

CAPTEURS

« conditionnement des signaux »

Instrumentation Industrielle

Généralités

Module Capteur : Licence PRO

Présenté par:

ANNECCA Gaëtan

Responsable REGULATION

Papèteries de CLAIREFONTAINE

Partie 1 : Généralités

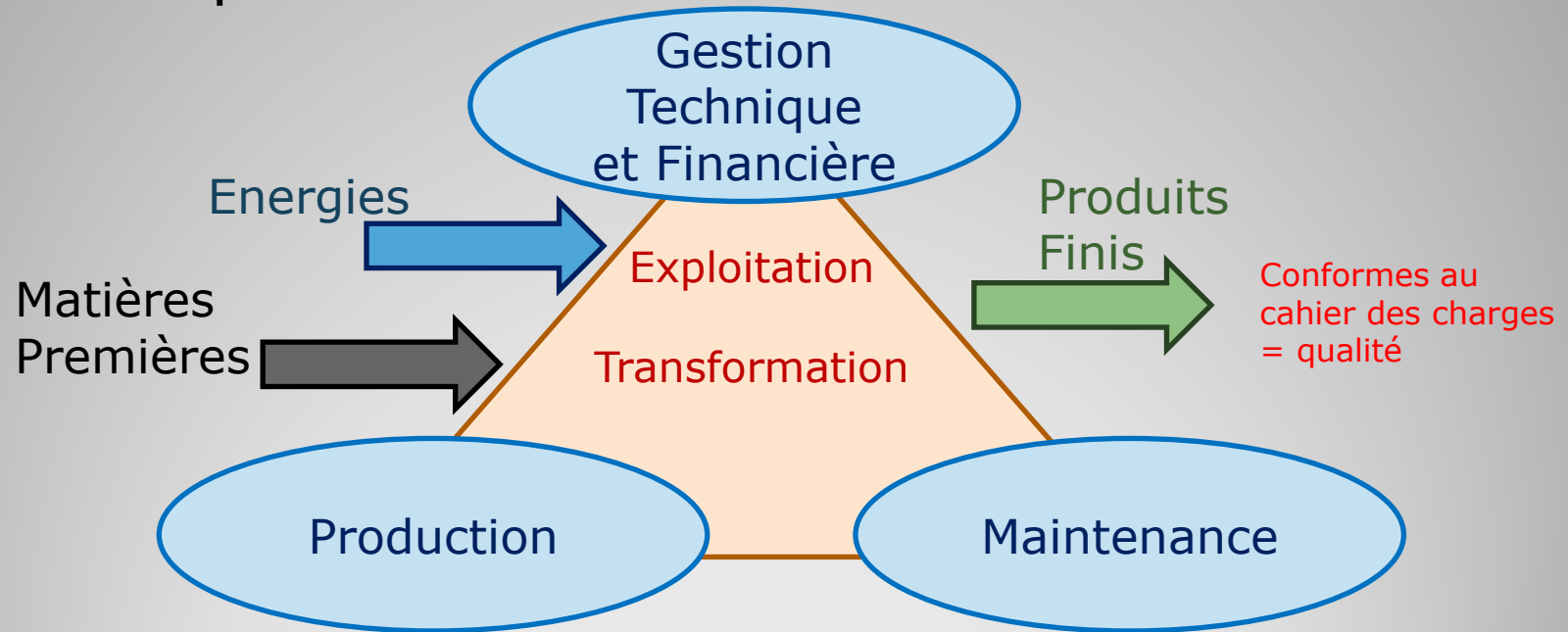
Métrologie et mesures Industrielles

- Contrôle des procédés industriels
- Hiérarchie des systèmes de contrôle
- Représentations d'un procédé
- Grandeurs physiques et unités
- Métrologie - Chaîne de mesurage – Etalonnage
- Caractéristiques métrologiques des IM (Instruments de mesure)
- Environnement Industriel des IM (Instruments de mesure)

Métrologie et Mesures Industrielles

Procédé et processus industriels

- Entreprise Industrielle

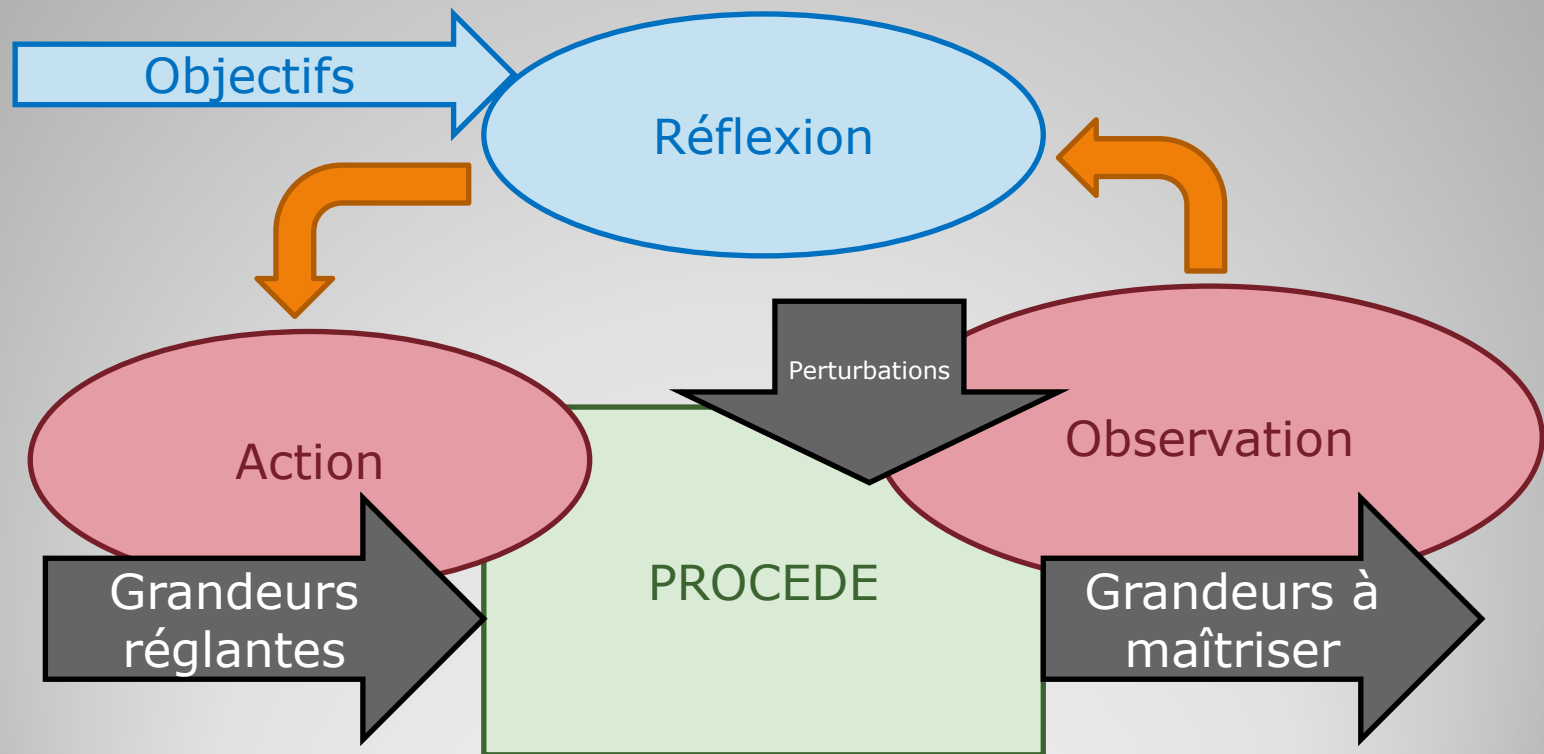


Procédé = méthode à suivre
Il est continu ou discontinu (batch)

Processus = installation + appareils
+ description fonctionnelle

Contrôle des procédés industriels

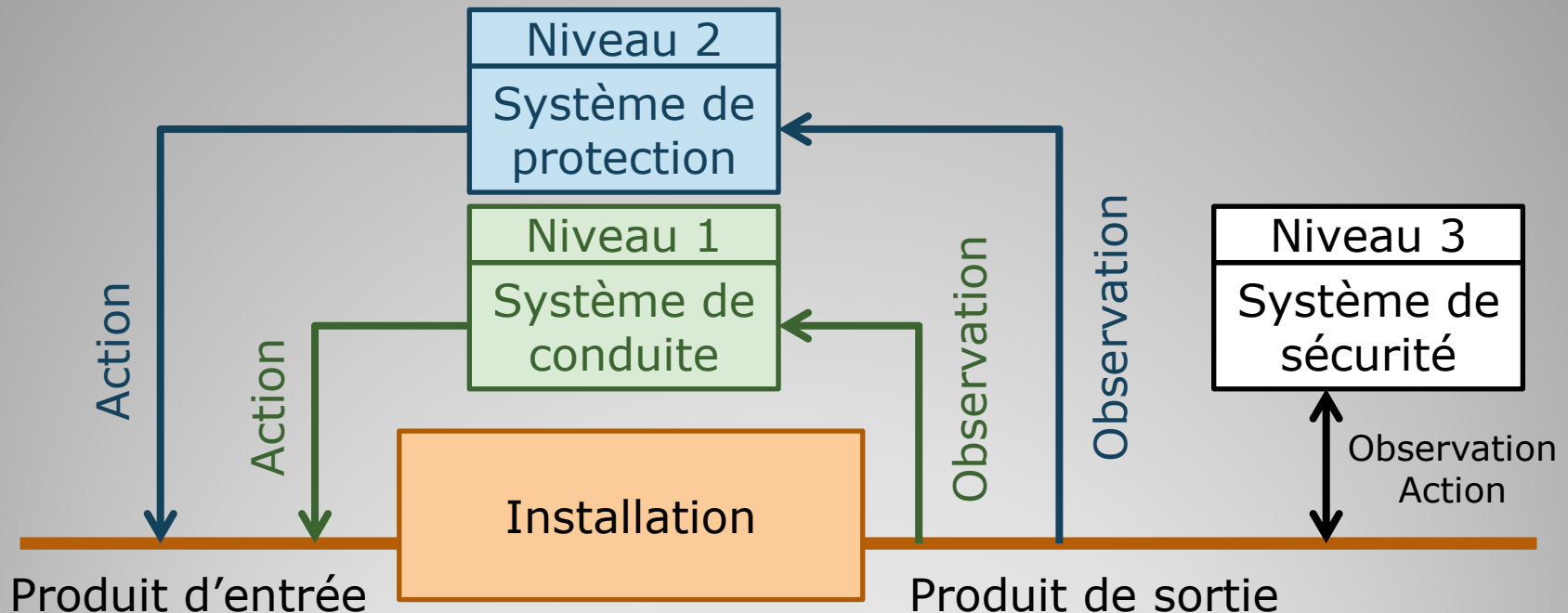
- Contrôle Industriel
 - = domaine de l'instrumentation et de la régulation



Contrôle des procédés industriels

- Ce qu'il faut comprendre !
 - **Procédé** = méthode à suivre pour élaborer un produit conforme au cahier des charges, il est continu ou batch.
 - **Processus** = installation avec tout le matériel et l'ensemble descriptif de toutes les opérations détaillées.
 - Le terme anglais **process** désigne aussi bien le procédé que le processus.
 - Le Contrôle Industriel englobe les domaines de **l'instrumentation** et de **la régulation**
 - **La régulation sans instrumentation n'est pas envisageable**
 - **L'instrumentation sans régulation est possible**

Contrôle des procédés industriels



Niveau 1 : Assure la conduite du processus, continu ou discontinu, en fonctionnement normal et comprend l'instrumentation et la régulation ou l'automatisme.

