

INSTRUMENTATION I :

d'après « Instrumentation industrielle » de Michel GROUT (col. DUNOD)

LA MESURE DANS LES PROCÉDES

Avant d'aborder les quatre grandes catégories de mesure de la régulation (pression, débit, niveau et température) nous allons revenir sur les conditions dans lesquelles toute mesure doit être faite.

I DESCRIPTION D'UN PROCESSUS INDUSTRIEL

1) Activités dans une entreprise

Une entreprise industrielle assure une production de biens (produits) selon certaines exigences (réglementations, cahier des charges) susceptibles d'évoluer.

Ainsi, l'entreprise doit :

- **produire** : c'est à dire transformer des matières premières et de l'énergie en biens de consommation
- **maintenir** : elle doit assurer la meilleure disponibilité de l'outil de production (maintenance)
- **gérer** : aussi bien techniquement que financièrement les ressources disponibles

2) Procédé industriel

C'est la **méthode à suivre** pour obtenir un produit (comme une recette de cuisine...).

Le procédé est immatériel et se présente sous la forme d'un texte accompagné de schémas explicatifs formant le « **livre du procédé** » (*process data book*). On y décrit les ingrédients à utiliser, les moyens matériels à prévoir, les opérations à exécuter et les conditions (pression, débit, température, etc.) à respecter pour obtenir le produit à fabriquer, en *quantité* (capacité de production) et en *qualité*.

Le procédé doit être matérialisé par une unité de production ou *processus*.

3) Processus industriel

Le terme *processus* désigne deux aspects d'une installation de production, l'un **descriptif**, l'autre **matériel**:

- **aspect descriptif** : c'est l'ensemble des *opérations* détaillées d'élaboration d'un produit fini devant posséder des *caractéristiques imposées* dans les *limites de tolérances fixées*, selon un procédé déterminé.
- **aspect matériel** : c'est *l'installation* proprement dite, comprenant tous les appareils nécessaires à la transformation des matières premières.

REMARQUE : en anglais le terme « *process* » désigne à la fois le procédé et le processus.

4) Schéma de tuyauterie et d'instrumentation

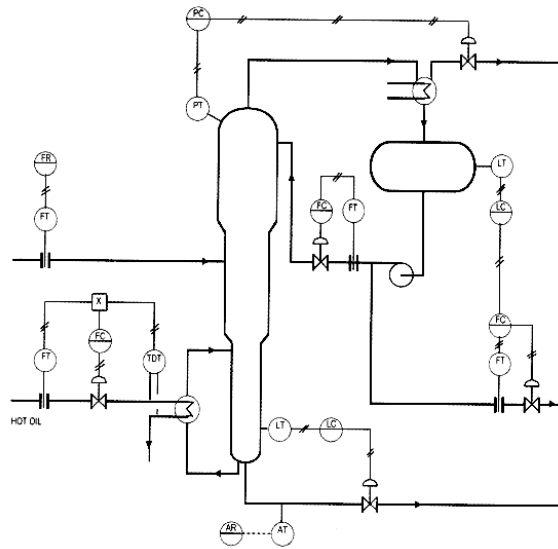
Le processus est décrit dans un « schéma mécanique » souvent désigné sous le vocable anglais de P & ID (*Process and Instrumentation Diagram*) qui se traduit par « schéma de tuyauteries et instrumentation du processus » ou **schéma TI**.

Un tel schéma TI utilise des **symboles normalisés** représentant sans ambiguïté les différents composants du processus :

- les équipements propres au processus lui-même,
- les équipements nécessaires au contrôle du processus.

Les équipements propres au processus lui-même sont :

- les **équipements statiques** pour les opérations de transport et de stockage (tuyauteries, bacs),
- les **équipements dynamiques** pour les opérations de transformation (fours, tours de distillation, séparateurs, échangeurs, etc.).



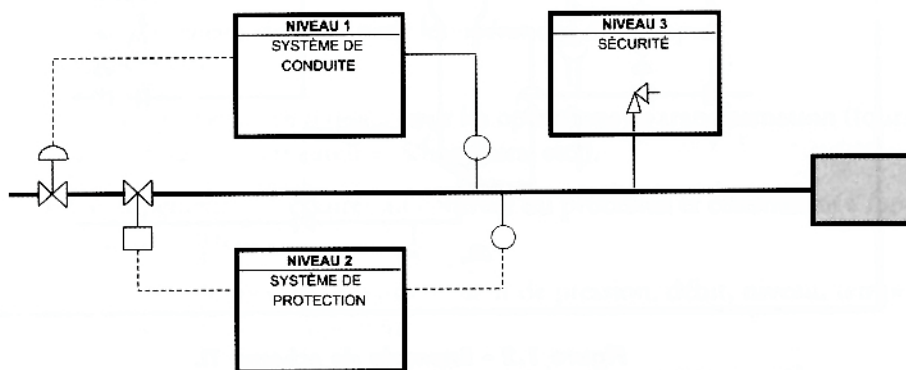
Les équipements nécessaires au contrôle du processus et constituant **l'instrumentation** comportent :

- des prises de mesure (essentiellement de **pression, débit, niveau, température**) disposées sur les équipements,
- des instruments de mesure (**indicateurs locaux, transmetteurs**),
- des organes de contrôle (**régulateurs**),
- des organes de sécurité (**alarmes, systèmes de commandes automatiques**),
- des organes de commande permettant de moduler ou de sectionner les flux de matières (**vannes motorisées de sectionnement, vannes régulatrices, pompes, ventilateurs**, etc.),
- des organes de protection (**soupapes**).

Sur le seul plan de l'instrumentation, pendant le développement d'un projet, le **schéma TI** prend successivement des formes allant du plus simple au plus compliqué. Le schéma ci-dessus donne une représentation simplifiée d'un processus, l'instrumentation étant limitée aux concepts mais pas encore à la réalisation pratique.

5) Hiérarchie des systèmes de contrôle

Tout processus doit être équipé de systèmes de contrôle hiérarchisés de la façon suivante :



Niveau 1 : système de *conduite*

Niveau 2 : système de *protection*

Niveau 3 : système de *sécurité*

Le **niveau 1** comprend essentiellement l'instrumentation de contrôle du processus : capteurs (mesures), régulateurs, programmeurs, vannes régulatrices.

Ce niveau 1 assure la *conduite* soit de façon permanente (processus continu), soit selon une séquence par commandes programmées (processus de fabrication par *batch*) initialisée par l'opérateur.

Le **niveau 2** comprend essentiellement une instrumentation de composition voisine de celle du niveau 1, mais **totale**ment indépendante fonctionnellement de ce niveau.

Ce niveau 2 assure la *protection* du processus selon une fonction discontinue non systématique, c'est-à-dire non initialisée par l'opérateur, à partir d'informations de dépassement de seuils sur des paramètres critiques du processus.

Le **niveau 3** constitue la *protection ultime* du processus. Il ne contient pas d'instrumentation identique à celles des niveaux 1 et 2, mais des dispositifs fonctionnant sans énergie auxiliaire (soupapes, disques de rupture).

6) Grandeurs à contrôler

Les *principales* grandeurs physiques à contrôler (maîtriser) sur un processus industriel sont au nombre de quatre, désignées par une lettre majuscule (initiale; du mot anglais)

P (<i>PRESSURE</i>)	PRESSION
F (<i>FLOW</i>)	DÉBIT
L (<i>LEVEL</i>)	NIVEAU
T (<i>TEMPERATURE</i>)	TEMPÉRATURE

D'autres grandeurs physiques ou chimiques peuvent aussi être mesurées ou « analysées » :

A (<i>ANALYSIS</i>)	ANALYSE
------------------------------	---------

L'« analyse » effectuée peut être :

- la mesure d'une **qualité spécifique d'un corps** (masse volumique, viscosité, pression de vapeur, etc.),
- la **détection du changement d'état d'un corps** (solidification, vaporisation, etc.),
- la **composition chimique d'un corps** (en général partielle) ou la **teneur d'un seul composant dans un mélange**,
- le **pH** d'une solution (dissociation ionique).

7) Symbolisation et repères d'identification

La schématisation TI s'appuie sur la norme **NF E 04-203** « *régulation, mesure et automatisme des processus industriels – représentation symbolique* ».

Cette norme réunit les deux types de représentations graphiques : la représentation ISA (Instrument Society of America) et la représentation d'inspiration européenne.

C'est la représentation ISA qui est la plus utilisée, et c'est celle qui est employée dans ce cours.

La symbolisation de l'instrumentation selon la norme **NF E 04-203** :

Un symbole par fonction


INSTRUMENTS DISCRETS

Formes 1 et 2

-  Instrument local
-  Instrument sur tableau en salle de contrôle
-  Instrument sur tableau local

SYSTÈME NUMÉRIQUE (SNCC*)

Formes 1 et 2

-  Affichage vidéo et commandes en salle de contrôle

AUTOMATE PROGRAMMABLE

Formes 1 et 2

-  Inaccessible

Raccordement d'un instrument local sur le processus

SYMBOLE

FI
237

Cercle en trait fin d'environ 10 mm de diamètre

Un codet** indique

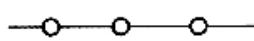
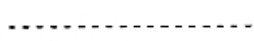

- la propriété mesurée (F)
- la fonction (I),

et est complété par un N° d'identification.

