

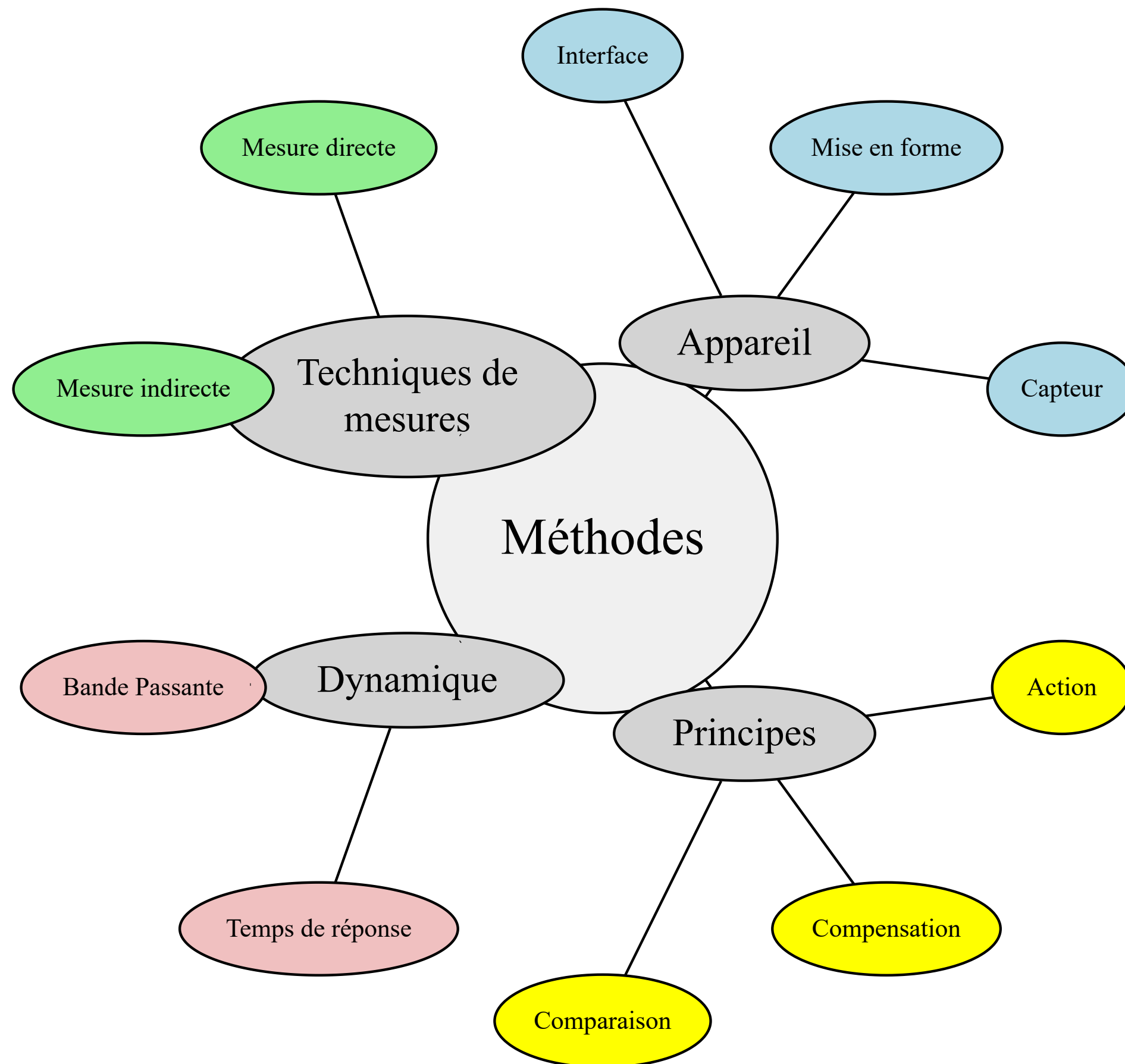
Instrumentation

Marc Nicollrat

1 Méthode de mesure

- Structure d'un appareil
- Mesurer une grandeur physique
- Technique de mesure
- Mesure directe/indirecte
- Signaux statiques et dynamiques
- Temps de réponse
- Bande passante
- Grandeur de sortie
- Exemple de grandeurs à mesurer et moyen
- Solutions pour faire des mesures
- Exemple pied à coulisse
- Mesure par comparaison, compensation, action du mesurande