Niveau 2 : Assure la protection du processus, à partir d'informations prédéfinies de dépassement de seuils critiques pour le processus, l'instrumentation est indépendante de celle du niveau 1.

Niveau 3 : C'est le niveau de sécurité le plus haut en cas de défaillance d'un ou plusieurs éléments du processus. Les dispositifs, indépendants des niveaux 1 et 2, doivent pouvoir se déclencher sans énergie auxiliaire, comme les soupapes de sécurité, les disques de rupture, ou les fusibles thermiques.

Hiérarchie des systèmes de contrôle

Niveau 1

Système de
conduite

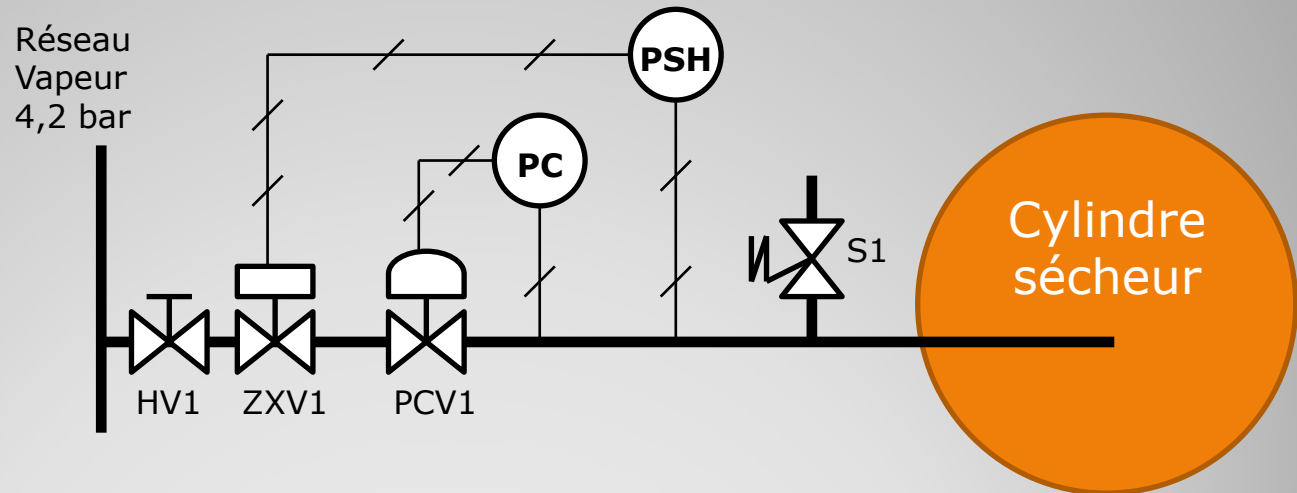
Niveau 2

Système de
protection

Niveau 3

Système de
sécurité

Exemple : Processus = alimentation vapeur d'un cylindre sécheur
Pression maximum 3,95 bar
Mise en sécurité de l'installation au seuil de 3,85 bar
Consigne de service variant entre 0,5 et 3,75 bar



Niveau 1 : PC commande PCV1 en continu pour maintenir la pression du cylindre à une consigne fixée comprise entre 0,5 et 3,75 bar

Niveau 2 : PSH ferme ZXV1 si la pression dépasse le seuil de protection de 3,85 bar

Niveau 3 : La soupape de sécurité S1 s'ouvre si la pression est supérieure à 3,9 bar

Hiérarchie des systèmes de contrôle

Comment reconnaître l'instrumentation industrielle ?

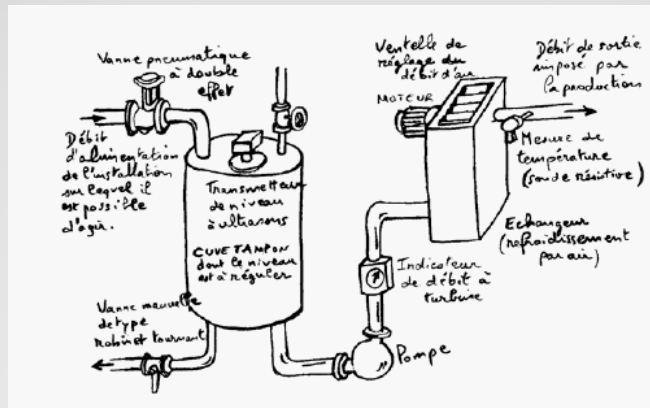
- Représentation normalisée
- Schéma fonctionnel
- Norme de représentation symbolique
- Plan de circulation des fluides
- Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation

Représentations d'un procédé

Il existe plusieurs représentations normalisées

- Le schéma fonctionnel spécifique à l'analyse du procédé
- Les plans de circulation de fluides et d'instrumentation qui décrivent le processus
- Le schéma d'interconnexion décrivant les raccordements entre tous les instruments du processus

Une représentation libre et personnelle d'une installation industrielle peut engendrer incompréhensions ou confusions



Représentations normalisées

- Pour contrôler un procédé, un travail d'analyse est indispensable pour recenser les grandeurs physiques à maîtriser, et celles ayant une influence sur le procédé.
- Terminologie employée
 - **Grandeur réglée** (grandeur à maîtriser)
 - **Grandeur incidente** (influence sur la grandeur réglée)
 - **Grandeur réglante** (grandeur incidente choisie)
 - **Grandeur perturbatrice** (grandeur incidente autre que réglante)



Schéma fonctionnel

- Qu'est ce qu'une Norme de représentation symbolique ?

Norme **Afnor E 04-203**

La norme Française expérimentale, Afnor E 04-203 publiée en août 1987, est titrée :

« Fonctions de régulation, de mesure et d'automatisme des processus industriels
Représentation Symbolique »

Elle est articulée en quatre parties:

- E 04-203-1 : Principes de base
- E 04-203-2 : Capteurs, signaux, dispositifs réglant,
- E 04-203-3 : Transducteurs et dispositifs de traitement des signaux,
- E 04-203-4 : Symboles détaillés complémentaires pour les schémas d'interconnexion d'instruments

Elle a des correspondances:

- Internationales (ISO 3511/1 -1977)
- Allemande (DIN 19227 blatt 1-1973)
- Américaine (ISA-S5.1-1984)

Norme de représentation symbolique

- Qu'est ce qu'une Norme de représentation symbolique ?

Extrait des parties 2 et 3 de la norme **Afnor E 04-203**

La présente norme expérimentale présente la symbolisation des dispositifs de traitement des signaux émis par un capteur ou reçus par un organe de réglage. Elle comporte des symboles destinés à la communication des fonctions de mesure, de régulation et d'automatisme entre spécialistes des instruments et autres techniciens impliqués dans la conception des réservoirs, des conduites, des machines tournantes ... de leur disposition et de leur mise en œuvre.

Les symboles sont utilisés pour la représentation de l'instrumentation sur les schémas suivants:

- plan de circulation des fluides (**PCF**) = Process Flow Sheet (PFS)
- plan de tuyauterie et d'instrumentation (**TI**) = Piping and Instrument Diagram (PID)

La représentation de cette norme a été pensée, d'une part pour :

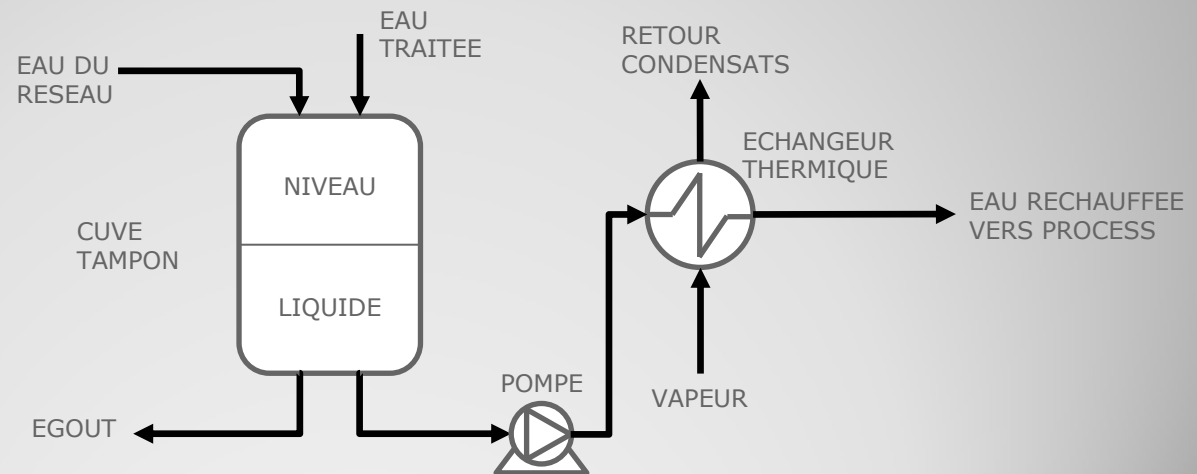
- Répondre à la pratique internationale
- Pouvoir faire le lien avec la normalisation existante ou différente

Norme de représentation symbolique

• Le Plan de Circulation des Fluides (PCF)