* Système Numérique de Contrôle-Commande
 **Codet: lettres de codification juxtaposées



LIAISONS

Forme 1

-  logiciel ou bus
-  électrique
-  pneumatique

ACTIONNEURS AUTOMATIQUES

Forme 1

-  à membrane simple effet
-  à piston double effet

CODETS SERVANT A L'IDENTIFICATION DES VARIABLES ET DES FONCTIONS :

	<u>Première lettre :</u>	<u>Lettres suivantes :</u>		
	VARIABLE MESUREE	AFFICHAGE (fonction passive)	FONCTION	COMPLEMENT
A	Analyse	Alarme		
B	Combustion (flamme)			
C	Conductivité (note 2)		régulateur	
D	Masse volumique (note 2)			Différence (note 3)
E	Tension	Elément primaire		
F	Débit			Proportion (note 3)
G	(note 1)	A glace		
H	Commande manuelle			Haut
I	Courant (électrique)	Indicateur		
J	Puissance			

K	Temps			
L	Niveau	Voyant lumineux		Bas
M	Humidité (note 2)			
N	Viscosité (note 2)			
O	(note 1)			
P	Pression			
Q	Quantité	Totaliseur		
R	Rayonnement	Enregistreur		
S	Vitesse		commutateur	
T	Température		Transmetteur	
U	Variables multiples			
V	Vibration		Vanne	
W	Masse ou force	Puits thermométrique		
X	(note 1)			
Y	Événement		Relais de calcul	
Z	position			

NOTES :

- 1 lettre laissée au libre choix de l'utilisateur
- 2 lettre laissée au libre choix de l'utilisateur si la variable répertoriée n'est pas utilisée
- 3 en complément à la 1^{ère} lettre d'identification (ex : PDI)

II GENERALITES SUR LES CAPTEURS

1) Les fonctions d'une boucle de régulation

La boucle de régulation contient les quatre impératifs :

MESURER ; DECIDER ; ACTIONNER ; COMMUNIQUER

La fonction **MESURER** (assurée par un capteur) permet de connaître la valeur de la grandeur contrôlée en délivrant un signal utilisable par les fonctions situées en aval.

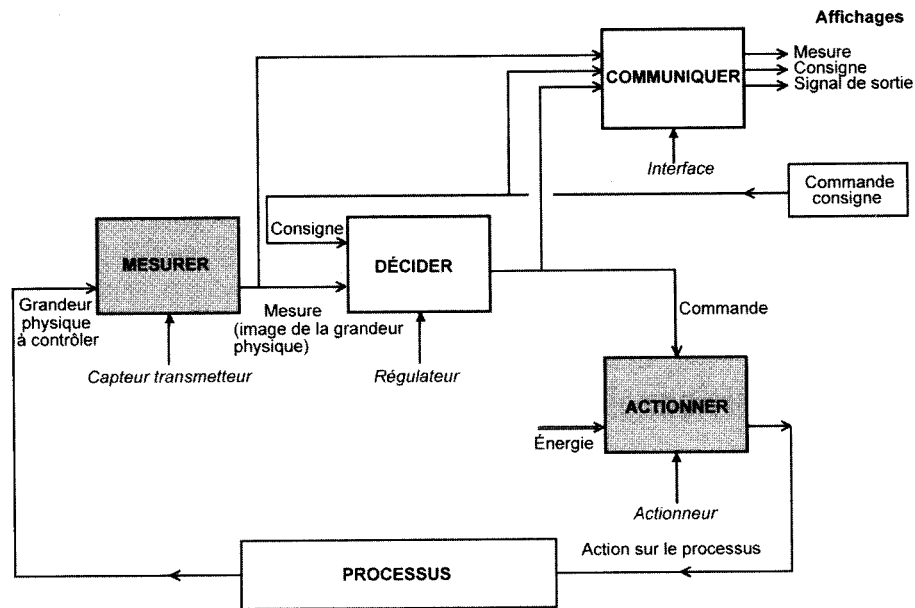
La fonction **DÉCIDER** (assurée par un régulateur) engendre une commande appropriée permettant de ramener en permanence la grandeur mesurée à la valeur fixée par la consigne, avec des écarts les plus réduits possibles quelles que soient les perturbations agissant sur le processus.

La fonction **ACTIONNER** (assurée par un actionneur ou organe de réglage) agit sur une grandeur de contrôle du processus capable de ramener la grandeur contrôlée à la valeur de consigne.

La fonction **COMMUNIQUER** (assurée par une interface spécifique intégrée au régulateur) permet à l'opérateur de connaître les paramètres caractérisant l'état du système, tels que mesure, consigne et signal de commande.

Cette année, seule la fonction MESURER (effectuée par les capteurs) est abordée.

En deuxième année, vous étudierez la fonction ACTIONNER (effectuée par les organes de réglage).



2) Distinction entre capteur et transmetteur

Un *capteur* est un élément d'un appareil de mesure auquel est directement appliquée une grandeur à mesurer et dont le signal de sortie n'est pas directement utilisable comme signal d'entrée dans une boucle de mesure ou de régulation (comme par exemple un thermocouple délivrant une fem de quelques mV).

Un *transmetteur* est un appareil de mesure dont l'entrée est issue d'un capteur et dont la sortie est un signal conforme à un *standard analogique* (0,2-1 bar ou 4-20 mA) ou *numérique*, directement utilisable dans une boucle de mesure ou de régulation.

Même si dans le langage courant du régleur, le terme capteur est employé (à tort, mais bon tant qu'il sait ce qu'il fait ...) pour désigner aussi bien un capteur qu'un transmetteur, il est bon de garder présent à l'esprit que la partie du transmetteur sensible à la grandeur mesurée est le capteur, et que celui-ci doit être choisi judicieusement selon les situations rencontrées.

On peut classer les grandeurs physiques à mesurer en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles :

- **Mécanique** : déplacement, force, masse, débit ...etc...
- **Thermique** : température, capacité thermique, flux thermique ...etc...
- **Electrique** : courant, tension, charge, impédance, diélectrique ...etc...
- **Magnétique** : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique ...etc
- **Radiatif** : lumière visible, rayons X, micro-ondes ...etc...
- **(Bio)Chimique** : humidité, gaz, sucre, hormone ...etc....

3) Classification des capteurs

On classe les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie. Cette classification influe sur le conditionneur qui lui est associé.

a- Capteurs passifs

Le capteur se comporte **en sortie comme un dipôle passif** qui peut être résistif, capacitif ou inductif.

MESURANDE	EFFET UTILISE (Grandeur de sortie)	MATERIAUX
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs
Très basse température	Cste diélectrique	Verre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétiques
Position	Résistivité	Magnétorésistances : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Le tableau ci-dessus résume, en fonction du mesurande, les effets utilisés pour réaliser la mesure.

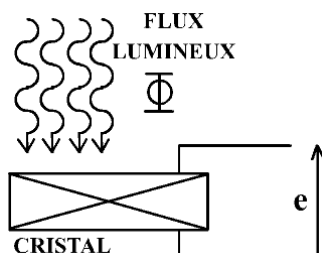
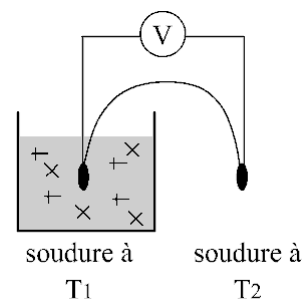
b- Capteurs actifs

Dans ce cas, **la sortie du capteur est équivalente à un générateur**. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge. Les principes physiques mis en jeu sont présentés ci-dessous.

MESURANDE	EFFET UTILISE	GRANDEUR DE SORTIE
Température	Thermoélectricité (thermocouple)	Tension
Flux optique	Photoémission Pyroélectricité	Courant Charge
Force, pression, accélération	Piézoélectricité	Charge
Position	Effet Hall	Tension
Vitesse	Induction	Tension

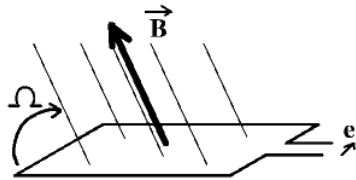
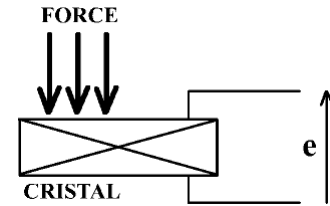
Décrivons succinctement ces effets (certains seront vus plus en détail par la suite) :

Thermoélectricité : c'est l'effet Seebeck. Un thermocouple est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes T_1 et T_2 . Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température ($T_1 - T_2$)



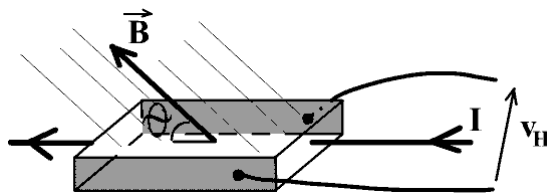
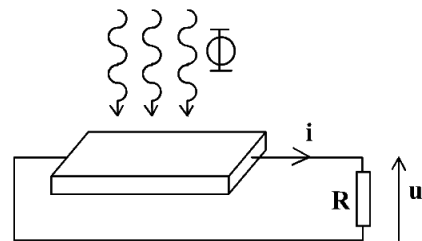
Pyroélectricité : certains cristaux présentent une polarisation électrique proportionnelle à leur température. Ainsi, en absorbant un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable.

Piézoélectricité : l'application d'une force sur ce type de matériau engendre l'apparition de charges électriques créées par la déformation du matériau.
C'est un phénomène réversible.



Induction : la variation d'un flux magnétique engendre l'apparition d'une force électromotrice.

Photoélectricité : sous l'influence d'un rayonnement lumineux, le matériau libère des charges électriques (paires électron-trou) et celles-ci en fonction du rayonnement engendre un courant électrique.



Effet Hall : un semi-conducteur de type parallélépipède rectangle, placé dans une induction B et parcouru par un courant I, voit l'apparition, dans la direction perpen-

-diculaire au courant et à l'induction, d'une différence de potentiel qui a pour expression :

$$U_{HALL} = K_H . I . B . \sin \theta$$

K_H est fonction du matériau, et θ est l'angle entre I et B.

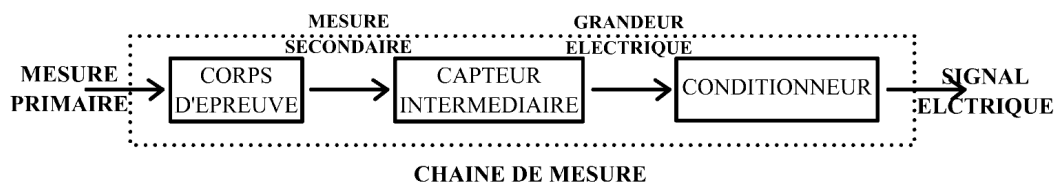
4) Le transmetteur ou chaîne de mesure

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, on fait appel à une chaîne de mesure qui peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents.

