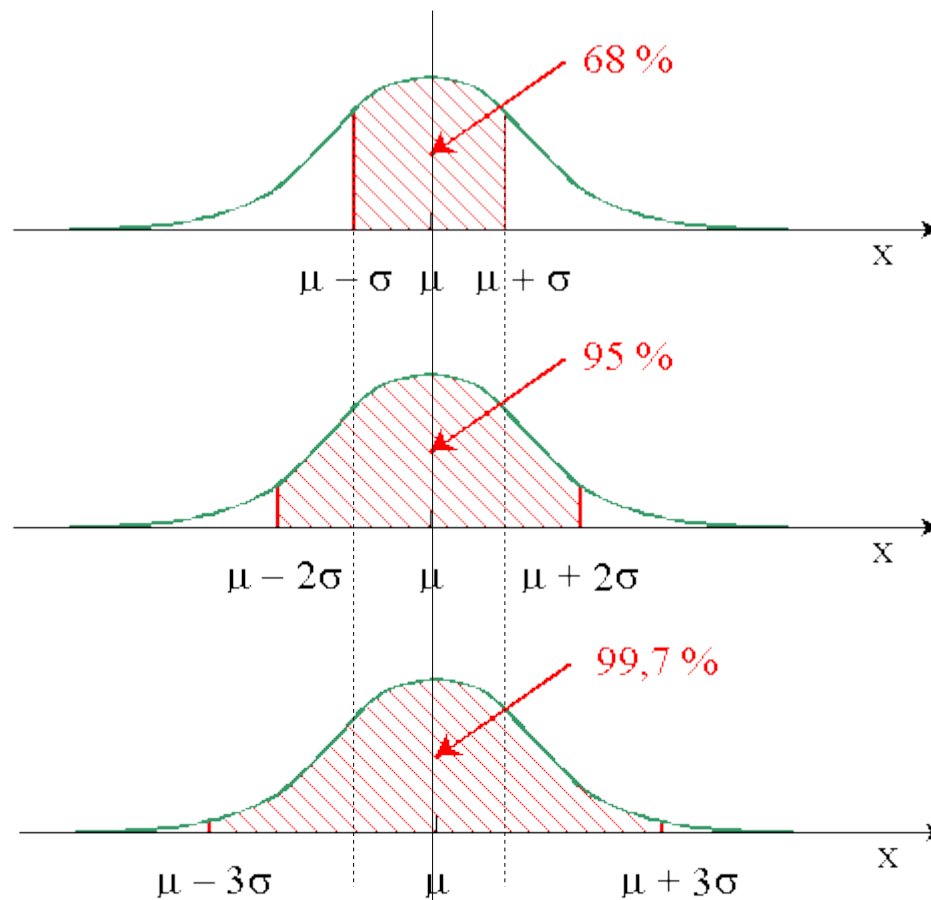
Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Fidélité:

Rappel : la loi Gaussienne a pour expression

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{m})^2}{2\sigma^2}}$$



Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Fidélité:

Norme NF ISO 525-1:1994

3.12 Fidélité

Étroitesse d'accord entre des résultats d'essai indépendants obtenus sous des conditions stipulées.

NOTES

9 La fidélité dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires et n'a aucune relation avec la valeur vraie ou spécifiée.

10 La mesure de fidélité est exprimée en termes d'infidélité et est calculée à partir de l'écart-type des résultats d'essais. Une fidélité moindre est reflétée par un plus grand écart-type.