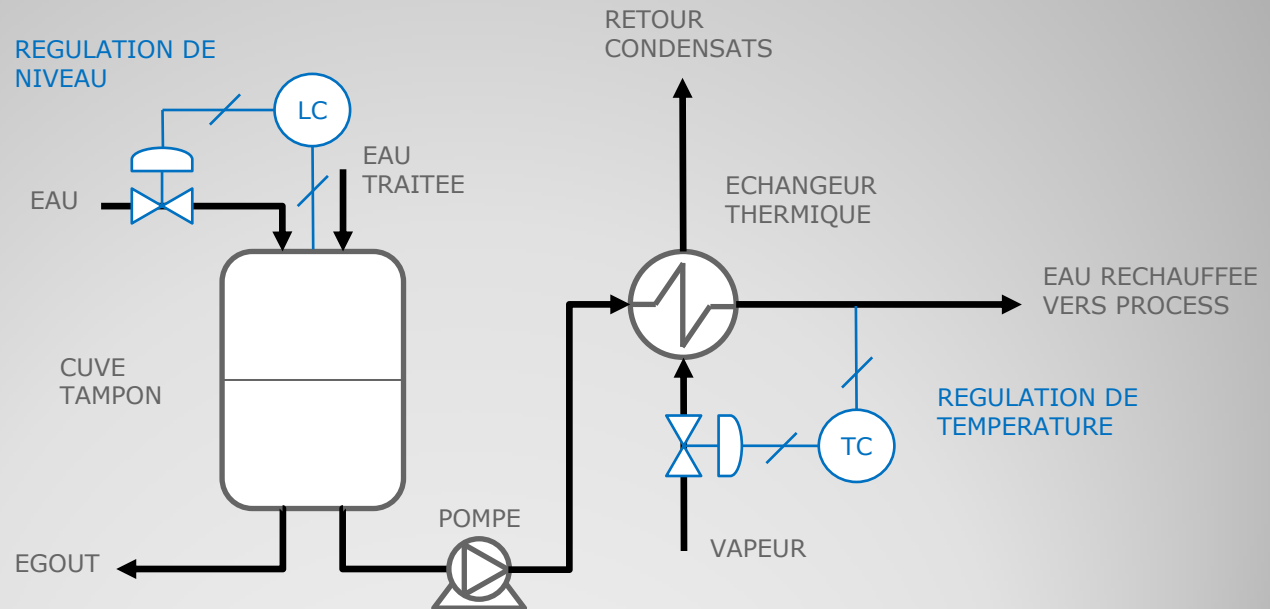
Est un schéma de représentation symbolique avec:

- Les cuves, les réacteurs chimiques, les échangeurs thermiques, ...
- Les organes de puissance tels que les pompes, agitateurs, résistances de chauffage, ...
- Les conduites représentées par un trait continu épais, la nature, gaz ou liquide et le sens d'écoulement des fluides
- L'indication des grandeurs physiques utiles: débit, pression, niveau, température, ...



Plan de Circulation des Fluides (PCF)

- Le Plan PCF peut aussi faire apparaître les boucles de régulation sans préciser le détail des instruments ou des stratégies de régulation complexes



Plan de Circulation des Fluides (PCF)

- Le Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)
Piping Instrument Diagram (PID)

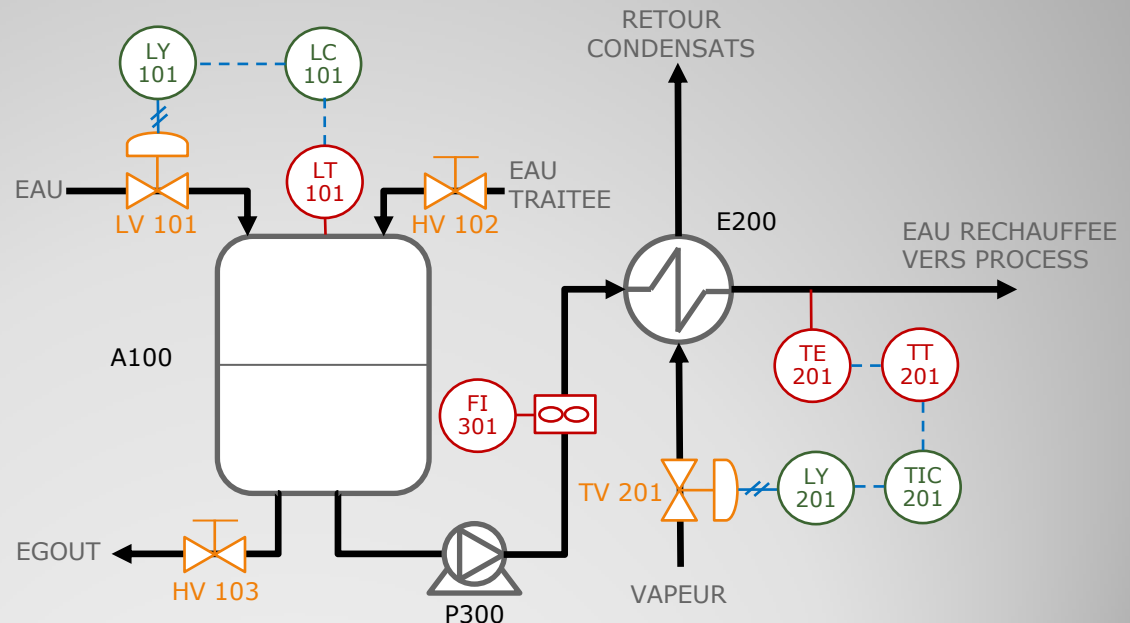
Il complète le Plan de Circulation des Fluides en lui ajoutant:

-les appareils de mesure:
capteurs, transmetteurs,
indicateurs

-les appareils de contrôle:
régulateurs et opérateurs de
calcul

-Les actionneurs : vannes de
réglage, vanne de
sectionnement, volets de
réglage

-Les liaisons d'information
entre ces appareils



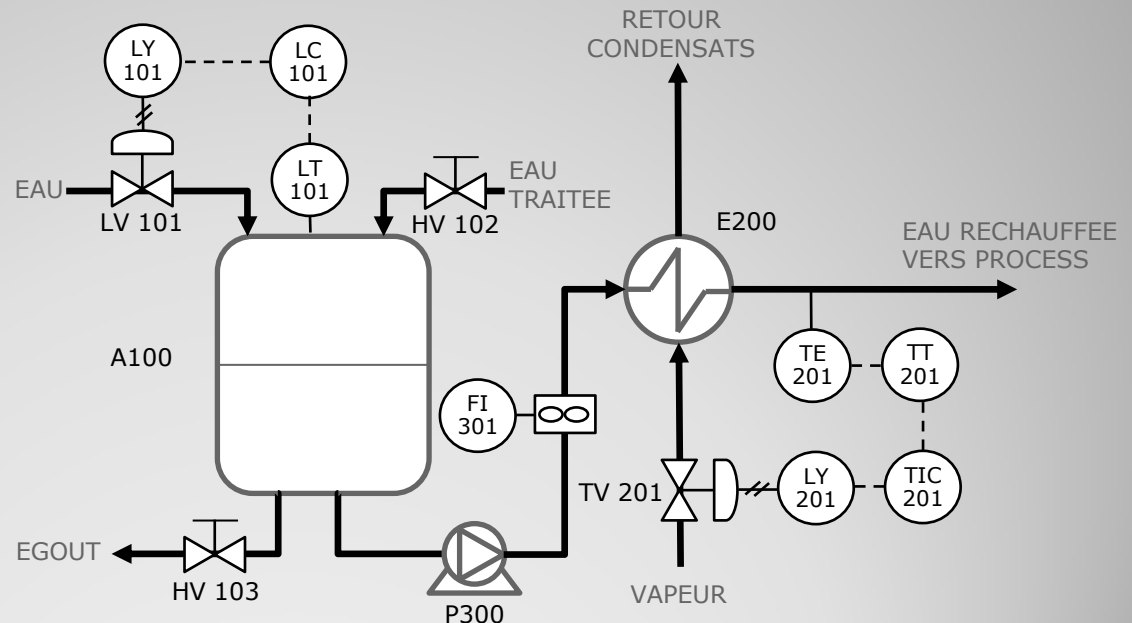
Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)

- Le Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)
Piping Instrument Diagram (PID)

-les instruments 101
forment une boucle de
régulation de niveau

-les instruments 201
forment une boucle de
régulation de température

-l'instruments 301 est un
indicateur de débit



Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)

- Principes de base (description des symboles)

Point de mesure : Trait fin relié à une ligne (canalisation) ou au contour d'une unité du procédé

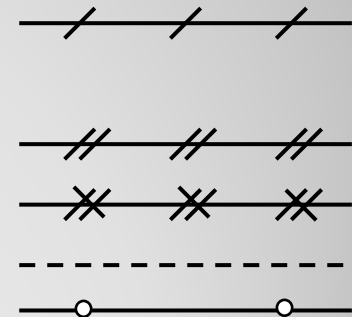


Instrument : Cercle trait fin d'environ 1cm de diamètre et un codet indiquant la propriété mesurée et la fonction de l'instrument



Signaux d'interconnexion des appareils:

- a) Général : symbole matérialise le transfert d'information mais pas le support matériel
- b) Signal pneumatique analogique
- c) Signal pneumatique binaire
- d) Signal électrique analogique
- e) Bus numérique



- Codets d'instrumentation

TE
201

Les codets servant à identifier les instruments sont regroupés dans un tableau de la norme.

La fonction : de l'instrument doit être identifiée par les codets inscrits à l'intérieur du cercle symbolisant l'instrument.

Les cercles doivent être inscrits selon les règles suivantes:

Le premier codet désignant l'initiale de la variable mesurée est choisi dans la colonne 2 du tableau.

Si il est nécessaire de le compléter, on lui ajoute le codet de la colonne 3.

Les codets supplémentaires seront choisis parmi les signifiants de la colonne 4.

Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)

• Codets d'instrumentation

Extrait du tableau de la norme

TE
201

Codet	Signifiant		Signifiant suivant	
	Variable mesurée ou Variable initiale	Complément	Affichage	Action
1	2	3	4	
A	Analyse		Alarme	
B	Combustion		Etat	
C	Conductivité			Régulation
D	Masse volumique	Différence		
E	Tension		Elément primaire	
F	Débit	Proportion		
H	Commande manuelle			Haut, Très haut
I	Courant		Indication	
L	Niveau			Bas, Très bas
M	Humidité			
P	Pression	Sécurité	Point d'essai	
S	Vitesse			Commutation
T	Température	Coordonnée		Transmission
Z	Position, longueur			Actionneur

Exemple : **TE** = élément primaire de température ou sonde de température

Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)

• Codets d'instrumentation

Quelques exemples

TT 1000	TT = transmetteur de température	LI 1	LI = indicateur de niveau
PIC 1010	PIC = régulateur indicateur de pression	AIC 10	AIC = régulateur d'analyse avec indicateur
HIC 1030	HIC = Commande manuelle de régulation avec indicateur	FFR 50	FFR = enregistreur de proportion de débit
MIT 2000	MIT = transmetteur indicateur d'humidité	PDT 700	PDT = transmetteur de pression différentielle
LAL 1500	LAL = alarme basse de température	TDI 1550	TDI = indicateur de différence de température
FAHH 1800	FAHH = alarme très haute de débit	TAH 1850	TAH = alarme haute de température
TSH 1200	TSH = thermostat (sécurité température haute)	PSL 1250	PSL = pressostat (sécurité pression basse)

Plan de Tuyauterie et d'Instrumentation (TI)

- Vocabulaire international

La norme NF X 02-001 est à la base des définitions suivantes :

- **Grandeur physique**

On appelle ***grandeur physique*** tout attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement.

Les grandeurs qui peuvent se comparer mutuellement forment des ensembles.

Les niveaux, les hauteurs, les diamètres, les épaisseurs, les longueurs d'ondes par exemple font partie d'un même ensemble.

Le symbole d'une telle grandeur est écrit en italique, par exemple une hauteur ***h***.

Grandeurs physiques et unités

- **Vocabulaire international**

La norme NF X 02-001 est à la base des définitions suivantes :

- **Unité de mesure**

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

Le symbole d'une unité est écrit en caractère droit, par exemple :
pour le mètre **m**.

- **Grandeurs de base ou fondamentales**

Les grandeurs physiques sont liées entre elles par des équations exprimant des lois physiques.

Certaines grandeurs sont considérées comme indépendantes les unes des autres, ce sont les **grandeurs de base** ou **fondamentales** à partir desquelles on peut définir d'autres grandeurs au moyen d'équation.

La norme précise qu'il existe **7** grandeurs de base :

Longueur

Masse

Temps

Courant électrique

Température

Quantité de matière

Intensité lumineuse

Grandeurs physiques et unités

- **Vocabulaire international**

La norme NF X 02-001 est à la base des définitions suivantes :

- **Grandeur dérivée**

Une **grandeur dérivée** est une grandeur définie, dans un système de grandeurs, par une équation en fonction des grandeurs de base.

Exemple :

Le débit-volume Q_v est une grandeur dérivée définie comme le quotient du volume v par le temps t .

Le volume v est aussi une grandeur dérivée puisqu'il s'exprime en m^3 .

L'unité du débit-volume Q_v est donc des m^3/s

Grandeurs physiques et unités

- Système International d'unités

Les hommes ont montré, notamment au travers de leurs échanges commerciaux, leur volonté d'harmoniser leurs références dimensionnelles pour que leurs transactions n'aient aucune ambiguïté.

Le **SI** est un système cohérent d'unités, adopté par la 11^{ème} conférence générale des poids et mesures (CGPM) en 1960.

Le **SI** comprend des unités de base et des unités dérivées, y compris les unités supplémentaires.

La loi du 4 juillet 1837 rend obligatoire le « système métrique » en France, et le décret du 3 mai 1961 modifié, définit comme unités légales les unités du Système International, et chacune de ces unités.

Lien entre unités SI et celles employées dans d'autres pays (UK ou USA). Les unités anglo-saxonne sont interdites en France, mais il est souvent utile de les connaître car elles sont encore présentes dans de nombreux pays.

Exemple : psi (pound-force per square inch), $1 \text{ psi} = 0,0689 \text{ bar}$

Grandeurs physiques et unités

• Système International d'unités

Tableau des 7 grandeurs de base ou fondamentales

Grandeur Physique	Unité de base	Symbole de l'unité	Dimension de base
Longueur	mètre	m	L
Masse	kilogramme	kg	M
Temps	seconde	s	T
Courant électrique	ampère	A	I
Température thermodynamique	kelvin	K	θ
Quantité de matière	mole	mol	N
Intensité lumineuse	candela	cd	J

Grandeurs physiques et unités

La métrologie, science des mesures, est l'ensemble des techniques et des savoir-faire qui permettent d'effectuer des mesures et d'avoir une confiance suffisante dans leurs résultats.

La **mesure** est nécessaire à toute **connaissance**, à toute **prise de décision** et à toute **action**.

● Chaîne de mesurage

La grandeur physique = **MESURANDE**
(pression, température, niveau, ...)

MESURAGE : ensemble des opérations expérimentales pour connaître la valeur numérique du *MESURANDE*.

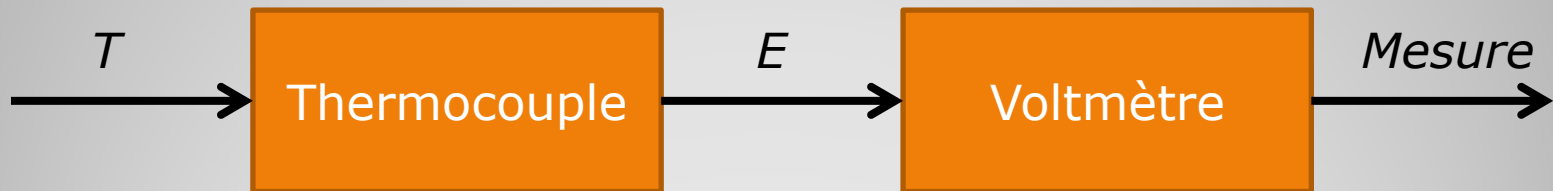
Chaîne de mesurage = ensemble des dispositifs, y compris le capteur permettant d'obtenir la valeur du *MESURANDE*.

Métrologie – Chaîne de mesurage

• Chaîne de mesure

Exemple d'une chaîne de mesure simple:

Un thermocouple et un voltmètre



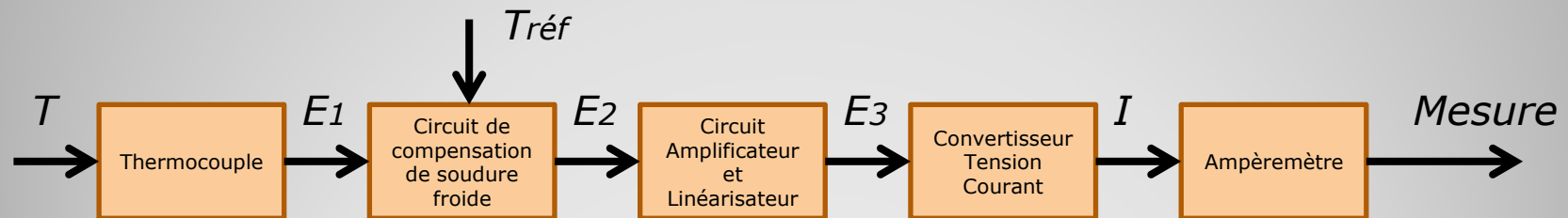
Le Mesurande est la température T , et la mesure est l'indication de la tension E .

Métrologie – Chaîne de mesure

• Chaîne de mesure

Exemple d'une chaîne de mesure plus complète:

Un thermocouple,
un circuit de compensation de soudure froide,
un circuit amplificateur et linéarisateur du signal,
un convertisseur tension-courant et un ampèremètre



Le Mesurande est la température T ,

Les grandeurs intermédiaires sont les tensions E_1 et E_2 et E_3 ,

La mesure est l'indication du courant I .

Métrologie – Chaîne de mesure

• Grandeurs d'influence

Les grandeurs d'influence sont les « **parasites** » de la mesure.
Les principales grandeurs d'influence comprennent:

Température

Pression, accélération, vibrations, forces

Humidité

Champs magnétiques

Tension d'alimentation

De façon générale on peut écrire: $s=f(m,g1,g2,...)$

On cherche à **réduire l'importance** des grandeurs d'influence
en les **stabilisant** à des valeurs connues, en **compensant**, en
isolant, etc.

Erreurs d'une chaîne de mesure

• Erreurs de mesure

La valeur d'un *Mesurande* ne peut être évaluée que par la chaîne de mesurage.

L'erreur de mesure est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de référence.

La valeur vraie du mesurande détermine l'excitation du capteur, mais l'expert ***n'a accès qu'à la réponse globale de la chaîne de mesure.***

L'écart entre la valeur ***vraie*** et la valeur ***mesurée***, sera ***toujours inconnu***, et il y aura toujours une ***incertitude*** sur la valeur vraie du mesurande.

Cette erreur de mesure ne peut être qu'estimée, elle est la somme de ***l'erreur systématique*** et de ***l'erreur aléatoire***.

Erreurs d'une chaîne de mesure

• Erreurs systématiques

Des mesurages répétés, pour une même valeur du Mesurande, peuvent entraîner un décalage constant entre la valeur de référence et la valeur mesurée.

Ce décalage constant ou à variation prévisible est ***l'erreur systématique***.

Les erreurs systématiques ont généralement pour cause une connaissance erronée ou incomplète de l'installation de mesure ou une mauvaise utilisation.

Elles peuvent souvent être réduites ou annulées par une correction.

Exemples: fausse température de référence, décalage d'une mesure de résistance ohmique, temps de réponse trop lent ...

Erreurs d'une chaîne de mesure

• Erreurs aléatoires

Des mesurages répétés, pour une même valeur du Mesurande, conduisent à des écarts entre la valeur de référence et la valeur mesurée.

Ces écarts sont considérés comme **des erreurs aléatoires** car variant de façon imprévisible.

Certaines des causes peuvent être connues mais les valeurs des erreurs qu'elles entraînent au moment de l'expérience sont inconnues.

Exemples: erreur de quantification, erreurs dues au bruit de fond produit par agitation thermique ou inductions parasites dues aux rayonnements électromagnétiques, erreurs dues à la variation de la célérité du son liée à la température ambiante ...

Erreurs d'une chaîne de mesure

• Erreur aberrante

Au cours d'un étalonnage, il arrive qu'une mesure s'écarte notablement de la valeur de référence et conduise à une **erreur aberrante**.