Par exemple, la mesure d'un débit peut se faire en plusieurs étapes :

- transformation du débit en une pression différentielle,
- transformation de la pression différentielle en la déformation mécanique d'une membrane,
- transformation de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézo-électrique) via un circuit électronique associé.

L'ensemble de ces étapes constitue la chaîne de mesure.



De manière classique la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique. Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande (ou grandeur à mesurer, cf. ci-après).

Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable.

Le choix de ce conditionneur est une étape importante dans le cadre de la chaîne de mesure car, associé au capteur, il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure.

Cette chaîne de mesure se présente la plupart du temps « toute intégrée » dans un boîtier (capteur(s) + électronique associée). On parle alors de **transmetteur**.

Avant d'aborder les performances d'une chaîne de mesure, nous devons préciser ce que nous attendons d'une mesure (et d'ailleurs, qu'est-ce qu'une mesure ? ?). La métrologie est le domaine qui étudie et qui gère les bonnes façons de faire une mesure.

Il nous faut donc maintenant préciser quelques termes de la métrologie.....

III ELEMENTS DE METROLOGIE

Quels sont les principaux objectifs à atteindre pour un régleur ?

- un capteur génère **une information brute**, et le régleur doit être capable de concevoir un ensemble de dispositifs traitant ce signal à destination d'un récepteur chargé d'afficher clairement un résultat interprété.
- le second point est qu'**un capteur n'est jamais parfait** et qu'il convient de connaître avec la plus grande précision possible son état d'imperfection si l'on veut pouvoir en tenir compte dans une interprétation raisonnable et raisonnée du résultat interprété
- le troisième élément est qu'il existe souvent **plusieurs procédés de captage possible a priori** et que pour effectuer le meilleur choix il convient d'avoir une idée très précise du contexte de la mesure, mais aussi des caractéristiques des différents capteurs

En conséquence le concepteur d'une chaîne instrumentale doit orienter ses choix en vue du **meilleur compromis possible** entre les exigences métrologiques, technologiques, économiques, de sécurité, de fiabilité...qui sont malheureusement le plus souvent contradictoires.

1) L'objet de la mesure

- **LA METROLOGIE** : est la science de la mesure.

La métrologie embrasse tous les aspects aussi bien théoriques que pratiques se rapportant aux mesurages, quelle que soit l'incertitude de ceux-ci, dans quelque domaine de la science et de la technologie que ce soit.

- **MESURAGE** : ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.
- **MESURANDE** : grandeur particulière soumise à mesurage

2) Une comparaison nécessaire : l'étalonnage

L'ÉTALONNAGE : C'est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons.

La métrologie détient les étalons de référence, et elle assure la surveillance qualitative à l'aide des étalons de référence qu'elle détient ou par recours à des organismes agréés ou habilités "chaîne d'étalonnage".

On définit plusieurs types d'étalons :

L'étalon primaire :

Etalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur.

L'étalon de référence :

Etalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné ou dans une organisation donnée, dont dérivent les mesurages qui y sont faits.

L'étalon de transfert :

Etalon utilisé comme intermédiaire pour comparer entre eux des étalons.

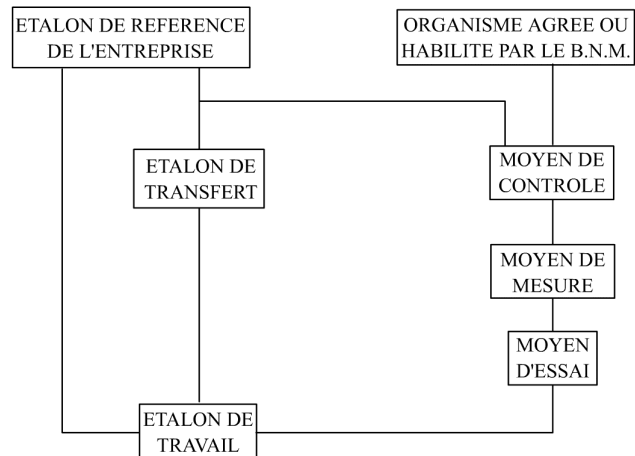
Note : le terme dispositif de transfert doit être utilisé lorsque l'intermédiaire n'est pas un étalon.

L'étalon de travail :

Etalon qui est utilisé couramment pour étalonner ou contrôler des mesures matérialisées, des appareils de mesure ou des matériaux de référence.

Notes :

- un étalon de travail est habituellement étalonné par rapport à un étalon de référence
- un étalon de travail utilisé couramment pour s'assurer que les mesures sont effectuées correctement est appelé étalon de contrôle
- les étalons doivent être eux aussi soumis à des vérifications régulières(ou remplacés par d'autres étalons plus précis).



La hiérarchie du système d'étalonnage peut être représentée par une chaîne du type de celle ci-dessus.

3) Le domaine de validité d'une mesure

INCERTITUDE DE MESURE : étroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et la valeur vraie du mesurande.

Les incertitudes de mesurage sont les paramètres qui caractérisent la dispersion des valeurs lors d'un mesurage. L'étude des incertitudes a donc pour objectif de déterminer les capacités des moyens de mesures.

Il y a lieu de distinguer deux sources d'incertitudes :

- **L'incertitude liée à la méthode et aux moyens d'étalonnage.**

Lors de la mise en place d'une méthode d'étalonnage, il faut procéder à la qualification métrologique de la méthode. Cette opération se fonde sur des essais techniques et sur une analyse objective des causes d'incertitudes. Cette incertitude est elle-même déterminée à partir de plusieurs composantes provenant notamment du montage des étalons et des instruments utilisés, des conditions d'environnement.

- **L'incertitude liée à l'instrument à étalonner.**

Cette incertitude est déterminée à partir des caractéristiques propres de l'instrument dont notamment la fidélité et l'erreur de lecture ou de quantification.

Note : *L'incertitude de mesure comprend, en général, plusieurs composantes. Certaines peuvent être estimées en se fondant sur la distribution statistique des résultats de séries de mesurage et peuvent être caractérisées par un écart type expérimental . L'estimation des autres composantes ne peut être fondée que sur l'expérience ou sur d'autres informations.*

4) La qualité d'un appareil de mesure

Tous les appareils de mesure ne se valent pas, et le choix de l'instrument de mesure dépend de la précision attendue sur la valeur de la grandeur. Citons trois qualités importantes (ce ne sont pas les seules...) :

- **Fidélité (d'un instrument de mesure):** aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications très voisines lors de l'application répétée du même mesurande dans les mêmes conditions de mesure.

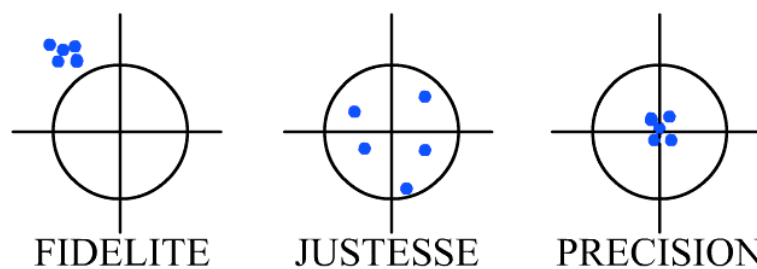
QUALITE LIEE A L'ECART TYPE D'UNE SERIE DE MESURES

- **Justesse (d'un instrument de mesure):** aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications exemptes d'erreur systématique.

QUALITE LIEE A LA VALEUR MOYENNE D'UNE SERIE DE MESURES

- **Précision (d'un instrument de mesure) :** aptitude d'un instrument de mesure à donner une indication très proche de la valeur vraie de la grandeur

QUALITE LIEE A L'ECART RELATIF



5) Mesure d'une grandeur physique

Ce sont par exemple les grandeurs physiques énumérées dans le paragraphe II 3)

a- exemples de grandeurs physiques :

Une grandeur physique est toujours issue d'un cadre théorique qui amène à sa définition, par nécessité, dans un but de vérifier, et d'éprouver le modèle imaginé. C'est le lien entre une théorie (**LE MODELE**) et une expérience (**LE PHENOMENE**).

Les grandeurs physiques déjà rencontrées sont nombreuses.....température, pression, longueur,.....mais aussi quantité de chaleur, entropie, flux lumineux.....

b- la mesure :

Là encore, le cadre théorique fournit, en même temps que la grandeur physique « créée », la méthode pour l'évaluer et son unité (s'il y a lieu).

Faire une mesure, c'est comparer une grandeur physique (ou chimique ou biologique....) inconnue avec une grandeur de même nature prise comme référence à l'aide d'un instrument. Qui dit mesure, dit référentiel, donc unité.

Pour qu'une grandeur soit mesurable, il faut savoir déterminer le rapport de 2 grandeurs de même nature. Nous verrons un exemple dans le cours de physique à propos de la mesure des températures (cette grandeur a été pendant longtemps une grandeur repérable mais non mesurable....)

c- unités et systèmes d'unités

Dans un ensemble de grandeurs de même nature, on appelle unité de mesure, une grandeur particulière, choisie arbitrairement comme grandeur de référence.

Le terme « arbitrairement » peut vouloir dire *une habitude* (historique, coutume...), *un côté pratique* (peu coûteux, facile à réaliser), *une imposition légale* (Commission, Etat,....)

Les anglo-saxons ont conservé le pied (0,3048 m), les astronomes utilisent l'année-lumière, dans la marine et l'aviation, le mille nautique est très souvent employé (1,852 km), mais ces trois unités de base servent à la mesure de la même grandeur physique « LONGUEUR ».

6) Le système international, aussi appelé MKS

C'est vraiment LE système de référence pour la plupart des pays, en tout cas du domaine industriel.