1.1 Aperçu



1.2 Structure d'un appareil

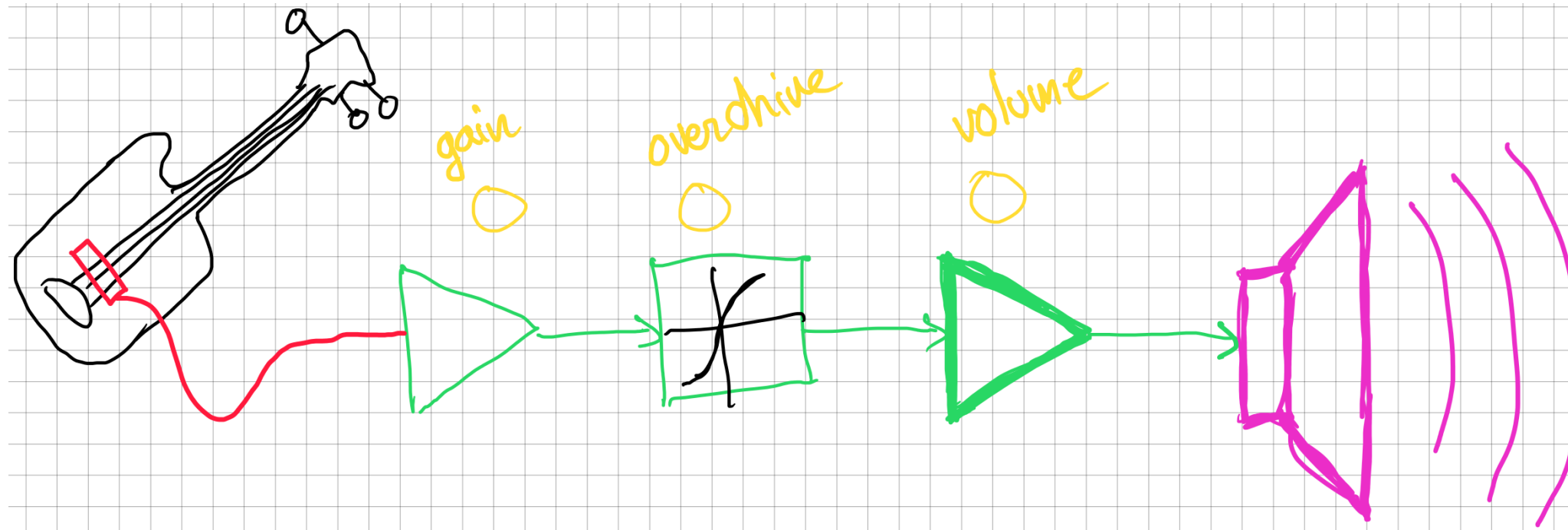
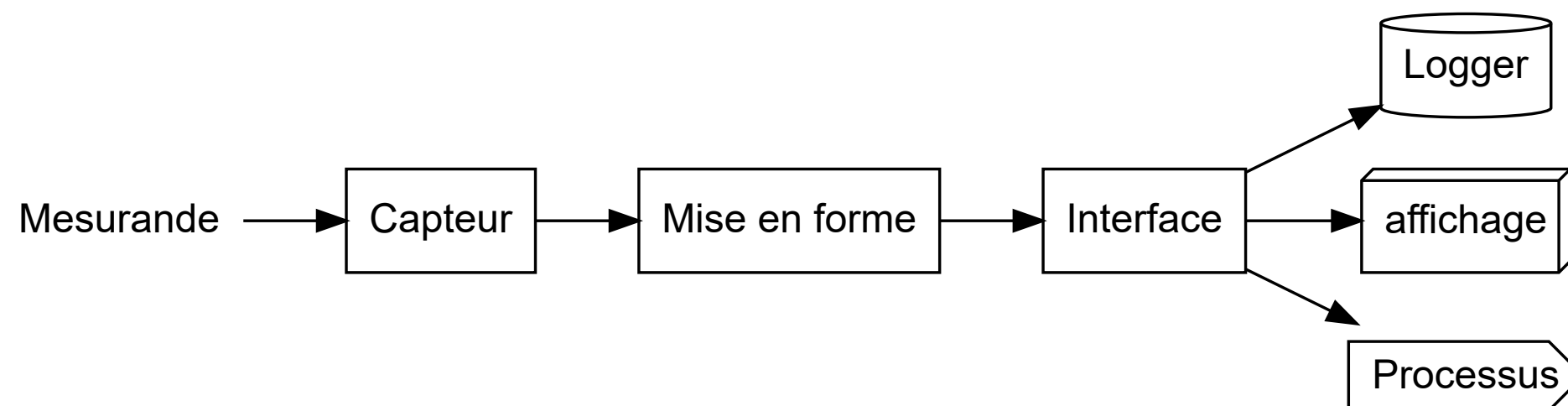


Figure 1: Exemple d'instrument de mesure de la vibration d'une corde



i Note

grandeur à mesurer = **mesurande**

1.3 Composants d'un appareil

Capteur

Utilise un procédé pour convertir la *mesurande* en une grandeur comme une tension, plus facile à traiter par un système de mesure

Mise en forme

Amplification, filtrage, linéarisation, traitement du signal pour sortir une grandeur “épurée”

Interface

Moyen utilisé pour transmettre l'information de mesure, soit sur un affichage, vers un système de mesure ou un processus

1.4 Mesurer une grandeur physique

La mesure de certaines grandeurs peut être simple, mais peut aussi avoir recours à des instruments très sophistiqués.

Les pionniers de la mesure ont parfois eu recours à beaucoup d'imagination pour obtenir de premières valeurs.