Cette valeur aberrante peut provenir d'une erreur de lecture ou de manipulation, dans ce cas il est tout à fait normal de l'éliminer.

Exemple : Dans la notice d'un multimètre de haute précision, il est recommandé de ne commencer les mesures qu'après un temps de stabilisation en température de tous les composants électroniques. Si ce temps n'est pas respecté, il peut conduire à une ou plusieurs valeurs aberrantes, notamment en début d'étalonnage. L'appareil étalonné peut alors être déclaré non conforme à ces caractéristiques métrologiques, alors qu'il est conforme !

Erreurs d'une chaîne de mesure

- Erreurs dues aux grandeurs d'influence

La température: modifie les caractéristiques électriques, mécaniques, géométriques des matériaux.

Pressions, accélérations, vibrations, forces, etc. : créent des déformations du corps d'épreuve qui altèrent la réponse.

Humidité: la constante diélectrique ϵ et la résistivité ρ y sont sensibles. Dégradation de l'isolation électrique.

Champs magnétiques: modifications électriques (résistivité) pour les champs statiques, ou création de f.é.m. d'induction pour les champs variables.

Tension d'alimentation: fluctuation de l'amplitude ou de la fréquence peuvent altérer la grandeur de sortie du capteur lorsque elle dépend de celle-ci.

La lumière ambiante: peut s'ajouter à un flux lumineux à mesurer

Erreurs d'une chaîne de mesure

- Réduction des erreurs accidentelle

Les erreurs systématiques peuvent être éliminées.

Les erreurs accidentelles sont aléatoires et imprévisibles.

Protection de la chaîne de mesure:

Isolation thermique, hygrométrique, vibratoire

Régulation de la tension d'alimentation

Élimination des dérives d'amplificateurs

Blindage des câbles et mise à la terre

Filtrage des signaux parasites

Résolution suffisante des convertisseurs analogique/numérique

Correction numérique par microprocesseur intégré

Erreurs d'une chaîne de mesure

• Qualité d'une chaîne de mesurage

La qualité est évaluée par :

la précision regroupant **la fidélité** et **la justesse**

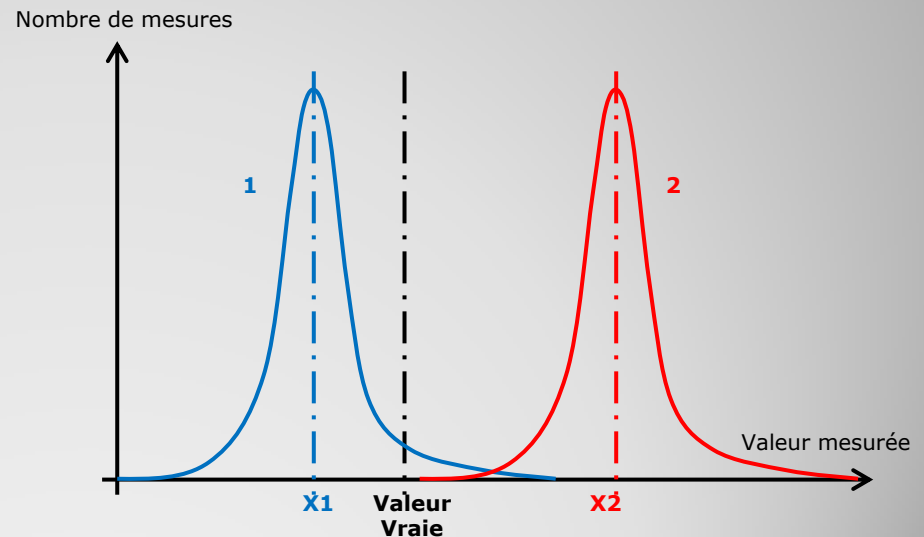
Pour déterminer cette précision, un grand nombre de mesures est effectuée d'une même valeur d'un Mesurande, dite **valeur vraie**.

la justesse de mesure :

C'est la qualité d'une chaîne de mesurage dont les erreurs systématiques sont faibles.

Plus la valeur moyenne est proche de la valeur vraie, meilleure est la justesse.

La moyenne X1 est plus proche de la valeur vraie que la moyenne X2, donc l'instrument 1 est plus juste que l'instrument 2.



Qualité d'une chaîne de mesurage

• Qualité d'une chaîne de mesurage

La qualité est évaluée par :

la précision regroupant **la fidélité** et **la justesse**

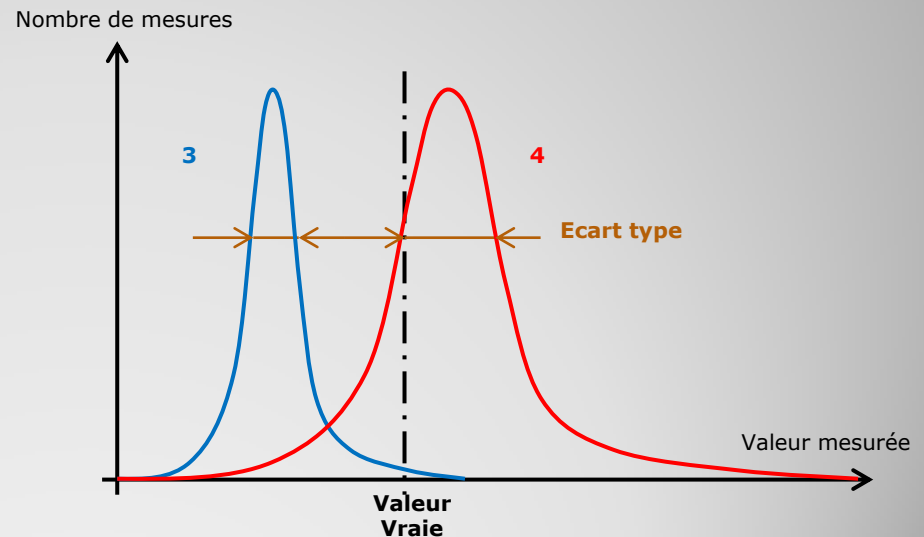
Pour déterminer cette précision, un grand nombre de mesures est effectuée d'une même valeur d'un Mesurande, dite **valeur vraie**.

la fidélité de mesure :

C'est la qualité d'une chaîne de mesurage dont les erreurs aléatoires sont faibles.

L'écart type expérimental des résultats permet de chiffrer cette erreur de fidélité.

L'instrument 3 est plus fidèle que l'instrument 4.



Qualité d'une chaîne de mesurage

• Qualité d'une chaîne de mesurage

La qualité est évaluée par :

la précision regroupant **la fidélité** et **la justesse**

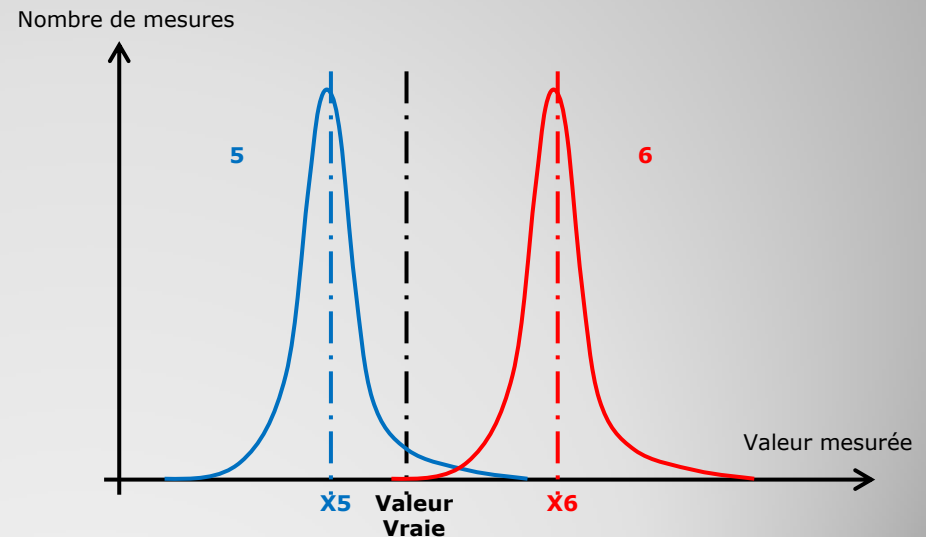
Pour déterminer cette précision, un grand nombre de mesures est effectuée d'une même valeur d'un Mesurande, dite **valeur vraie**.

la précision de mesure :

Elle est donnée par l'erreur de précision qui délimite l'intervalle autour de la valeur mesurée dans lequel on est assuré d'avoir la valeur vraie.

Une chaîne de mesurage précise est à la fois juste et fidèle.

L'instrument 5 est plus précis que l'instrument 6, puisqu'à fidélité égale, il a une meilleure justesse.



Qualité d'une chaîne de mesurage

• Etalonnage d'un instrument

En clair, cette opération consiste à mesurer la même grandeur avec l'équipement à étalonner et l'équipement étalon, et à comparer les indications des deux instruments, puis à exploiter les résultats de cette comparaison.

Exemple: étalonnage d'un thermomètre simplifié.

Dans un milieu homogène, à une température stabilisée (four ou bain thermostaté), nous plongeons un instrument à étalonner (thermomètre) et un étalon (thermomètre de référence, accompagné d'un certificat d'étalonnage), et nous mesurons la température du milieu (bain ou four).

Le thermomètre étalon (ajusté) indique 25,30 °C, le thermomètre à étalonner indique 24,10 °C. Nous avons alors, $T^{\circ} \text{ thermomètre} = T^{\circ} \text{ étalon} - 1,20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

C'est la première étape de la définition.

La seconde étape consiste à exploiter les résultats de la première.

Il peut s'agir de trois actions :

- la correction « manuelle » du résultat lu
- la vérification du matériel
- l'ajustage du matériel.

Etalonnage d'un instrument

• Etalonnage d'un instrument

La **correction « manuelle »** consiste à modifier la valeur lue.

Dans l'exemple précédent, si le thermomètre mesure 20,6 °C, alors la température à prendre en compte est $20,6 + 1,20 = 21,8$ °C.

La **vérification métrologique** consiste à apporter la preuve à partir de mesures (étalonnage) que des exigences spécifiées, c'est-à-dire les erreurs maximales tolérées (EMT), sont satisfaites. Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de conformité (suivie d'une remise en service) ou de non-conformité (suivie d'un ajustage, d'une réparation, d'un déclassement ou d'une réforme de l'appareil).