Il repose sur sept (7) unités imposées, toutes les autres étant déduites de celles-ci (même si on leur donne un nom particulier comme le newton (N) qui est en fait du « kg.m/s² »)

Les 7 unités de base			
Grandeur		Unité	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
Longueur	l	mètre	m
Masse	m	kilogramme	kg
Temps	t	seconde	s
Courant électrique	i	ampère	A
Température	T	kelvin	K
Quantité de matière	n	mole	mol
Intensité lumineuse	I	candela	cd
Unités complémentaires sans dimension			
Angle plan	α, θ, \dots	radian	rad
Angle solide	$d\Omega, \Omega, \dots$	stéradian	sr

Mètre : Le mètre (m) est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde

Kilogramme : Le kilogramme (kg) est la masse du prototype en platine iridié qui a été sanctionné par la Conférence générale des poids et mesures tenue à Paris en 1889 et qui est déposé au Bureau international des poids et mesures

Seconde : La seconde (s) est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133

Ampère : L'ampère (A) est l'intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire

négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force de 2.10^{-7} newton par mètre de longueur.

Kelvin : Le kelvin (K) est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

Candela : La candela (cd) est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540.1012 hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est $1/683$ watt par stéradian

Mole : La mole (mol) est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.

Application : exprimer le joule (J) en unités appropriées du système international. Comment s'exprime dans ce même système d'unités le volt (V) ?

7) Une conversion indispensable : les unités anglo-saxonnes

Rappelons « l'anecdote » arrivée à la sonde Mars Climate Orbiter :

La NASA a révélé que c'est l'omission de convertir en kilomètres des calculs faits en miles qui a été à l'origine de l'écrasement de Mars Climate Orbiter le 22 septembre 1999. Au moment de la programmation de la sonde pour qu'elle passe à une centaine de kilomètres de Mars lors de sa mise en orbite, un groupe d'ingénieurs utilisait dans ses calculs les unités anglaises alors qu'un autre travaillait en système métrique. La sonde est, par conséquent, passée à 60 kilomètres de la planète au lieu de 60 miles, si proche qu'elle a brûlée dans l'atmosphère martienne. Cette « erreur » a représenté une perte de 150 millions de dollars américains.

Si vous ne voulez pas avoir à rembourser de votre poche votre employeur, le mieux est de savoir jongler entre les différents systèmes d'unités, et SURTOUT, de toujours penser à regarder l'unité des grandeurs utilisées ! ! !

Table de conversion unité SI et unité anglo-saxonne :

Distances	Volume	Masse	Puissance
pouce (inch) : 1 in. = 2,54 cm	US gallon : 1 USgal = 3,786 l	once (ounce) : 1 oz = 28,35 g	cheval vapeur (horsepower) : 1 hp = 0,746 kW
pied (foot) : 1 ft = 30,48 cm	US barrel (baril) : 1 bbi = 42 USgal = 159 l	livre (pound) : 1 lb = 0,454 kg	
mile (miles) = 1,609 km			

Application :

Démontrer qu'en unités du système MKS, l'unité anglo-saxonne de pression le psi (livre par pouce au carré) $1 \text{ psi} = 6,895 \text{ kPa}$

8) L'assurance qualité d'un procédé : la norme « ISO 9000 »

Cette question, qui s'est toujours posée plus ou moins, devint primordiale dans les années « 70 » (en fait, à partir de 1973, premier choc pétrolier, fin des années glorieuses, et ouverture de la chasse au gaspi...). Les entreprises ont cherché à augmenter leur rendement au maximum, et à minimiser le plus possible les pertes et les rebuts dans leur production. Il fallait donc imposer « un contrat » entre le client (l'entreprise qui achète un procédé – management ou autre –) et le prestataire (le fournisseur du procédé). Ce contrat est un contrat

portant sur la qualité des mesures, c'est à dire que le procédé a été réalisé avec l'assurance d'une **qualité minimale** !

Autrement dit, le client, en achetant le procédé, est certain d'avoir au moins la qualité stipulée par le cahier des charges (et donc au plus une qualité encore supérieure !).

Cette norme qui a vu le jour en 1985 (ou plutôt cet ensemble de normes) est appelé

« **NORME ISO 9000** »

En fait, la série des normes ISO 9000 comprend :

- **l'ISO-9000** n'est pas une norme au sens strict du terme; elle définit, en fait, un cadre général et donne les lignes directrices pour la sélection et l'utilisation des autres normes dont elle fournit une brève description ;
- **l'ISO-9001** présente un modèle d'assurance-qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées. Cette norme est la plus poussée des norme ISO-9000 et fournit un modèle total ;
- **l'ISO-9002** régit la production, l'installation et les prestations associées ; cette certification est visée surtout par les entreprises qui ne développent pas de produits et de service à la clientèle ;
- **l'ISO-9003** offre un modèle d'assurance-qualité en contrôle et essais finals ; cette certification fournit la preuve officielle que le contrôle final et les essais finals ont été correctement effectués ;
- **l'ISO-9004** fournit aux entreprises des directives pour mettre en place un système de gestion de la qualité; cette norme correspond en fait à un manuel détaillé.

Précisons les choses par un exemple volontairement aberrant :

Un fabricant de chaussettes veut fabriquer des chaussettes trouées. Rien n'empêche que son procédé soit certifié ISO 9000, cette norme ne juge pas la qualité du produit, ni son intérêt, ni sa conformité, elle assure « seulement » que ce procédé fabrique ses chaussettes trouées dans les meilleures conditions de rendement !

Notons qu'il existe aussi une norme **ISO 14 000** . *ISO 14000* traite principalement du "management environnemental". En clair, il s'agit de ce que l'organisation fait pour réduire les effets nuisibles de ses activités sur l'environnement.

IV PERFORMANCES D'UNE CHAÎNE DE MESURES

Nous avons signalé précédemment qu'un bon régleur doit être capable de choisir « ses » transmetteurs en faisant le meilleur compromis entre les exigences métrologiques, technologiques, économiques....

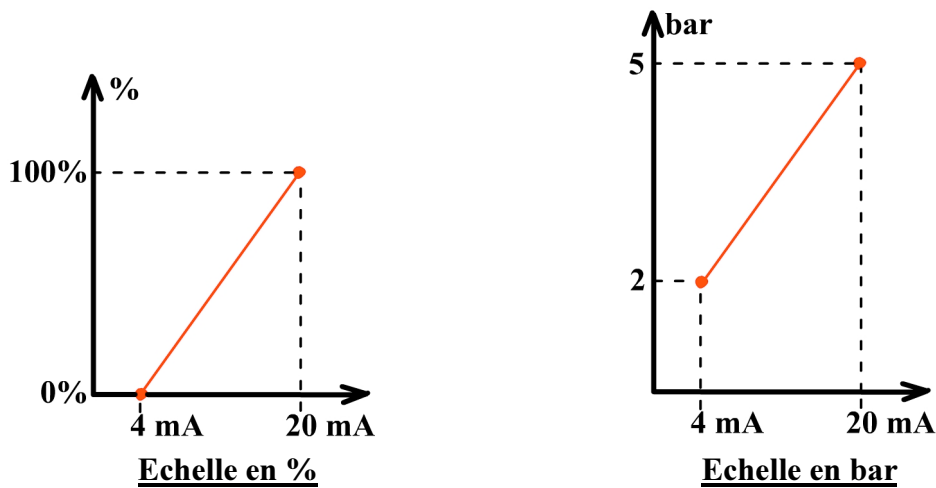
Il est donc nécessaire de bien connaître toutes les caractéristiques des chaînes de mesure envisagées.

1) L'échelle

L'échelle (« span ») est un ensemble ordonné de repères, avec toute chiffraison associée, formant partie d'un dispositif indicateur.

Cette échelle possède (ou non) son unité.

Très souvent en instrumentation, l'échelle d'un transmetteur est donnée de zéro à cent % (donc sans unité a priori) mais peut correspondre à une gamme allant de (par exemple pour des pressions) deux à cinq bars Cela signifie simplement que 2 bar correspond à 0% de la gamme et que 5 bar correspond à 100% de la gamme.



Rappelons aussi que les standards analogiques sont « 4 – 20 mA » en électronique et « 0,2 – 1 bar » en pneumatique.

2) L'étendue de mesure

L'étendue de mesure (« span »), encore appelée parfois intervalle de mesure représente quant à elle le module de la différence entre les Portées Limites Supérieure, soit PLS (en anglais « URL » pour Upper Range Limit) et Inférieure soit PLI (en anglais « LRL » pour Lower Range Limit) de l'échelle.

Ainsi sur notre exemple précédent, l'étendue de mesure est $|5-2|=3$ bars en unité de pression, alors qu'elle vaudra toujours 100% en pourcentage !

C'est un des premiers réglages auquel est confronté le régleur.

Tout transmetteur nouvellement introduit sur un procédé doit être étalonner.

3) Le réglage du zéro

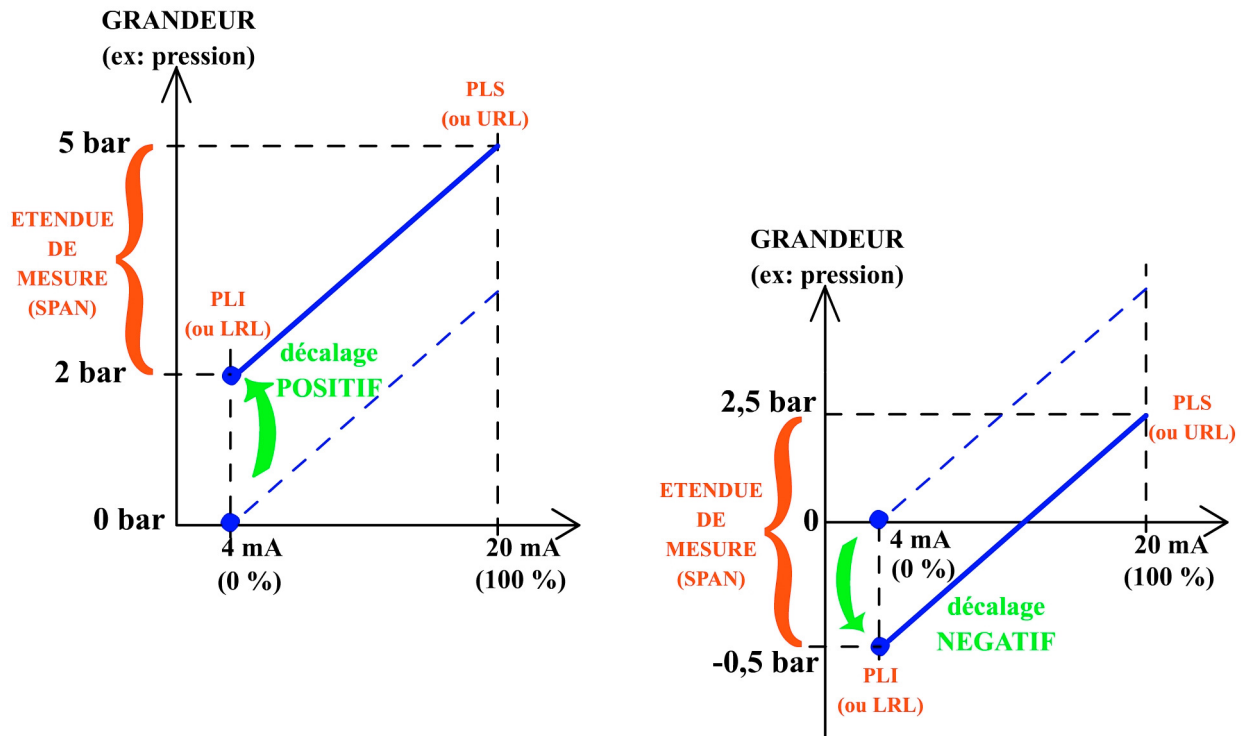
Ce réglage se fait en même temps que le réglage de l'étendue de mesure. D'ailleurs, sur la plupart des transmetteurs (sauf les plus récents...) les réglages de l'étendue de mesure et du zéro ne sont pas indépendants, il faut donc procéder par touches successives.