Certaines mesures sont aujourd'hui possible grâce à une très grande précision obtenue sur des mesures directes. Une grandeur typique qui peut être mesurée avec précision est le temps.

Problème de mesure du temps jadis

- Comment mesurer une quantité de grain au Moyen Âge?
- Comment mesurer le poids au temps de Romains
- Comment un marchand peut-il mesurer des longueurs de tissus
- Comment Hérodote mesurait les distances dans le monde grec?

Attention ceci les unités !

L'aune est une unité de mesure de longueur ancienne. Elle mesure toujours quatre pieds, soit deux tiers d'une toise. Trois aunes égalent aussi quatre verges, soit douze pieds. La moitié de l'aune est la coudée nubienne, en grec : nibou.

Tip

Quelques grandeurs demandant des moyens de mesure subtils :

- Vitesse de la lumière
- Distance entre les étoiles
- Ondes gravitationnelles (LIGO)

Exercice

- Quelle est la vitesse de cette salle dans le système solaire?

1.5 Mesurer c'est :

- Quantifier une grandeur à mesurer
- Objectifs:
 - Ne pas influencer la grandeur mesurée
 - Précision
 - Rapidité
 - Encombrement, puissance, prix du dispositif de mesure
 - Conformité avec les conditions d'utilisation

1.6 Quelques moyens de mesure

Quelques moyens de mesure

Grandeur physique	Unité	Moyen	Mise en forme
masse	[kg]	Capteur Piézo-résistif	Amplification signal électrique
Détection de sous-marin	[m]	Sonar	Signal sonore, interprétation de l'opérateur ou traitement numérique
vitesse de rotation	[t/min]	Dynamo	Affichage avec un voltmètre
température	[°C, K]	Thermocouple	Amplification et mesure de tension
tension RMS	[V]	Voltmètre	Traitement du signal
diamètre	[m]	Pied à coulisse	Repères visuels sur une règle
distance	[m]	Télémètre laser	Mesure du temps de vol de la lumière
débit d'un ruisseau	[l/min]	Hauteur d'un bassin de rétention	Calcul à partir de la hauteur de l'eau dans un déversoir
distance terre-lune	[km]	Ombre du soleil pendant éclipse	Différentes observation et calculs
distance étoiles	[a]	Parallaxe	Calculs trigonométriques à partir d'une mesure très précise des angles
Tension électrique	[V]	Couple engendré par un moteur	Aiguille

1.7 Le système international d'unités

Il y a 7 unités définies :

- Le kilogramme [kg]
- Le mètre [m]
- La seconde [s]
- L'ampère [A]
- Le kelvin [K]
- La mole [mol]
- La candela [cd]



Tip

Toutes les grandeurs à mesurer peuvent être dérivées de ce set de grandeurs de base - Exemple:

$$puissance = force \cdot vitesse [W = N \cdot m/s = kg \cdot m^2/s^3]$$

1.8 Quelques instruments en images



télémètre laser



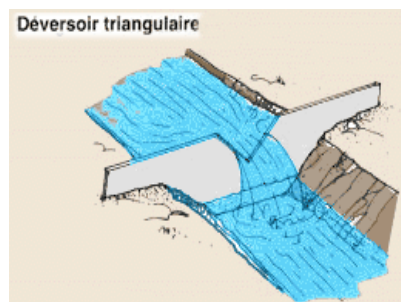
Multimètre



Codeur incrémental



Thermocouple



Déversoir



Mesure de gaz

1.9 Mesures directes/indirectes

Mesure directe

On compare la valeur avec une référence

Mesure avec une règle ou un pied à coulisse

mesure du poid avec une balance romaine

Mesure indirecte

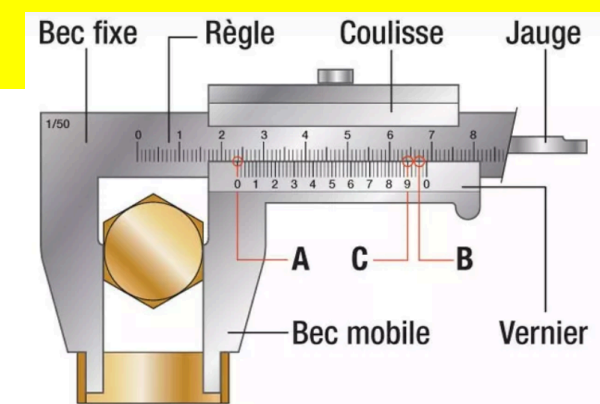
On utilise l'effet de la mesurande sur une autre grandeur physique.

Mesure avec un dynamomètre : on utilise l'effet du poids sur l'élongation du ressort

Voltmètre analogique : l'aiguille est déviée par la force créée par le courant dans un champ magnétique.