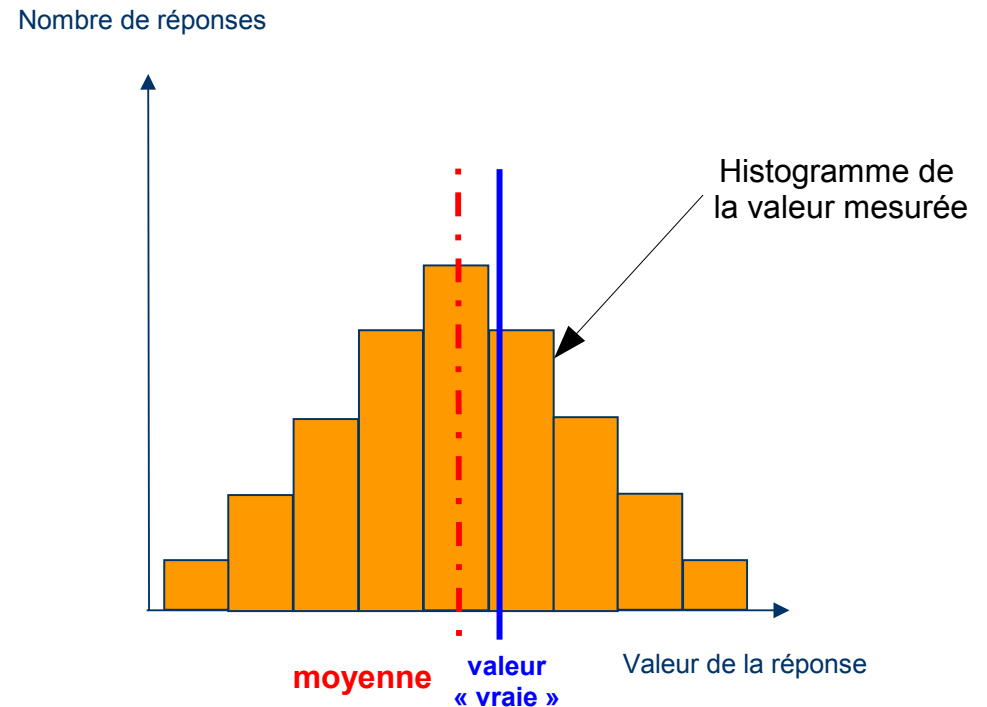
Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- **Justesse :**

La justesse est l'aptitude à donner des indications **égales** à la grandeur mesurée, *les erreurs de fidélité n'étant pas prises en considération*

Un capteur est **juste** si l'écart entre la **moyenne** des résultats et la **valeur « vraie »** est faible, même si l'écart-type est grand.



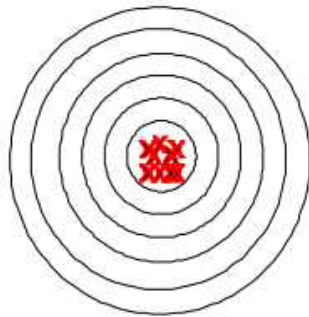
Un capteur est **juste** si la **réponse moyenne** est proche de la **valeur « vraie »**

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Précision :

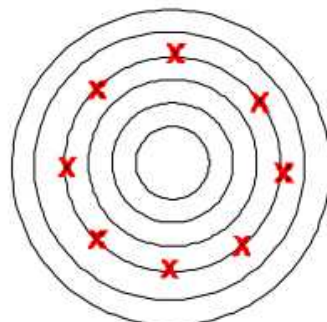
Un capteur est **précis** s'il est **juste** et **fidèle**