Pourquoi régler le zéro ? Eh bien parce que 0% ne correspond pas forcément au zéro de la grandeur mesurée.

Toujours sur notre exemple, 2 bar doit correspondre à 0% de l'échelle, un décalage du zéro s'impose.

On distingue les décalages positifs des décalages négatifs :

- **un décalage positif** s'impose lorsque le zéro de la grandeur mesurée doit se situer au-dessous de la limite inférieure de l'échelle (PLI ou LRL).
Le terme anglo-saxon est « zero suppression » ou « suppressed zero range ».
En effet, le zéro de la grandeur est bien supprimé de l'étendue de mesure (dans l'exemple 2 bar – 5 bar voir fig. ci-dessous)
- **un décalage négatif** est nécessaire lorsque le zéro de la grandeur mesurée doit se situer au-dessus de la limite inférieure de l'échelle (PLI ou LRL).
Le terme anglo-saxon est « zero elevation » ou « elevated zero range ».
En effet, le zéro de la grandeur est bien élevé dans l'étendue de mesure (cf ci-dessous).



Nous verrons des exemples de décalage dans le chapitre sur les mesures de niveaux.

4) Rangeabilité

On définit la rangeabilité d'un transmetteur par le rapport :

$$R = \frac{\text{étendue_maximale_de_réglage}}{\text{étendue_minimale_de_réglage}}$$

Ainsi, pour un transmetteur possédant une étendue maximale de 1000 mbar et une étendue minimale de 62,5 mbar, le calcul donne :

$$\frac{1000}{62,5} = 16$$

et le résultat est présenté sous la forme R :1, ainsi, la rangeabilité est de 16 :1

5) Résolution

Elle correspond à la plus petite variation du mesurande que le capteur est susceptible de déceler.

Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, on définit la résolution par la formule suivante :

$$\text{résolution} = \frac{\text{étendue_de_la_mesure}}{\text{nombre_de_points_de_mesure}}$$

6) Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur

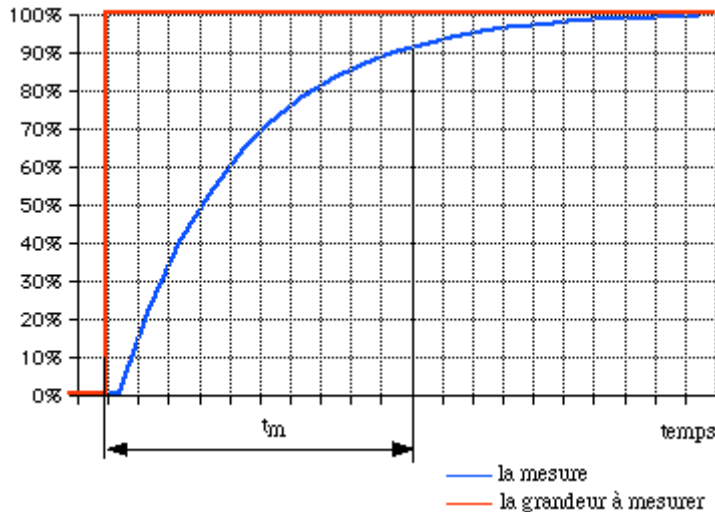
Elle donne la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée.

Elle est donnée classiquement par une courbe en régime permanent (on parle de la *caractéristique statique*). Elle ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur (c'est à dire sur son comportement en évolution. On parle du *comportement dynamique* voir ci-dessous « rapidité, temps de réponse »).

7) Rapidité ; temps de réponse

C'est l'aptitude d'un instrument à suivre les variations de la grandeur à mesurer. Dans le cas d'un échelon de la grandeur entraînant la croissance de la mesure on définit :

- Le temps de réponse à la montée t_m , c'est le temps nécessaire pour que la mesure croisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à 90 % de sa variation totale.
- Le temps de réponse à la descente, t_d c'est le temps nécessaire pour que la mesure décroisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à 90 % de sa variation totale.



On peut la chiffrer par d'autres manières :

- bande passante du capteur. (à -3 dB par exemple).
- Fréquence de résonance du capteur.
- Temps de réponse (à x%) à un échelon du mesurande.

8) Sensibilité

Elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné. C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur.

$$\text{Sensibilité} = \left[\frac{d(\text{grandeur_de_sortie})}{d(\text{mesurande})} \right]_{\text{POINT_CONSIDERE}}$$

Dans le cas d'un **capteur linéaire**, la sensibilité du capteur est constante.

Il faut noter que la sensibilité d'un capteur peut être fonction du conditionneur auquel il est associé.

Lorsque « grandeur de sortie » et « mesurande » sont de même nature, le rapport précédent est alors sans dimension et peut être appelé gain. Il s'exprime généralement en dB.

$$\text{gain (en dB)} = 20 \log (\text{grandeur desortie/mesurande})$$

9) Classe de précision

La classe d'un appareil de mesure correspond à la valeur en % du rapport entre la plus grande erreur possible sur l'étendue de mesure.

$$\text{classe} = 100. \frac{\text{plus_grande_erreur_possible}}{\text{étendue_de_mesure}}$$

10) Finesse

C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer.

Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis à vis du capteur mais aussi vis à vis de l'environnement d'utilisation du capteur.

Exemple :

- dans le cas d'une mesure thermique, on cherchera un capteur à faible capacité

calorifique vis à vis des grandeurs l'environnant.

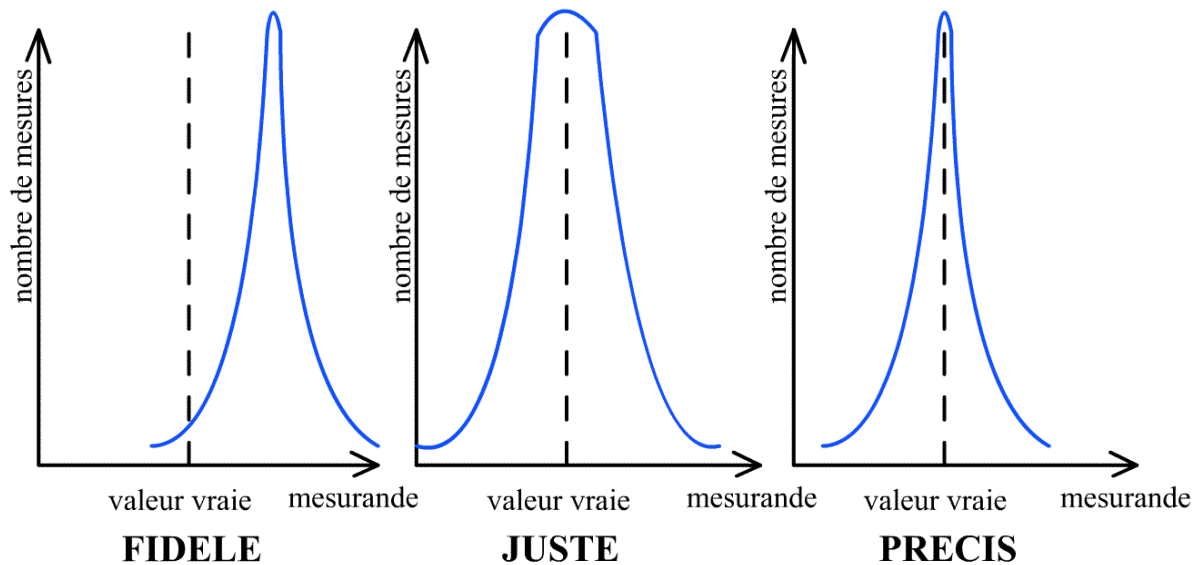
- pour un capteur d'induction B, un capteur à forte perméabilité sera très sensible, par contre sa présence aura tendance à perturber les lignes de champ et la mesure de l'induction ne sera pas celle sans capteur, d'où une mauvaise finesse. Mais cette erreur peut être évaluée en vue d'une correction « post-mesure » et ainsi faire abstraction de la présence du capteur. Finesse et sensibilité sont en général antagonistes.

11) Fidélité, justesse et précision

La **fidélité** est la qualité d'un appareillage de mesure dont les erreurs sont faibles. L'écart-type est souvent considéré comme l'erreur de fidélité.

Un instrument est d'autant plus **juste** que la valeur moyenne est proche de la valeur vraie.

Un appareil **précis** est à la fois fidèle et juste.