Le pied à coulisse permet de mesurer un diamètre ou une profondeur avec une bonne précision. Il s'agit dans ce cas de comparer avec une référence qui est la règle.

référence



Pied à coulisse



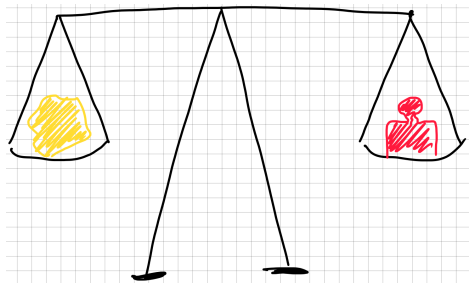
Tip

Dans le langage courant, une mesure directe signifie que la grandeur recherchée est directement lisible sur un instrument.

1.10 Techniques de mesure

Toutes les grandeurs ne sont pas mesurables directement. Il faut souvent utiliser des moyens indirects. Il y a par exemples plusieurs moyens imaginables pour mesurer la masse d'un objet.

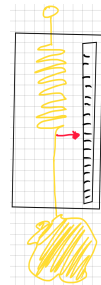
Comparaison



On cherche le poids à partir d'un certain nombre de poids connus

$$\mathbf{m} = \sum_i m_i$$

Action



On utilise la propriété du ressort pour en déduire la masse.

$$\Delta L = k_r \mathbf{m} g$$

Indirecte



Si on connaît la masse volumique de la masse à mesurer, on peut déduire son poids de son volume

$$\Delta h = V/S, \rho V = \mathbf{m}$$



Tip

1.11 Exemple : Mesure distance des étoiles

Parallaxe : L'angle sous lequel on voit les étoiles "proches" varie selon la position de la terre par rapport au soleil. **Figure 2**

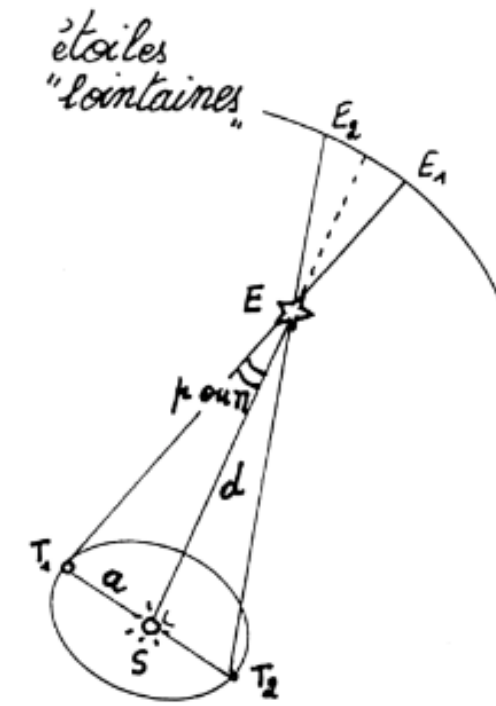


Figure 2: Variation du parallaxe des étoiles proches

Le satellite Hipparcos (High Precision PARallax COLlecting Satellite) a établi un catalogue des étoiles "proches" avec une précision de mesure des angles de 0.002".

[Math Processing Error]

1.12 Signaux statiques et dynamiques

La mesure d'une grandeur doit idéalement retourner une valeur bien définie. La réalité est un peu différente. Les signaux peuvent avoir différentes formes qui rendent la lecture plus difficile.