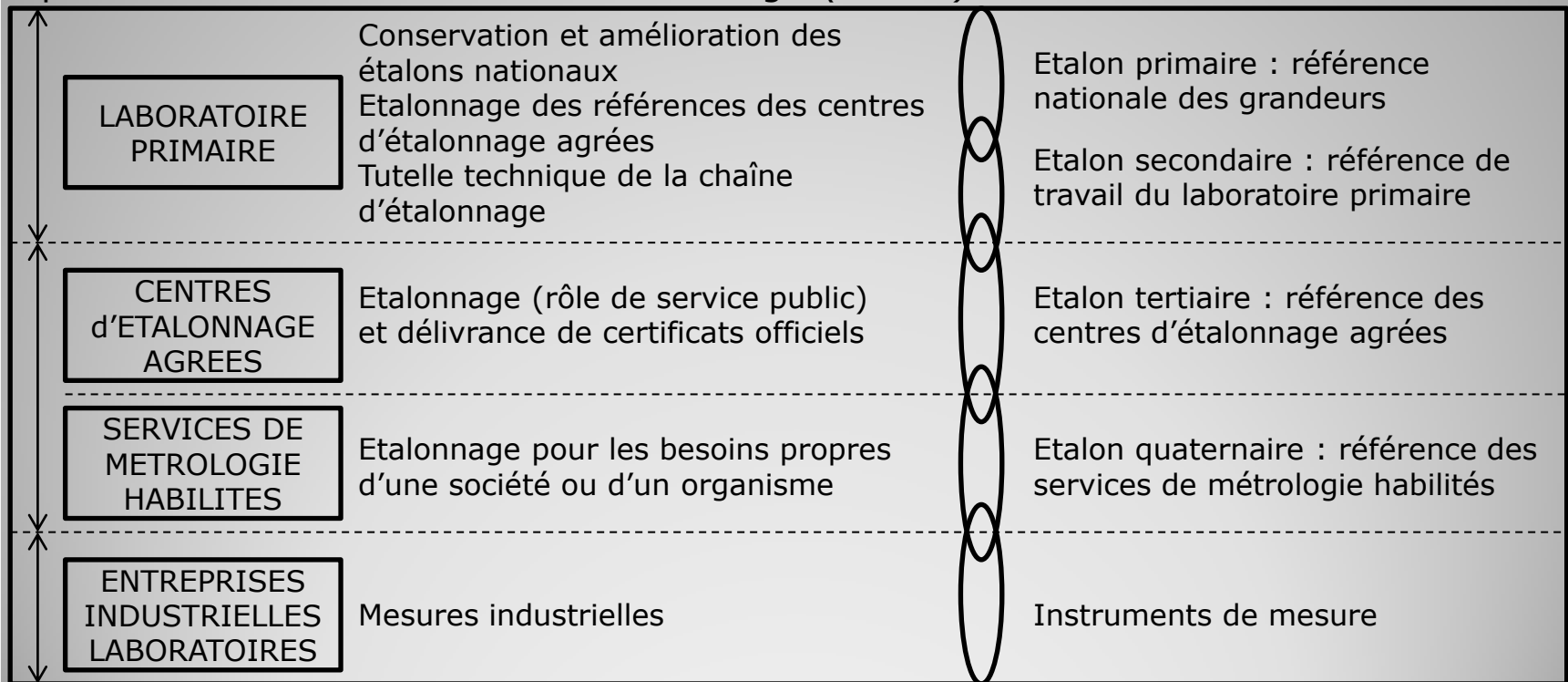
L'**ajustage** est un « ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer ».

En clair, cela signifie que si le résultat d'une vérification métrologique est non conforme (aux EMT), et dans le cas où l'on dispose encore d'une marge de manœuvre, on agit sur l'équipement de mesure de façon à ramener son erreur d'indication à l'intérieur des EMT.

Etalonnage d'un instrument

• La métrologie en France

Chaîne d'étalonnage dont la gestion et la coordination sont assurées par le secrétariat permanent du Bureau National de Métrologie (B.N.M.)



Étalonnage d'un instrument

• Etalonnage direct ou absolu

Valeur du Mesurande
générée par l'étalon
de référence



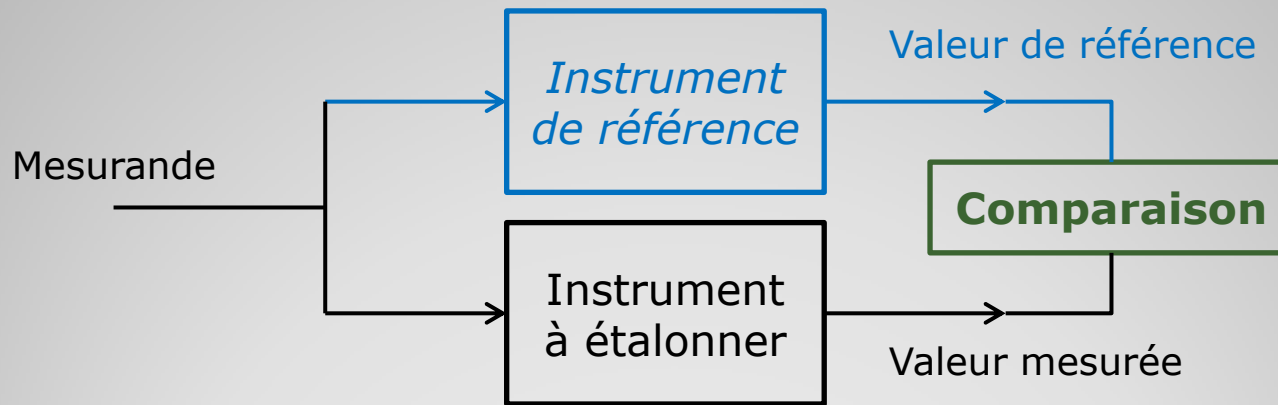
Valeur mesurée

Exemples d'éléments de référence:

- Cales-étalons pour les capteurs de déplacement
- Masses marquées pour les balances et pesons
- Températures de point fixes primaires ou secondaires pour les capteurs de température définies par EIT90 (Echelle Internationale Température 1990)
- Solutions tampons pour les sondes de *pH*
- Gaz étalons (2% ou 8% O₂) pour les sondes taux d'oxygène des fumées

Etalonnage d'un instrument

- Etalonnage indirect
ou par comparaison



Exemples d'instrument de référence:

Thermomètre, Manomètre, Baromètre, Mètre, Sonomètre, Anémomètre

Certains appareils permettent la génération du Mesurande et assurent la fonction instrument de référence : four d'étalonnage, calibrateur de pression

Etalonnage d'un instrument

Caractéristiques métrologiques des instruments de mesure

- La connaissance des C.M. est indispensable au technicien pour choisir et exploiter avec pertinence les instruments de mesure.

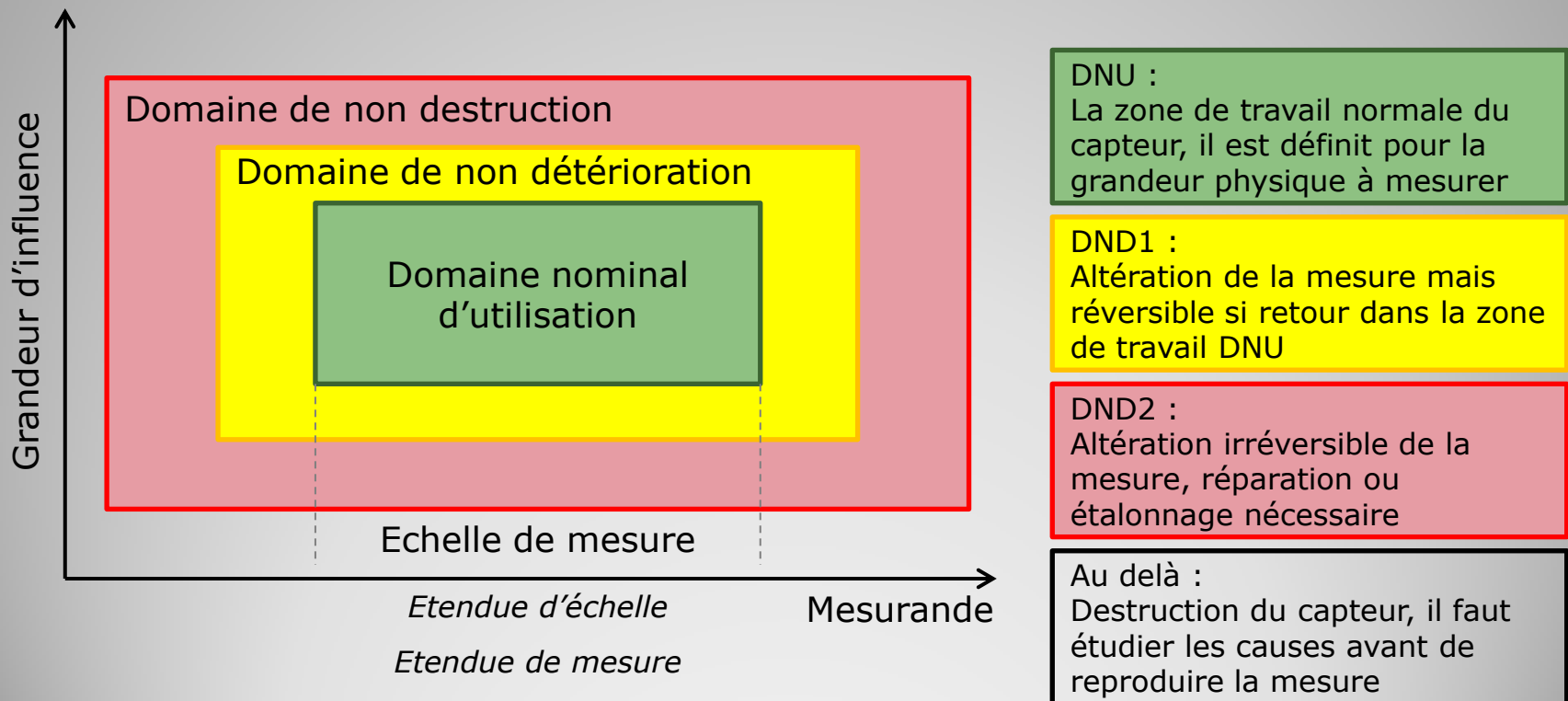
Rappel : le Mesurande désigne la grandeur physique soumise au mesurage