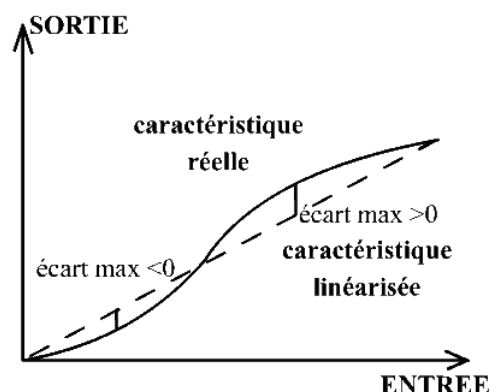


12) Linéarité

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande.

Cette zone peut être déterminée à partir de la définition d'une droite obtenue comme approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur.

On définit à partir de cette droite l'écart de linéarité qui exprime en % l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe.



V RECENSEMENT DES ERREURS

Un instrument de mesure, aussi bien conçu qu'il puisse être, ne donnera jamais la valeur de la grandeur mesurée (d'ailleurs, cette valeur existe-t-elle ?.....pas sûr, l'appareil n'est jamais

« ponctuel » son résultat concerne donc un « petit voisinage », et puis sans appareil, la valeur est-elle la même qu'avec l'appareil ?).

Il est donc important de réfléchir aux causes possibles d'erreurs. Les erreurs mentionnées ci-dessous n'agissent jamais seules, ni indépendamment des autres, elles sont la plupart du temps combinées.

On ne parle pas des erreurs accidentelles (fausse manœuvre, casse des instruments...) qui ne sont pas significatives en métrologie.

1) Les erreurs systématiques

C'est une erreur reproductible liée à sa cause par une loi physique, donc susceptible d'être éliminée par des corrections convenables.

Exemples :

- dilatation des pièces mécaniques constituant le manomètre, en fonction de la température ambiante
- méthode courte ou longue dérivation pour la mesure d'une résistance.....

2) Les erreurs aléatoires

Elles surviennent de façon aléatoire, et interviennent indifféremment en plus ou en moins par rapport à la valeur vraie.

3) Erreurs dues à l'opérateur

□ **erreur de parallaxe**

L'œil n'est pas placé perpendiculairement au plan de l'aiguille de mesure. La lecture est donc voisine de la mesure réelle.

Il faut alors se placer correctement face à l'appareil soit insérer un miroir dans le cadran. Il suffit de faire coïncider l'aiguille et son image pour supprimer cette erreur

□ **Erreur due aux limites de l'œil**

Limite de netteté de l'œil et pouvoir séparateur de l'œil.

□ **Erreur d'interpolation**

C'est une erreur de calcul, de conversion lorsque plusieurs calibres de l'appareil sont utilisés. Il faut alors effectuer plusieurs mesures de la grandeur puis, la moyenne des résultats.

4) Erreurs dues à l'appareil

□ **Erreur due au bruit de fond**

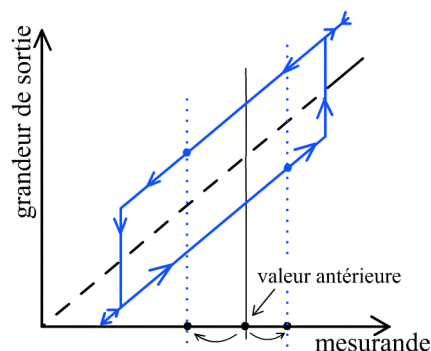
Le capteur réagit alors qu'il n'est a priori pas soumis à la grandeur. Il subit un bruit de fond (c'est le cas d'un microphone, d'un capteur de rayonnement électromagnétique...)

□ **Erreur due au phénomène d'hystérésis**

Il y a effet d'**hystérésis** lorsque l'indication d'un appareil dépend des valeurs antérieures (effet de mémoire).

Dans le cas d'une rémanence magnétique il faut alors stabiliser l'appareil en effectuant plusieurs montées et descentes « à blanc » ou démagnétiser l'appareil (cause :) et le placer dans un milieu non aimanté.

Mais l'hystérésis peut être purement mécanique.



□ **Erreur due aux grandeurs d'influence**

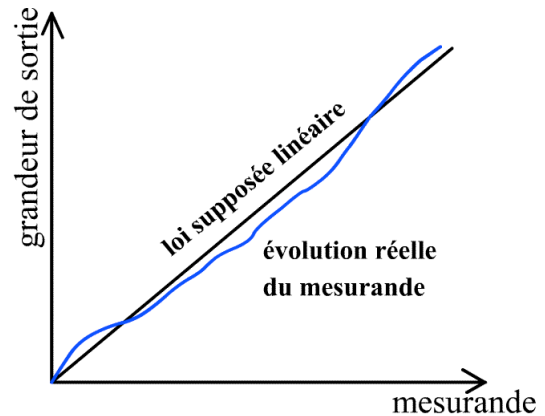
Telle que la température, la pression atmosphérique, l'humidité...

Il faut alors placer l'appareil dans des conditions nominales de fonctionnement, ou prévoir un système d'autocorrection (de compensation) interne à l'appareil.

□ **Erreur de linéarité**

Ecart entre courbe de réponse théorique et courbe réelle pour des erreurs de zéro et d'échelle nulles. Elle varie très peu en fonction du temps (faible dérive)

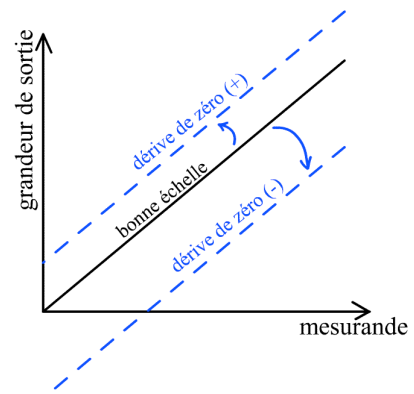
Il faut alors agir sur le dispositif de réglage de linéarité (s'il en existe un), qui consiste à supprimer ce défaut pour la valeur 50 % de l'étendue de mesure ou bien effectuer une correction à partir de la courbe d'étalonnage de l'appareil fournie par le constructeur.



□ **Erreur de zéro**

Erreur indépendante de la valeur mesurée mais évoluant avec le temps (dérive).

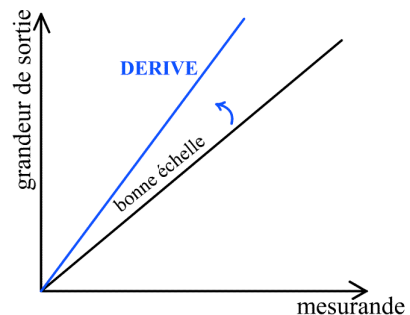
Il faut alors effectuer un réglage correct du zéro sur l'appareil.



□ **Erreur d'échelle**

Erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée ; elle évolue avec le temps (dérive)

Il faut alors effectuer un réglage de sensibilité sur l'appareil.



VI LE TRANSMETTEUR ET SON ENVIRONNEMENT

Selon le processus dans lequel est placé le transmetteur, celui-ci devra être apte à « survivre » au sein de cet environnement.

Cet environnement peut avoir une énorme influence sur :

- l'usure du transmetteur
- les mesures fournies par ce transmetteur
- la sécurité des personnes et matériels interagissant avec le processus

Le constructeur fournit, dans la documentation du transmetteur toutes les données et conditions limites d'emploi de celui-ci.

Mais il importe de passer en revue les principales catégories de contraintes pouvant agir sur un transmetteur (toutes ces catégories sont l'objet de normes, et les paragraphes ci-après sont loin d'être exhaustifs ! !).

1) Conditions de service et conditions d'étude

Ce sont les conditions qui portent essentiellement sur les pressions et les températures supportables par le transmetteur.

- les conditions de service concernent « l'exploitation normale » de l'appareil. Ainsi, la pression normale et la température normale d'utilisation sont encadrées par un minima et un maxima d'utilisation
- les conditions d'étude sont relatives à des pointes exceptionnelles de pression et de température

2) Corrosion

La corrosion est la destruction plus ou moins rapide d'un matériau métallique sous l'effet d'agents atmosphériques, de l'eau de mer, etc.

- Certains métaux comme l'or, le **platine** sont insensibles à la corrosion.
- D'autres métaux se combinent avec le dioxygène ou le dioxyde de carbone de l'air pour donner des produits adhérents et imperméables ; ce sont des oxydes ou des hydrocarbonates qui forment une fine couche protectrice insensible à la corrosion. C'est le cas de l'**aluminium**, du **chrome**, du **titane**, du **silicium** (protégés par des oxydes), du **zinc**, du **plomb**, du **cuivre** (protégés par des hydrocarbonates : «vert de gris» dans le cas du cuivre).
- Par contre le fer, la majorité des **alliages ferreux** (aciers non inoxydables, fontes) exposés à l'air humide se couvrent de rouille (composée par divers oxydes de fer hydratés). Plus de **20%** de la production mondiale d'acier « disparaît » **annuellement** sous forme de rouille ! ! !

La corrosion ne se produit qu'en milieu humide.

La corrosion du fer est due à l'établissement dans le métal de piles électrochimiques, appelées micropiles (là où il y a hétérogénéité de la surface).

Ainsi, les fluides du processus sont des électrolytes en contact avec des pièces du transmetteur. Il y a donc, pour ce phénomène, nécessité de consulter la « doc constructeur »

3) ATmosphères EXplosibles (ATEX)

Le sigle ATEX est la contraction de « ATmosphères EXplosibles ».

Les informations qui suivent sont extraites du site :

<http://www.afimbourgogne.free.fr/atex1.htm>

a- vocabulaire :

Un **incendie**, une **explosion** sont des réactions chimiques.

L'**incendie** est une combustion vive avec émission de lumière, de flammes et de chaleur.

L'**explosion** est une combustion très vive, instantanée qui se traduit par une brusque montée en pression localement (ainsi qu'en température)

On appelle :

- **atmosphère explosive** : un mélange avec l'air, dans des conditions atmosphériques de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, poussières, dans lequel, après inflammation la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé.
- **atmosphère explosible** : une atmosphère susceptible de devenir explosive par suite des conditions locales et opérationnelles.

b- Pour des risques d'explosions liés à la présence de gaz ou liquides inflammables :

Les données importantes sont précisées dans les définitions ci-dessous.