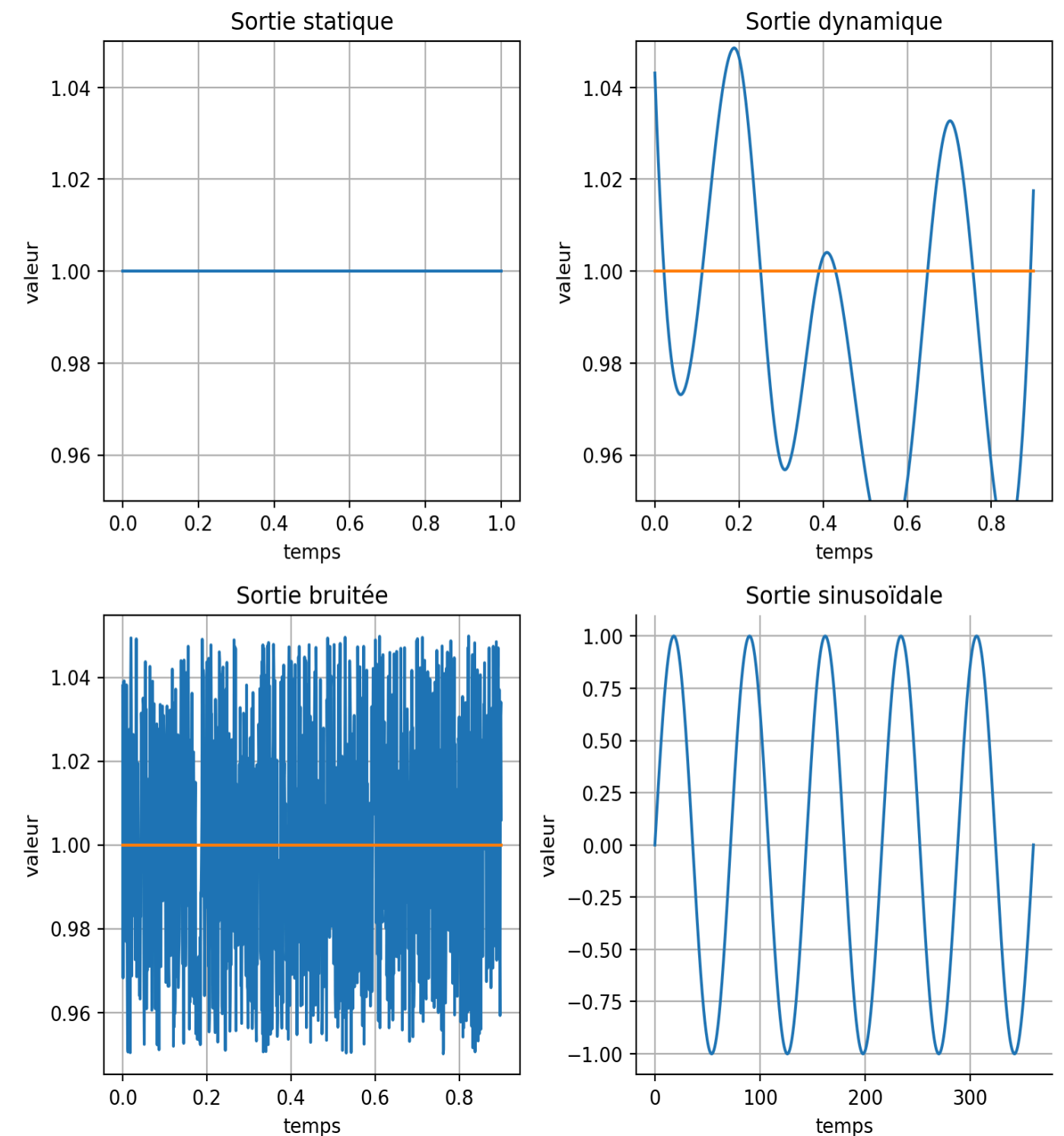


Figure 3: Signaux statiques et dynamiques

1.13 Combinaison des différents types de signaux

Les différentes composantes du signal se combinent, avec des influences plus ou moins fortes.