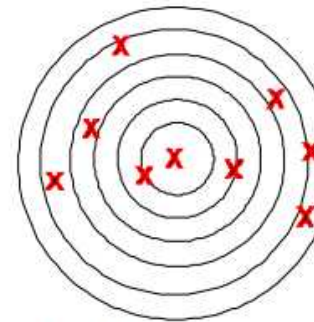
Juste et fidèle → précis



Fidèle, non juste



Juste, non fidèle



ni fidèle, ni juste

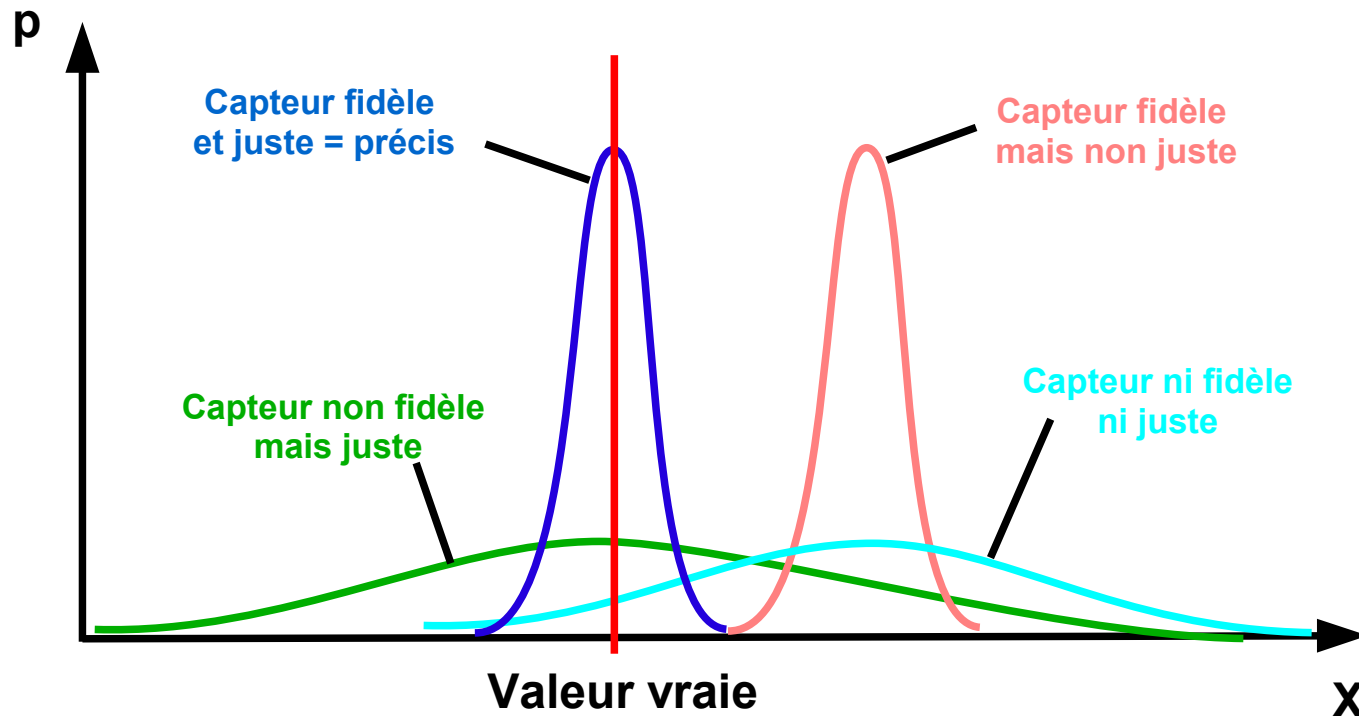
ref : Gwenaële Toulminet

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Précision :

Un capteur est **précis** s'il est **juste** et **fidèle**



Evaluation de la précision : $P = \sqrt{J^2 + F^2}$

avec J erreur de justesse

et F erreur de fidélité

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

● Exercice :

- En mesurant 9 fois de suite la même pression, dans les mêmes conditions, on a obtenu les lectures suivantes, en kPa :

103,42	103,40	103,46	103,41	103,44	103,49	103,47	103,43	103,45
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

- valeur moyenne :
- Fidélité 95% :
- écart-type :
- Fidélité relative :

- Ce tableau de mesures correspond en fait à une pression de 103,30kPa ;

L'écart entre la valeur moyenne et la valeur vraie est de

La justesse relative du capteur est soit

↙ Le capteur est plus que

Remarque : pour déterminer la justesse, il est nécessaire d'avoir un mesurande étalonné.

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Précision :
Exemple



Instrument portatif 4 en 1 :
anémomètre, luxmètre, thermomètre,
hygromètre

CARACTERISTIQUES				
	Unités	Gamme de mesure	Précision	Résolution
Vitesse Air	m/s, km/h, mph, noeuds, ft-min	de 1.4 à 109.0 km/h (0.4 à 30 m/s)	≤ 20 m/s: $\pm 3\%$ lecture > 20 m/s: $\pm 4\%$ lecture	0.1 (sauf Ft- min : 1)
Eclairement lumineux	Lux, Ft-Cd	0 - 20000 lux	$\pm 5\%$ lecture ± 8	1
Température	$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$	-100 à 1300 $^{\circ}\text{C}$	$\pm(1\%$ lecture + 1°C)	0.1
Humidité relative	%HR	10 - 95% HR	$< 70\%$ HR : $\pm 4\%$, pour $\geq 70\%$ HR : $\pm(4\%$ lecture + 1.2% HR)	0.1

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Répétabilité et Reproductibilité :

↪ La **répétabilité** caractérise la même mesure, effectuée selon la même procédure, avec le **même appareillage**, par la même personne, en un même lieu et en un temps court vis à vis de la durée d'une mesure.

↪ La **reproductibilité** est l'étroitesse de l'accord entre les résultats des mesures d'une même grandeur dans le cas où les mesures individuelles sont effectuées au moyen de **différents** instruments, suivant diverses méthodes, par des opérateurs distincts en des temps et des lieux différents. Elle élimine donc les erreurs systématiques.