- **Point éclair** : température la plus basse d'un liquide à laquelle, dans certaines conditions normalisées, ce liquide libère des vapeurs en quantité telle qu'un mélange vapeur/air inflammable puisse se former.

Exemples :

oxyde d'éthylène : - 57°C

acétone : - 17°C

éther éthylique : - 45°C

éthanol à 100% : - 12°C

essence (io 100) : - 37°C

gasoil : +55°C

sulfure de carbone : - 30°C

- **Limite Inférieure d'Explosivité (L.I.E.)** : concentration dans l'air de gaz, vapeurs ou brouillard inflammables, au dessous de laquelle une atmosphère explosive gazeuse ne se forme pas.
- **Limite Supérieure d'Explosivité (L.S.E.)** : concentration dans l'air de gaz, vapeurs ou brouillard inflammables, au dessus de laquelle une atmosphère explosive gazeuse ne se forme pas. L'inflammation d'une atmosphère explosive n'est donc possible que pour des valeurs de concentration dans l'air comprise entre ces deux limites.

Quelques limites d'explosivité :

nature du carburant	LIE(%)	LES(%)
acétone	2.6	13
butane	1.8	8.4
oxyde d'éthylène	3.5	100
oxyde de propylène	2.8	37
oxyde de carbone	2.5	74
éthanol	3.3	19
essence (io 100)	1.4	7.4
éther éthylique	1.9	36
hydrogène	4	75
méthane	5	15

- **Température d'inflammation ou d'auto-inflammation** : température la plus basse d'une surface chaude à laquelle dans des conditions spécifiées, l'inflammation d'une

substance inflammable sous la forme d'un mélange de gaz ou de vapeur avec l'air peut se produire.

Quelques exemples :

hydrogène : 560°C

acétone : 465°C

essence (io 100) : 460°C

oxyde d'éthylène : 430°C

éthanol : 363°C

butane : 287°C

éther éthylique : 160°C

sulfure de carbone : 102°C

- **Les classes de température** : le matériel électrique pour atmosphère explosive doit être choisi de façon que sa température maximale de surface soit toujours inférieure à la température d'inflammation de l'atmosphère explosive concernée.

La température maximale de surface est la température la plus élevée atteinte en service dans les conditions les plus défavorables

par toute partie et toute surface d'un matériel pouvant provoquer une inflammation de l'atmosphère environnante.

La température maximale de surface classée de T1 à T6 est à choisir parmi les valeurs ci-dessous :

Classe de température	Température maximale de surface
T1	450° C
T2	300° C
T3	200° C
T4	135° C
T5	100° C
T6	85° C

Par exemple le point d'inflammation de l'acétylène est de 305° C , on choisira la classe T3 (200° C) pour le matériel, et non T2 (300° C) qui est trop voisine de la température d'inflammation considérée.

- **Les modes de protection** : dans le domaine des matériels utilisables en atmosphère explosive gazeuse, il existe actuellement sept modes de protection reconnus et ayant fait l'objet de normes publiées par le CENELEC et l'UTE. Ces modes de protection sont résumés dans le tableau ci-dessous:

SYMBOLE	MODE DE PROTECTION	PRINCIPE
" p "	surpression interne EN 50 016	Mode de protection du matériel électrique consistant à obtenir la sécurité au moyen d'un gaz de protection maintenu à une pression supérieure à celle de l'atmosphère environnante
" o "	immersion dans l'huile EN 50 015	Mode de protection du matériel électrique dans lequel tout ou partie de celui-ci est immergé dans l'huile de telle sorte qu'une atmosphère explosive gazeuse se trouvant au-dessus du niveau de l'huile ou à l'extérieure de l'enveloppe ne puisse être enflammée par ce matériel
" m "	encapsulage EN 50 028	Mode de protection dans lequel les pièces qui pourraient enflammer une atmosphère explosive par des étincelles ou par des échauffements, sont enfermées dans un compound de telle manière que cette atmosphère explosive ne puisse être enflammée

" e "	sécurité augmentée EN 50 019	Mode de protection consistant à appliquer des mesures afin de fournir une sécurité augmentée, contre la possibilité de températures excessives et l'apparition d'arcs ou d'étincelles à l'intérieur et sur les parties externes du matériel électrique qui ne produit pas d'arcs ou d'étincelles en service normal
" i "	sécurité intrinsèque EN 50 020 Systèmes électriques de sécurité intrinsèque EN 50 039	Circuit de sécurité intrinsèque dans lequel toute étincelle ou tout effet thermique se produisant, soit normalement, soit dans les conditions de défauts spécifiées, est incapable dans les conditions d'essais spécifiées de provoquer l'inflammation d'une vapeur ou d'un gaz donné. Cette solution met souvent en œuvre des barrières de sécurité utilisées entre un circuit de sécurité intrinsèque et un circuit qui ne l'est pas, afin de limiter la tension et le courant dans les circuits de sécurité intrinsèque à des niveaux qui ne puissent pas provoquer d'inflammation. Ce mode de protection, limité aux dispositifs de faible puissance, s'applique d'une façon générale, qu'aux circuits à courants faibles. Selon le nombre de défauts tolérés pour altérer la fonction sécurité on distingue 2 catégories : " ia " = 2 défauts admis " ib " = 1 défaut admis
" q "	remplissage pulvérulent EN 50 017	Mode de protection du matériel électrique dans lequel l'enveloppe est remplie d'un matériau à l'état pulvérulent de caractéristiques normalisées de manière telle que, dans les conditions prévues à la construction, un arc ou une température élevée se produisant à l'intérieur de l'enveloppe ne puisse provoquer l'inflammation de l'atmosphère gazeuse environnante.
" d "	enveloppe antidéflagrante EN 50 018	Mode de protection du matériel électrique dans lequel l'enveloppe est capable de supporter l'explosion interne d'un mélange inflammable ayant pénétré à l'intérieur sans subir d'avarie de structure et sans provoquer par ses joints ou autres communications, l'inflammation de l'atmosphère explosive extérieure composée de l'un ou l'autre des gaz ou vapeurs pour lesquels elle est conçue.

Nota : D'autres modes de protections non normalisés existent, certains peuvent être à l'étude ou expérimentés avant d'être retenus par les organismes normalisateurs. A titre d'exemple il peut être cité : " s " , " n " , " h "

- **Association du mode de protection et du type de zone** (disposition existante avant l'application des directives ATEX) :

Emplacement	Définition	Symbole
Zone 0	- Sécurité intrinsèque " ia "	ia
Zone 1	- Enveloppe antidéflagrante - Sécurité augmentée - Sécurité intrinsèque - Surpression interne - Remplissage pulvérulent - Encapsulage - Immersion dans l'huile	d e ia - ib p q m o
Zone 2	- Matériel conçu pour les zones 0 ou 1 - Matériel ne produisant ni arc ni étincelles en service normal - Matériel " n "	n

Nota : Pour les matériels ou équipements qui seront installés à partir du 1/07/2003, obligation de respecter le tableau de l'annexe II B de la directive ATEX 99/92/CE.

Tout matériel installé en atmosphère explosible doit avoir fait l'objet d'un contrôle conduisant à la délivrance d'un certificat de conformité par un laboratoire agréé d'un Etat membre de l'Union Européenne.

De toute évidence, un tel matériel ne doit pas être modifié, les réparations éventuelles doivent être assurées par du personnel compétent maîtrisant le mode de protection correspondant.

c- Pour des risques d'explosions liés à la présence de poussières combustibles :

Une atmosphère explosive poussiéreuse se présente et réagit généralement d'une manière très différente d'une atmosphère explosive gazeuse. Cette différence peut s'exprimer par les constats suivants :

- la ventilation n'a pas le même effet pour le gaz que pour les poussières, si dans le premier cas elle les dilue, dans le second elle peut créer des nuages de poussières, soit un renforcement des concentrations.
- la nature chimique du produit ne peut pas être reliée à sa capacité à former des nuages de poussière, laquelle dépend principalement de la nature physique du produit (granulométrie, mottage ...)
- on n'est pas maître de la concentration, alors que les valeurs de pression d'explosion, de vitesse de montée en pression, et d'énergie minimale d'inflammation dépendent de la concentration
- il y a possibilité de formation de couche d'auto-inflammation et de combustion sans flamme
- il n'y a pas de détection préventive possible par analyseur

Les données importantes sont alors :

- **Poussières combustibles :** poussières qui sont combustibles ou inflammables en mélange avec l'air
- **Poussières conductrices :** poussières ayant une résistivité électrique égale ou inférieure à 1000 ohm.m
- **Atmosphères explosives poussiéreuses :** mélanges avec l'air, dans des conditions atmosphériques de substances inflammable sous forme de poussières ou fibres dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange
- **Température d'auto-inflammation (T.A.I.) d'une couche de poussières :** température minimale d'une surface chaude pour laquelle l'inflammation se produit dans une couche de poussières d'épaisseur donnée, déposée sur cette surface chaude
- **Température d'auto-inflammation (T.A.I.) d'un nuage de poussières :** température minimale de la paroi interne chaude d'un four pour laquelle l'inflammation se produit dans l'air au contact avec le nuage de poussières placé dans le four.