Caractéristiques Métrologiques

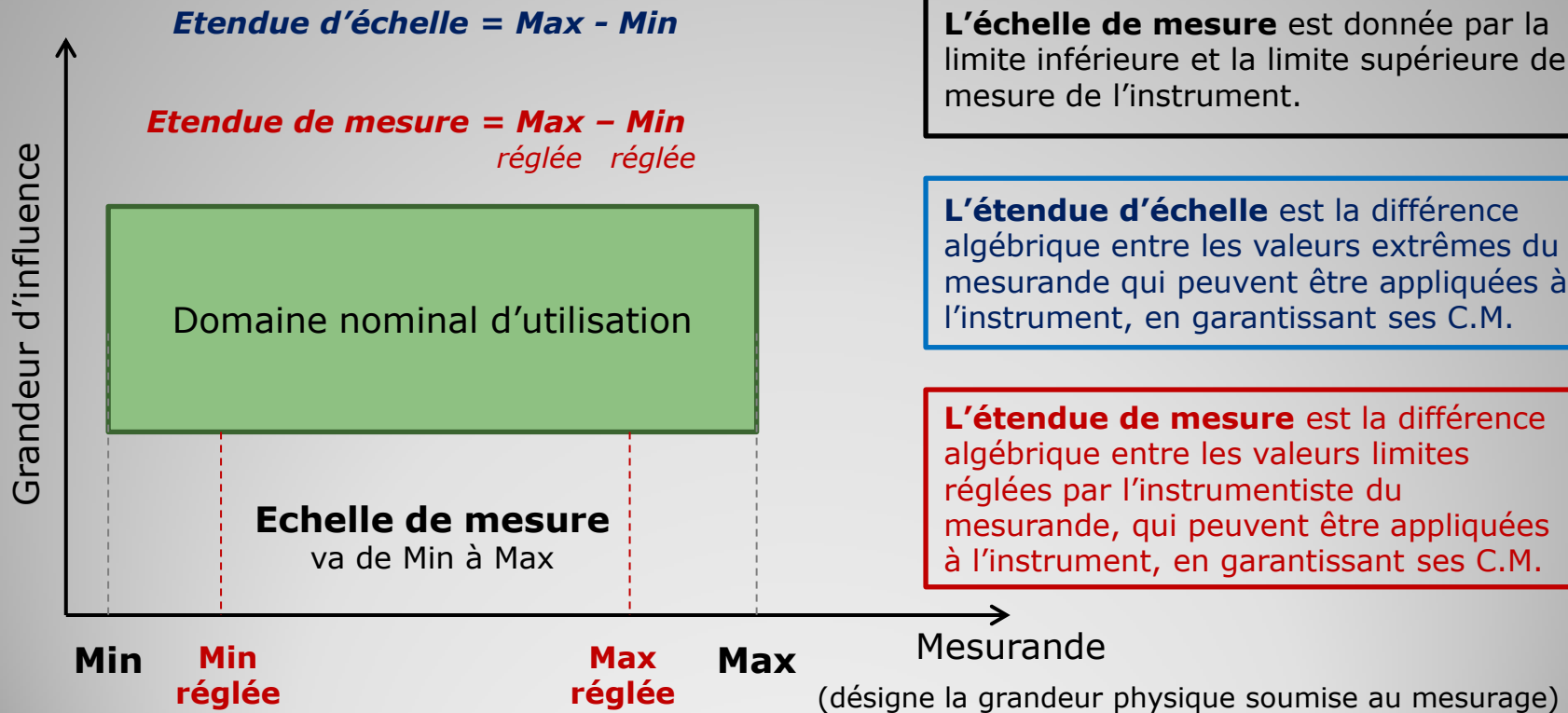
• C.M. des instruments de mesure

Domaine de fonctionnement d'un instrument



Caractéristiques Métrologiques

- Etendue d'échelle , étendue de mesure

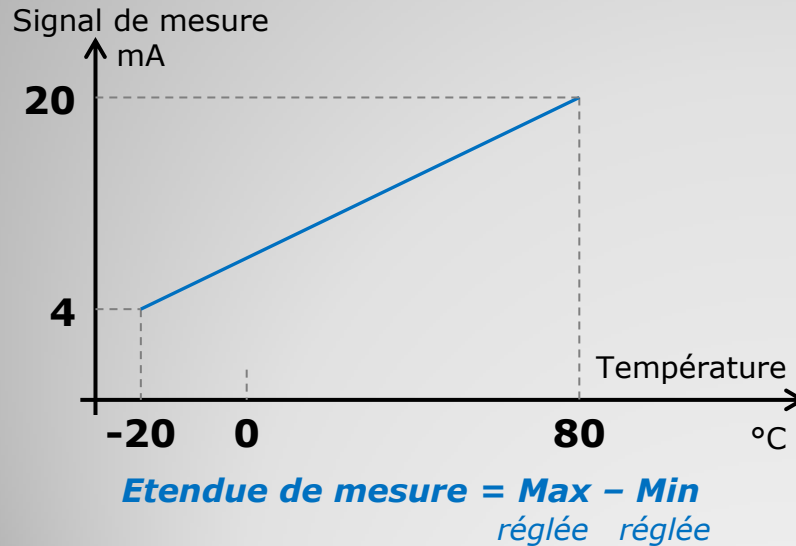


Caractéristiques Métrologiques

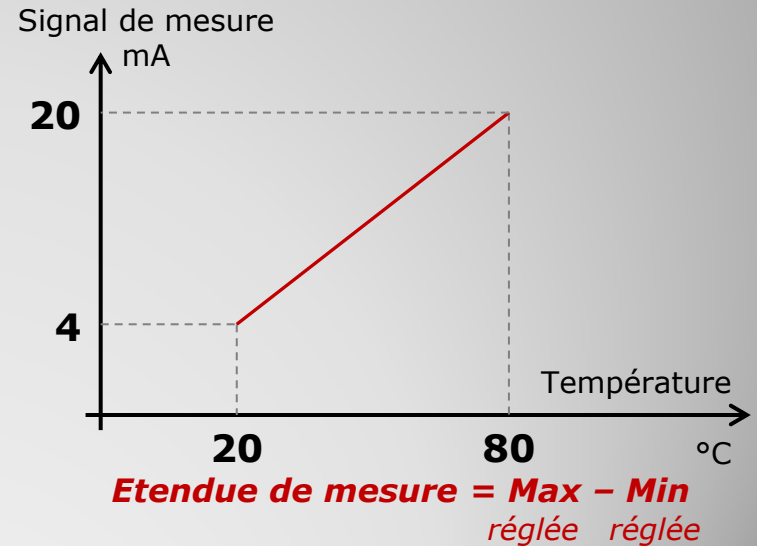
• Zéro de mesure

Le zéro de mesure est la valeur prise comme origine de l'information délivrée par l'instrument, le zéro des transmetteurs industriels est réglable ou paramétrable.

Le décalage de zéro est dit positif si la valeur de l'étendue de mesure est supérieure à la valeur maximale



Le décalage de zéro est dit négatif si la valeur de l'étendue de mesure est inférieure à la valeur maximale



Caractéristiques Métrologiques

• Rangeabilité

La rangeabilité R d'un instrument s'exprime comme le quotient de l'étendue de mesure maximale réglable par l'étendue de mesure minimale réglable. Cette définition implique que le réglage d'étendue soit prévu par le fabricant.

$$R = \frac{EM \text{ maxi}}{EM \text{ mini}}$$

Elle se note sous la forme R:1

Elle chiffre la capacité de réglage de l'instrument

Une rangeabilité de 3:1 est médiocre, il est classique d'avoir 10:1

Une rangeabilité de 100:1 est gage d'une très grande souplesse d'adaptabilité d'un instrument au problème de mesure.

Exemple : la notice d'un transmetteur de niveau annonce un réglage d'une étendue de mesure de 0,6 m à 30 m.

*Rangeabilité est $R = 30 / 0,6 = 50$ et elle est notée 50:1
ce qui correspond à une excellente capacité de réglage.*

Caractéristiques Métrologiques

- Linéarité

Un instrument est dit linéaire dans une plage déterminée du mesurande si sa sensibilité y est indépendante de la valeur du mesurande.

L'écart de linéarité est la spécification qui permet d'apprécier la plus ou moins bonne linéarité d'une courbe d'étalonnage.

Il est défini à partir de l'écart maximal entre la courbe d'étalonnage et la meilleure droite, et il est exprimé en pourcentage de la valeur maximale de la grandeur de sortie dans l'étendue de mesure considérée.

La courbe d'étalonnage est tracée à partir des points expérimentaux. L'équation de la droite, appelée meilleure droite est la représentation la plus probable, est déterminée par la méthode des moindres carrés.

Caractéristiques Métrologiques

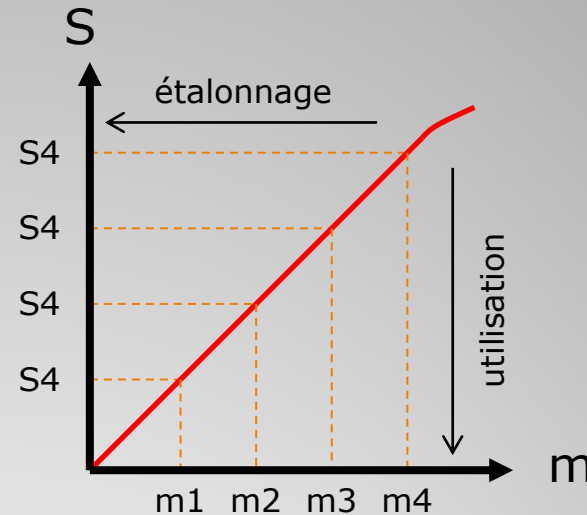
- Linéarité

Pour des raisons de facilité d'exploitation, on essaie généralement d'obtenir pour la fonction f une relation linéaire.

- Sensibilité

La **sensibilité Se** est le quotient de l'accroissement du signal de sortie S de l'instrument par l'accroissement du signal d'entrée m correspondant, et obtenu en régime permanent.