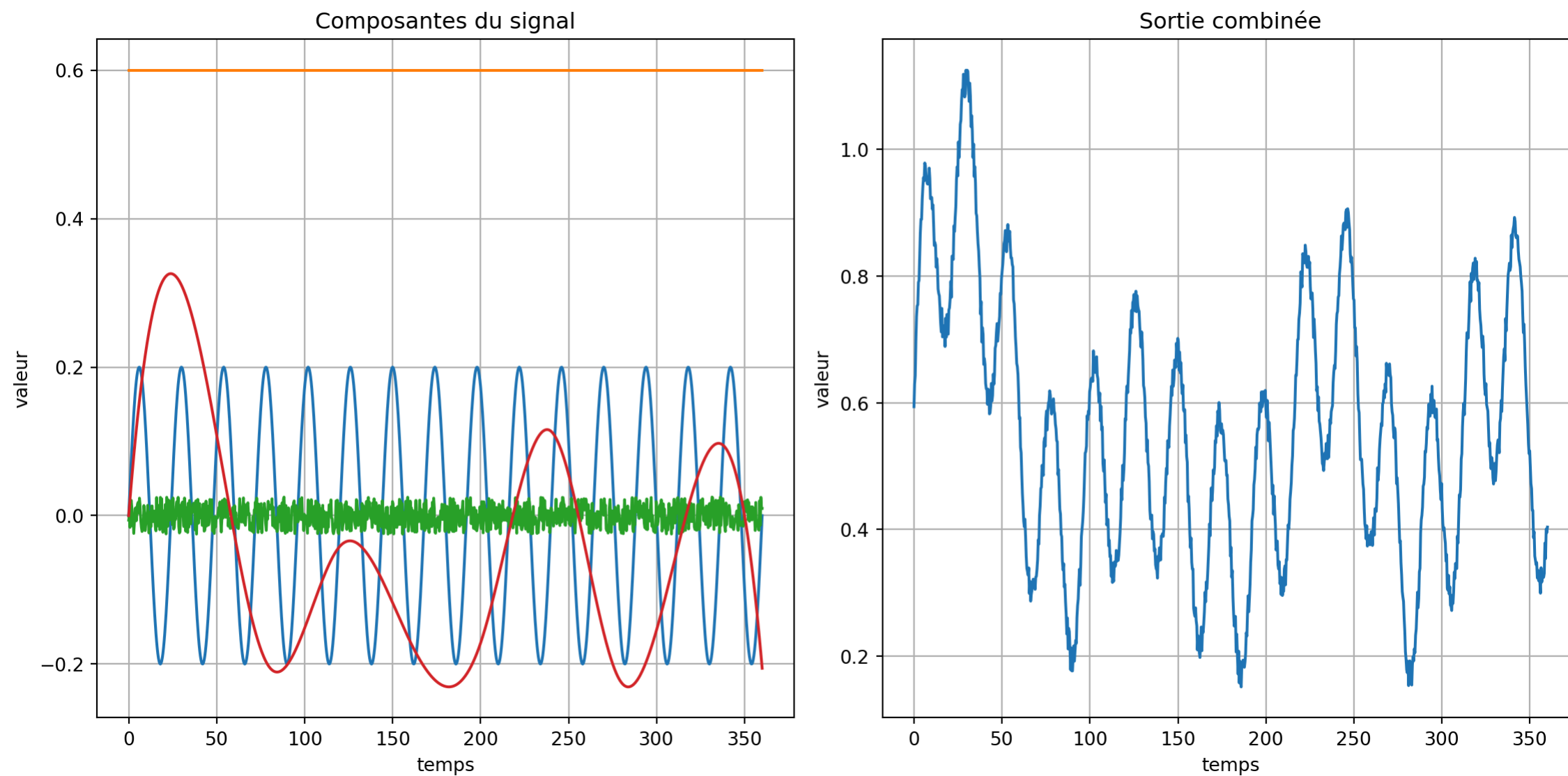
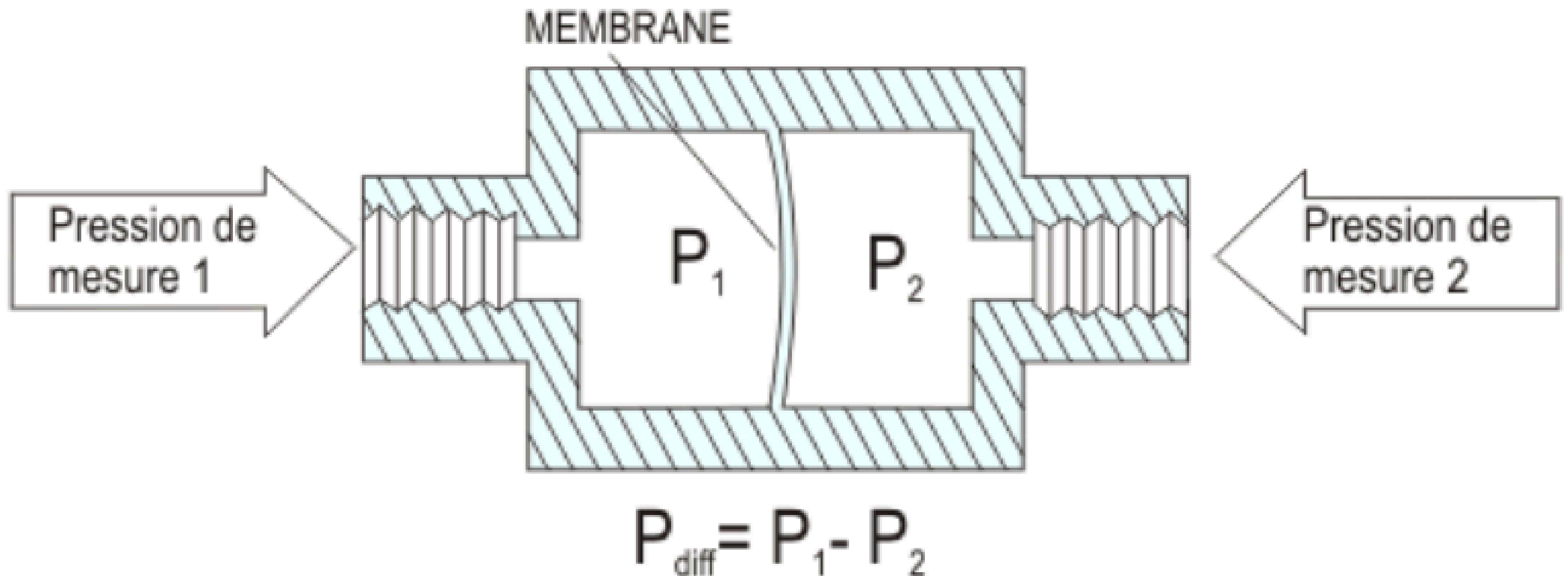


Figure 4: Composantes d'un signal réel

1.14 Mesure différentielle

Certaines mesures comme la pression peuvent se faire de manière différentielle. Le capteur de pression est composé d'une partie mécanique qui se déforme avec la pression (membrane). La pression de 2 endroits différents est amenée de chaque côté du capteur.



Mesure différentielle de pression

D'un point de vue électrique, on utilise aussi parfois une mesure différentielle. Le fait d'acheminer les signaux sur 2 fils permet de s'affranchir de signaux parasites.

1.15 Temps de réponse

Le temps de réponse est le temps qu'il faut à un appareil pour afficher la valeur exacte lorsque la mesurande a changé.