Quelques exemples :

Poussières (valeur médiane granulo)	TAI d'un nuage	TAI d'une couche de 5 mm
Amidon (52 µm)	350 °C	345 °C
Céréales (50 µm)	520 °C	300 °C
Charbon (28 µm)	600 °C	250 °C
Farine bois (65 µm)	490 °C	340 °C
Lait en poudre (60 µm)	610 °C	340 °C

Poudre epoxy (26 µm)	510 °C	fusion
Polyéthylène (60 µm)	440 °C	fusion
Sucre (30 µm)	490 °C	480 °C
Soufre (97 µm)	280 °C	280 °C

- **Température maximale de surface de poussières** : température la plus élevée qui peut être atteinte en un point quelconque de la surface du matériel électrique lorsqu'il est testé dans les conditions de l'essai sans poussière ou avec un revêtement de poussières
- **Température maximale admissible de surface** : température de surface du matériel électrique la plus élevée qu'il peut être admis d'atteindre en fonctionnement normal pour éviter l'inflammation. La température maximale de surface admissible dépendra de la nature de la poussière, de l'épaisseur de la couche et de l'application d'une marge de sécurité :
 - *Si les poussières sont en nuage* :
Température maximale du produit < 2/3 Température d'auto-inflammation d'un nuage de poussières
 - *Si les poussières sont en couche (épaisseur 5 mm maxi)* :
Température maximale du produit < Température d'auto-inflammation d'une couche (5 mm) de poussières - 75° C
 - *Si la poussière est présente à la fois en nuage et en couche (comme c'est souvent le cas)* :
prendre le cas le plus défavorable
- **Enveloppe totalement protégée contre les poussières = IP 6x** : enveloppe capable d'éviter la pénétration de toute particule de poussière observable
- **Enveloppe protégée contre les poussières = IP 5x** : enveloppe dans laquelle la pénétration de la poussière n'est pas totalement empêchée mais dans laquelle la poussière ne peut entrer en quantité suffisante pour nuire à la sécurité de fonctionnement du matériel ou, ne peut s'accumuler dans l'enveloppe en un point où elle entraîne un risque d'inflammation.

Étanchéité du matériel requis selon la zone où il sera installé :

	Poussière conductrice	Poussière non conductrice
Zone 20	IP 6x	IP 6x
Zone 21	IP 6x	IP 6x
Zone 22	IP 6x	IP 5x

- **MOYENS D'ACTION POUR REDUIRE LES RISQUES D'INCENDIE ET D'EXPLOSION :**

→ **la prévention**

- diminuer la concentration de poussières => *dépoussiérage*
- supprimer les dépôts inutile => *nettoyage des installations*
- éviter la formation de nuage
- éviter l'inflammation d'atmosphère explosive => *définition des emplacements des zones classées, prise en compte de toutes les formes de sources d'inflammation et assurance que tous les équipements en service peuvent utilisées dans les zones à risque*
- respecter les règles d'utilisation et de maintenance définis par les constructeurs des matériels
- vérifier périodiquement le maintien en bon état des équipements et des installations

- réaliser et tenir à jour toute la documentation indispensable à la maîtrise de la protection contre les explosions

→ *la détection*

→ *la protection contre l'explosion*

- résistance des appareils à la pression maximale d'explosion
- événements d'explosion
- arrête flammes
- isolation des installations
- isolation des bâtiments

→ *l'intervention*

- instructions écrites
- autorisation de travail

→ *la formation du personnel*

d- Les directives ATEX

Adoptées dans le cadre du marché unique, elles visent à rapprocher les législations des états membres dans le domaine de la prévention des risques liés aux atmosphères explosives.

Une première directive 94/9/CE du 23 mars 1994 prise en application de l'article 100A (Directive économique "nouvelle approche"), définit les spécifications ou les exigences essentielles de sécurité qui influent sur la conception et la construction du matériel utilisable en atmosphère explosible. Cette directive s'adresse essentiellement aux constructeurs, importateurs et vendeurs, et conduit à l'autorisation de la mise sur le marché et de la libre circulation des appareils et des systèmes de protection destinées à être utilisées en atmosphères explosibles.

Une seconde directive 1999/92/CE du 16 décembre 1999 prise en application des Directives du type "social " définit les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives. Cette directive s'adresse aux employeurs lorsque des atmosphères explosibles sont susceptibles de se former sur les lieux de travail, de sorte qu'ils puissent prendre les mesures nécessaires afin que le travail soit effectué en toute sécurité, et qu'une surveillance adéquate soit assurée conformément à l'évaluation des risques.

Cette seconde directive détermine la politique à mettre en œuvre eu égard à la prévention des explosions applicables aux lieux de travail. A partir d'une analyse complète et d'une évaluation globale des risques spécifiques créés par une atmosphère explosive, elle définit par ordre de priorité les obligations de résultat ci-après :

- empêcher la formation d'atmosphères explosives ou,
- éviter l'inflammation d'atmosphère explosives et,
- réduire les effets nuisibles d'une d'explosion

C'est au travers de cette analyse qu'il sera établi de manière précise dans chaque établissement le classement des différentes zones à risque, permettant de définir le matériel requis à installer dans les zones correspondantes. Ces matériels devant être construits selon les exigences essentielles de sécurité définies par la première directive.

Ces textes ont une portée très large en ce qui concerne la sécurité dans les locaux à risque d'explosion, la sécurité électrique n'est qu'un aspect, toutes les sources d'inflammation sont à considérer telles que les étincelles d'origine mécanique, les surfaces chaudes, l'électricité statique, les rayonnements magnétiques, la foudre, etc...

e- Classification des emplacements ou des ATEX peuvent se présenter

Le système de classification des zones dangereuses ci-dessous s'applique aux emplacements pour lesquelles des précautions sont à prendre.

Ces zones géographiques doivent être clairement délimitées. Leurs volumes seront déterminés après une analyse de risque, tenant compte d'une évaluation des quantités de substances inflammables, d'une analyse du process et des mesures de prévention retenues pour supprimer ou réduire le risque.

Les frontières de ces zones peuvent évoluer dans le temps pour diverses raisons :

- échauffement des produits
- ventilation du local défaillant
- variations climatiques
- erreur de manipulation
- déplacement d'air

Si le niveau de sécurité des matériels à mettre en place dans ces zones est clairement défini, la phase de détermination des zones reste pour un exploitant la partie la plus délicate à réaliser. Dans de rares cas il pourra s'appuyer sur des normes ou des règles définies au travers d'une profession pour l'aider à définir la nature ou l'importance de ces zones. Chaque cas étant souvent particulier et nécessitant une analyse approfondie, l'exploitant aura tout intérêt de s'entourer d'un tiers compétent pour l'aider à définir ces zones.

Cette définition reste de sa responsabilité. Une analyse trop restrictive de ces zones serait synonyme de danger pour la sécurité des personnes, en revanche une délimitation trop large des zones peut avoir pour conséquence des coûts économiques importants liés à la mise en place de matériels à haut niveau de sécurité qui seraient non justifiés.

Substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard :

NATURE	DEFINITION
ZONE 0	Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous formes de gaz, de vapeur, ou de brouillard, est présente en permanence pendant de longues périodes ou fréquemment
ZONE 1	Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous formes de gaz, de vapeur, ou de brouillard, est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal
ZONE 2	Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous formes de gaz, de vapeur, ou de brouillard, n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée.

Nuage de poussières combustibles :

NATURE	DEFINITION
ZONE 20	Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles, est présente dans l'air en permanence pendant de longues périodes ou fréquemment
ZONE 21	Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles, est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal
ZONE 22	Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles, n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée

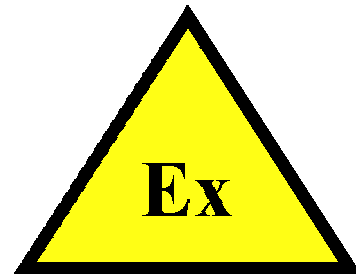
f- Critères de sélections des appareils et des systèmes de protection (annexe II B)

Choix des appareils en fonction des zones:

ZONE	CATEGORIE
ZONE 0	II 1G
ZONE 20	II 1D
ZONE 1	II 2G
ZONE 21	II 2D
ZONE 2	II 3G
ZONE 22	II 3D

Cette disposition s'applique pour tous les équipements de travail mis à disposition après le 30 06 2003

Panneau d'avertissement servant à signaler les emplacements des atmosphères explosives

**4) Compatibilité électromagnétique (C.E.M.)**

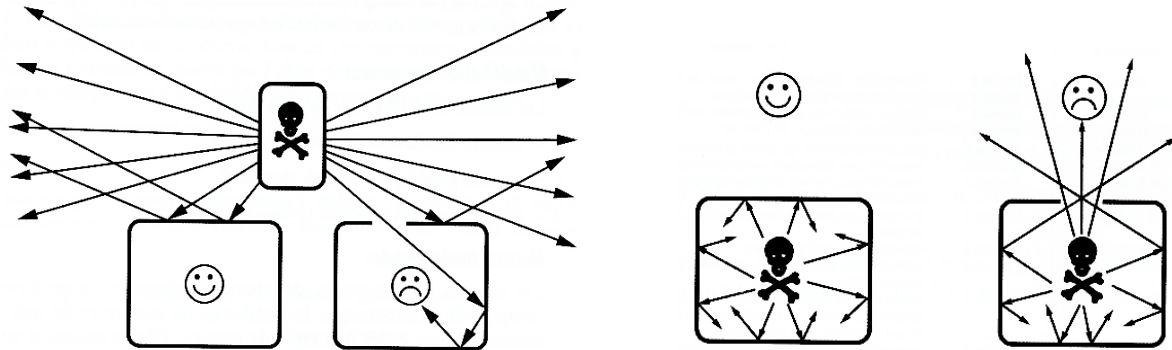
Bien qu'échappant totalement aux sens de l'être humain (donc aux régleurs en particulier) cette compatibilité électromagnétique ne doit pas être oubliée lors de la mise en place d'un transmetteur.

En effet, les champs électromagnétiques sont présents absolument partout, à des intensités plus ou moins fortes selon les lieux. Les câbles électriques en émettent, mais aussi les substances radioactives, ainsi que toute source de lumière

On appelle **compatibilité électromagnétique** (CEM) l'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans un environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

Dans chacun des cas, on distingue les perturbations rayonnées et les perturbations conduites par les câbles d'alimentation et d'entrées-sorties.

La compatibilité électromagnétique est exigée aussi bien pour la protection vis à vis de l'extérieur que pour prémunir l'extérieur des ondes E.M. émises par l'appareil.



Depuis le 1^{er} janvier 1996, l'Union Européenne exige, par sa directive CEM 89/336/CEE, que les produits électrotechniques respectent des exigences minimales en matière de résistance au brouillage et d'émissions parasites .

En conséquence, tout matériel électrique doit faire l'objet d'essais par un organisme compétent afin d'obtenir une attestation CE (Communauté Européenne) de compatibilité électromagnétique (CEM) conforme aux normes. Le marquage CE de conformité est apposé sur le matériel.