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Réversibilité et Hystérésis :

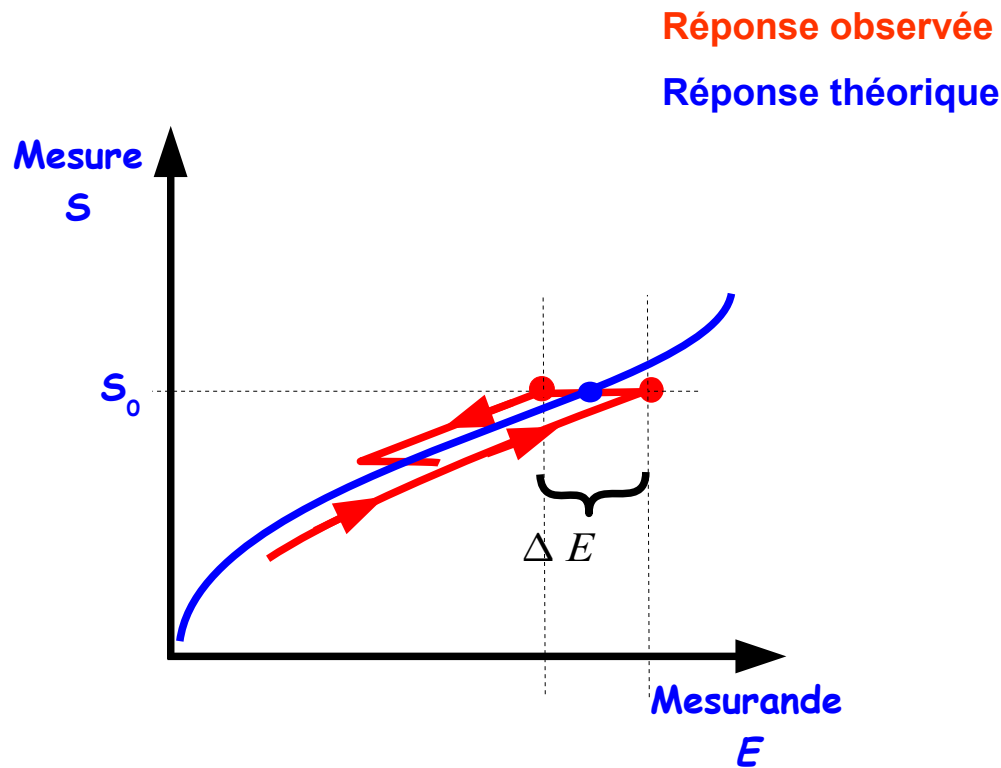
↪ La **réversibilité** caractérise l'aptitude d'un capteur à fournir la même indication lorsqu'on atteint une même valeur de la grandeur mesurée par **variation croissante** continue ou par **variation décroissante** continue du mesurande.

↪ En cas d'indications différentes, on parle d'erreur d'**hystérésis**, qu'on exprime aussi en pourcentage de l'étendue de mesure.

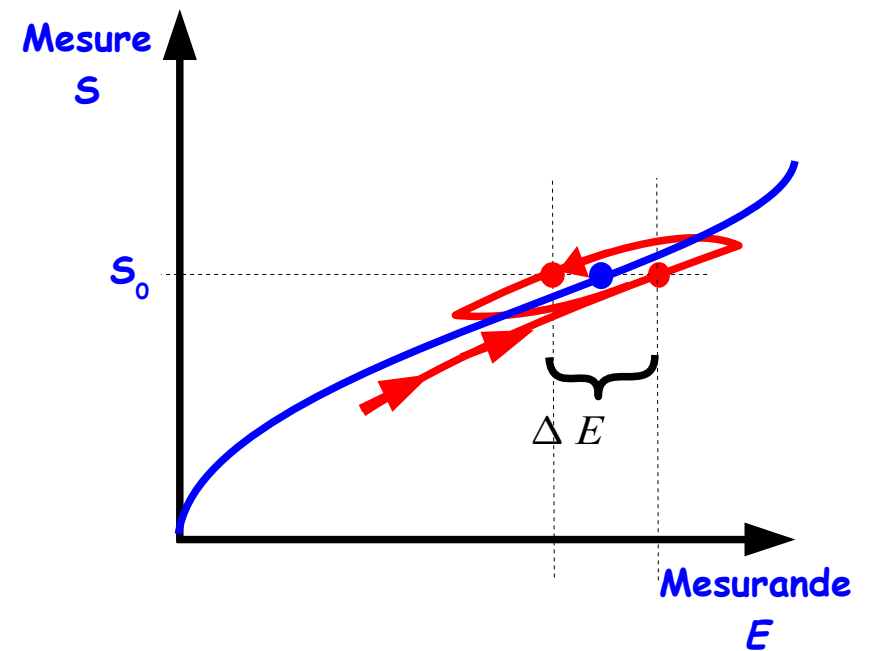
Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Réversibilité et Hystérésis :