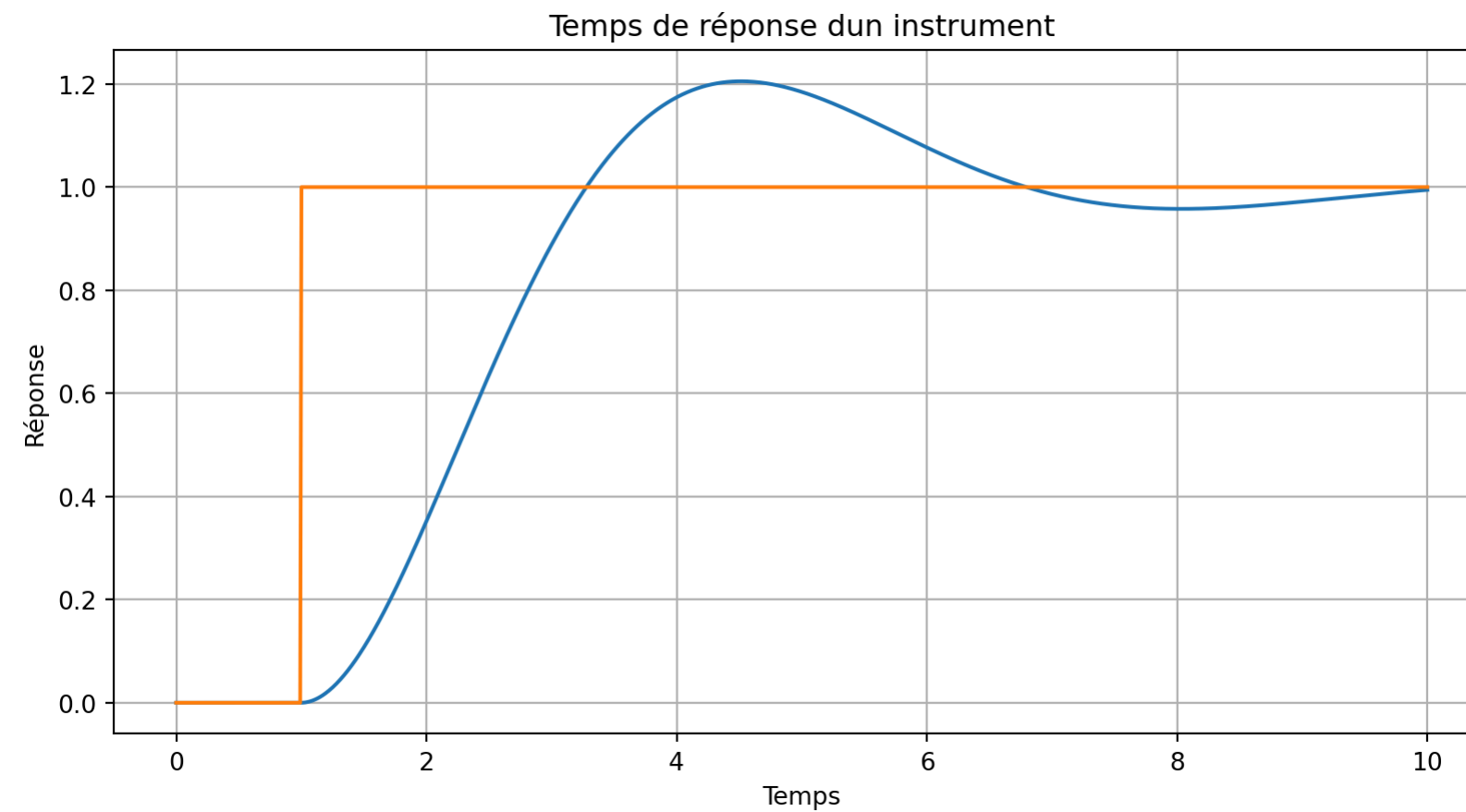


Figure 5: Temp de réponse d'un signal

1.16 Bande passante

Un appareil a des limites en fréquence. En général, les hautes fréquences sont limitées. Ceci fait que si la mesurande change rapidement, la mesure est temporairement faussée.