Lorsqu'un instrument est linéaire, la sensibilité indiquée est la pente de la droite qui est la meilleure approximation de la courbe d'étalonnage.



$$Se = \frac{dS}{dm}$$

Caractéristiques Métrologiques

• Précision des valeurs mesurées

Les erreurs accidentelles entraînant une dispersion des résultats, il est nécessaire d'introduire le **traitement statistique** pour obtenir :

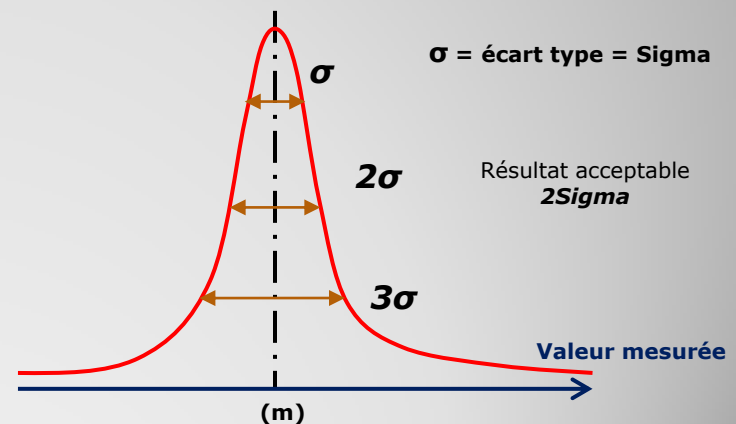
- **la valeur la plus probable**
- **fixer les limites de l'incertitude**

Lorsque le mesurage d'une même valeur du mesurande est répété « n » fois, on définit alors :

- **la valeur moyenne arithmétique** (valeur la plus probable)
- **l'écart-type « σ »** (dispersion des résultats)

Loi de Gauss : la probabilité d'apparition d'un résultat de mesurage dans les limites indiquées est,

- $(m \pm \sigma)$ dans 68,3 % des cas
- $(m \pm 2\sigma)$** dans **95,5 %** des cas
- $(m \pm 3\sigma)$ dans 99,7 % des cas



Caractéristiques Métrologiques

• Précision d'instrument

Exactitude et précision

Selon la norme NF X 07-100, l'emploi du terme précision doit être évité au profit du terme exactitude.

L'**exactitude** exprime la concordance entre la valeur mesurée par l'ensemble de l'instrument et la valeur conventionnellement vraie de la grandeur mesurée.

Cependant, le terme **précision** englobe :

- les erreurs intrinsèques de l'instrument
(hystérésis, non-linéarité, répétabilité)
- l'effet des grandeurs d'influence (température, pression, ...)
- l'exactitude de l'étalonnage effectué
- la fidélité de l'instrument
- l'exactitude de la chaîne de transmission, d'acquisition et de traitement

Caractéristiques Métrologiques

• Précision d'instrument

Incertitude absolue annoncée par le fabricant :

Pour un instrument de mesure, le fabricant annonce la manière dont on peut calculer l'erreur maximale ou ***incertitude absolue***.

Exemple d'une notice constructeur:

Précision de mesure

Ecart de mesure pour paramétrage de valeur seuil, hystérésis et reproductibilité incluses

- typique : 0,25 % de la valeur finale
- maximal : 0,5 % de la valeur finale

Temps de réponse T_{99}

< 5 ms

Stabilité à long terme

- Début et étendue de mesure

0,25 % de val. de fin d'échelle/an

Influence de la température ambiante

- Début et étendue de mesure

0,25 %/10 K de la valeur finale

- Influence énergie auxiliaire

0,005 %/V

Caractéristiques Métrologiques

Environnement industriel des instruments

Il est primordial qu'un instrument satisfasse, par ses qualités intrinsèques, à sa fonction première.

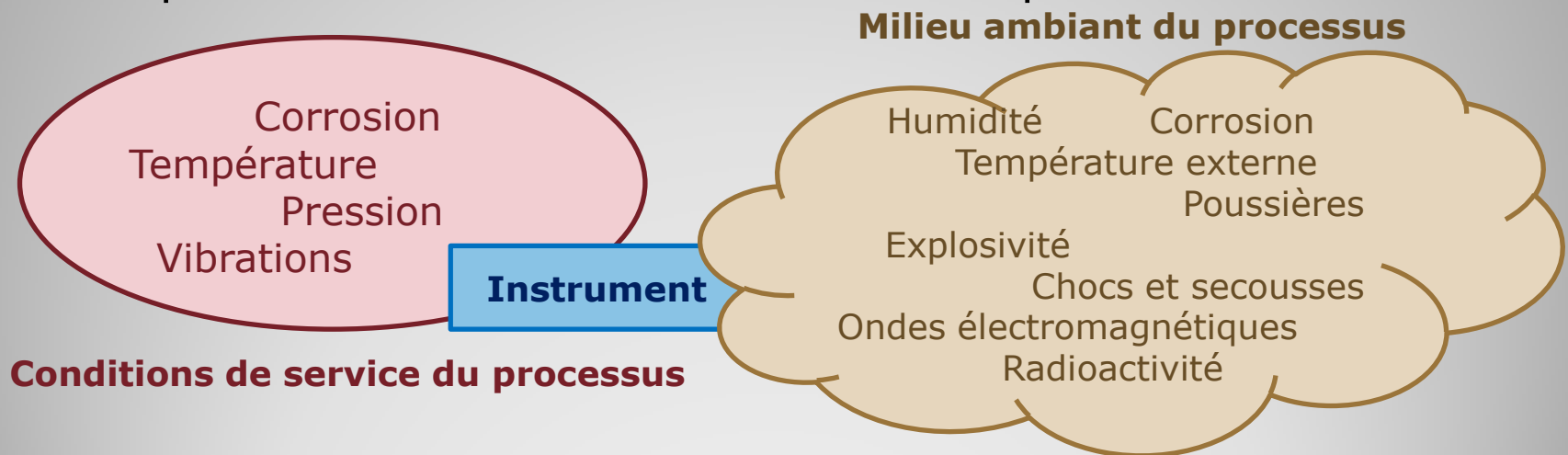
Mais il doit rester performant quelles que soient les contraintes que peut lui soumettre l'environnement du processus industriel, sans mettre en danger ni le personnel, ni l'installation, ni l'environnement par une pollution.

Voici donc quelques notions environnementales.

Environnement industriel

- Environnement

Tout appareil quel qu'il soit, instrument de mesure, de contrôle commande ou autre, doit fonctionner dans les **conditions de services** imposées par le fonctionnement du processus sur lequel il opère, ainsi que dans le **milieu ambiant** dans lequel il évolue.



L'examen de l'environnement industriel d'un appareil définit toutes les qualités intrinsèques indispensables pour qu'il reste opérationnel.

Environnement industriel

- Adaptation aux conditions de service

La **corrosion** dégrade les qualités de résistance mécanique de l'instrument notamment aux tenues à la **température** et à la **pression de service**.

Le choix primordial du matériau détermine la compatibilité à la corrosion, et se détermine à partir de la composition chimique détaillée du produit en contact avec l'instrument.

- Degrés de protection

Tout matériel électrique est protégé par une enveloppe au point de vue poussières, pénétration de l'eau et impacts mécaniques externes, dont les degrés de protection sont indiqués par les codes :

- IP (International Protection)
- IK (Protection mécanique internationale).

Environnement industriel

- Atmosphères explosives ATEX

ATEX est la contraction de **AT**mosphère et de **Ex**plosive

Directives ATEX

Depuis le 1^{er} juillet 2006, les directives

- 1999/92/CE dite ATEX 118a
- 1994/9/CE dite ATEX 100a

sont d'application **obligatoire** sur l'ensemble de la communauté européenne.

La première définit les **prescriptions minimales** visant à améliorer la **protection** en matière de **sécurité** et de **santé** des **travailleurs** susceptibles d'être **exposés** au risque d'atmosphères explosives.

La seconde définit la **conception** et la **construction** du **matériel** utilisable en atmosphère explosible.

Environnement industriel

• Directives ATEX

Pour satisfaire ces exigences, l'employeur est tenu d'évaluer s'il existe des risques d'explosion d'une ATEX, en tenant compte:

- de la probabilité de formation d'ATEX,
- de la probabilité d'inflammation de ces ATEX, y compris par des décharges électrostatiques,
- de classer en zones les emplacements à risques où des ATEX peuvent se former,
- d'installer dans ces zones des matériels électriques et non électriques conformes à la directive ATEX 1994/9/CE,
- de prendre des mesures organisationnelles telles que la formation et l'information du personnel appelé à travailler dans les zones à risque.

Environnement industriel

Classification des zones des atmosphères explosives

Zone		Niveau du risque	Appareils utilisables
Gaz	Poussières		
Zone 0	Zone 20	Emplacement où une ATEX est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment	Catégorie 1
Zone 1	Zone 21	Emplacement où une ATEX est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal	Catégorie 1 ou 2
Zone 2	Zone 22	Emplacement où une ATEX n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal, ou si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée	Catégorie 1, 2 ou 3

Environnement industriel

Code de marquage des appareils électriques ATEX

Groupe	Catégorie d'appareils	Marquage G: gas D: dust (poussières)	Symbole Ex :  Marquage supplémentaire Groupes d'appareils en fonction du type de gaz explosible	
I (mines)	M1	Ex I M1		
I (mines)	M2	Ex I M2		
II (surface)	1 G (zone 0) 1 D (zone 20)	Ex II 1 G Ex II 1 D	IIA	Essence, hydracétal, méthane, propane ...
II (surface)	2 G (zone 2) 2 D (zone 22)	Ex II 2 G Ex II 2 D	IIB	Butadiène, cyclopropane, éther, Ethylène, diéthylénique ...
II (surface)	3 G (zone 2) 3 D (zone 22)	Ex II 3 G Ex II 3 D	IIC	Acétylène, éthane, hydrogène, sulfure de carbone ...

Environnement industriel

- Compatibilité électromagnétique : **CEM**

C'est l'aptitude d'un appareil électrique à fonctionner de façon satisfaisante dans un environnement électromagnétique.

Un appareil, avec ses câbles d'alimentation et de signaux, doit être immunisé au mieux à un environnement électromagnétique et ne doit pas générer de perturbations électromagnétiques nocives à son environnement.

Normes CEM :

La directive européenne **CEM 89/336/CEE** exige que tout produit électrotechnique soit soumis à des essais de résistance au brouillage et d'émissions parasites.

Lorsque l'appareil testé respecte les critères stipulés par les normes, il obtient le marquage CE (Communauté Européenne) attestant de sa conformité CEM avec ces normes.

Environnement industriel