Hystérésis provoqué
par un jeu mécanique



Hystérésis provoqué
par un effet mémoire
(déformation, magnétisation...)

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- Réversibilité et Hystérésis :

Exemple d'un capteur de force à sortie fréquentielle

étendue de mesure	0 - 30 N
sensibilité	10,5 Hz . N-1
linéarité	3,6 % de l'étendue de mesure
répétabilité	2 %
hystérésis	1,8 %
dérive temporelle	- 0,6 Hz . h-1
dérive thermique	0,5 Hz . °C-1
facteur de qualité	180

Tableau 4.1 : caractéristiques techniques du capteur

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

- **Grandeurs d'influence :**

- ↪ Une grandeur d'influence est un paramètre d'environnement du capteur qui modifie la mesure

- ↪ La **température** influence souvent la caractéristique d'un capteur. Les paramètres susceptibles d'être modifiés sont :

- la sensibilité/gain
- le zéro ou offset

On emploie souvent le vocabulaire de **dérive thermique** d'un capteur

- ↪ La **tension d'alimentation** est un autre facteur de dérive des caractéristiques

- ↪ Ces dérives sont exprimées en ppm/°C ou ppm/V

Caractéristiques statiques des Capteurs

Erreurs aléatoires

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES			
Modèle	CP 1000	CP 2500	CP 5000
Référence commande	013 030 020	013 030 030	013 030 050
Tension d'alimentation recommandée	10 V	10 V	10 V
Tension d'alimentation maximale	15 V	15 V	15 V
Impédance d'entrée		400Ω ± 40Ω	
Impédance de sortie		352Ω ± 50Ω	
Résistance d'isolement		> 2000Ω	
Longueur du câble	10 m	10 m	10 m
CARACTERISTIQUES METROLOGIQUES			
Charge nominale	1000 Kg	2500 Kg	5000 Kg
Classe de précision		1000 d. OIML ou 2000 d. OIML ou 2500 d. OIML	
Sensibilité nominale	2,5 ± 1 % (mV/V)	2,5 ± 1 % (mV/V)	2,0 ± 1 % (mV/V)
Erreur combinée	0,02 % S	0,02 % S	0,02 % S
Erreur de répétabilité	0,02 % S	0,02 % S	0,02 % S
Dérive thermique du zéro	≤ ± 0,002 % S/°C	≤ ± 0,002 % S/°C	≤ ± 0,002 % S/°C
Dérive thermique de la sensibilité	≤ ± 0,002 % S/°C	≤ ± 0,002 % S/°C	≤ ± 0,002 % S/°C
Fluage	0,02 % S	0,02 % S	0,02 % S
E max (Kg)	1000	2500	5000
n max (d)		1000 ou 2000 ou 3000	
Y = E max / v min	10000	10000	10000
Z	5000	5000	5000

Caractéristiques statiques des Capteurs

Finesse

- La **finesse** permet d'évaluer la **perturbation** introduite par le dispositif de mesure.

L'introduction du dispositif de mesure peut provoquer une modification du mesurande. La mesure obtenue correspondra donc au *système composé du système initial plus le dispositif de mesure.*

- ↪ D'une manière générale, il faut que les paramètres *extensifs* du capteur soient faibles devant ceux du système à étudier.
- Certains capteurs n'introduisent aucune erreur de finesse (par exemple, mesure de distance ou vitesse par réflexion directe sur la surface en mouvement)

Caractéristiques statiques des Capteurs

Finesse

- Exemples :

capteur de température : capacité calorifique faible
 conductance thermique forte
 faibles pertes externes

capteur de pression : volume mort réduit
 faible volume de respiration

capteur angulaire: moment d'inertie faible
 frottements réduits

accéléromètre: faible masse