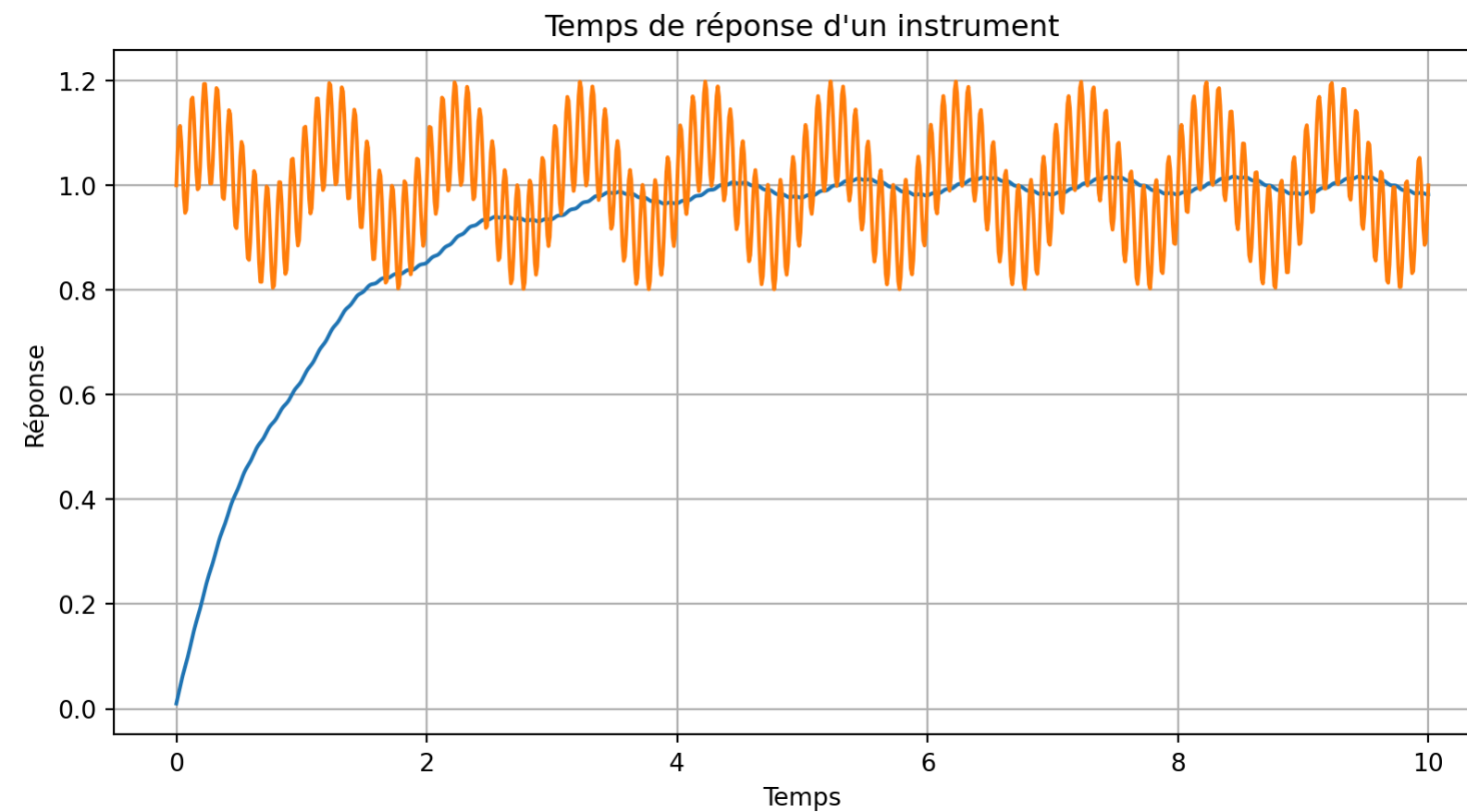


Figure 6: Bande passante d'un signal. Lorsque la mesurande fait un changement de 0 à 1, il faut un certain temps pour que la sortie du capteur indique la bonne valeur.

1.17 Grandeur de sortie

Un instrument va fournir l'information sous une forme utile à l'application qui exploite la mesure.

Sortie	formes	Usage
affichage	instrument visible ou signal acoustique	Relevé par un opérateur
sortie analogique	0-10V, 4-20mA	Lecture par un système d'acquisition
Interface numérique.	RS232, Ethernet, Bluetooth, IO-link, etc. –	Utilisation par un système, cloud

1.18 Exemple de spécification d'un capteur

La fiche technique du [Capteur BAUMER](#) indique les propriétés du capteur. Il va spécifier aussi quelles sont les erreurs auxquelles il faut s'attendre. Il est important de comprendre ce qu'il en découle pour faire le bon choix.

Plus le capteur a besoin d'être précis, plus il sera cher. Le bon capteur aura la précision suffisante sans excès.

Ce genre de capteur nécessite encore une mise en forme, le signal de sortie n'est pas forcément exploitable par n'importe quel système d'acquisition.

Caractéristiques techniques

Données générales

Plage de mesure	0 ... 100 N
Écart de linéarité	< 0,2 %
Répétabilité	< 0,1 %
Effet de la température zéro	< 0,2 % / 10K
Déviation du point zéro	< 20 %
Type	Button
Liaison mécanique	4 x M2 Vis / en vrac

Données mécaniques

Surcharge	150 %
Force de rupture minimale	200 %
Force de fatigue	>10 millions de cycles à 0...100% FS
Voie de mesure nominale	13 µm
Poids	14 g
Matériau du boîtier	Acier inoxydable, 1.4542

Données mécaniques

Connexion électrique	Connecteur M5, 4 pôles
----------------------	------------------------

Données électriques

Valeur nominale	1 mV/V
Résistance de pont	1000 Ω
Tension d'alimentation	0,5 ... 12 VDC
Polarité positive de signal	Compression

Conditions ambiantes

Température de fonctionnement	-40 ... 85 °C
Température de stockage	-40 ... 85 °C
Classe de protection EN 60529, ISO20653	IP 67

Conformité et approbations

Listé UL	E217824
----------	---------

Exemple de specifications du capteur de force Baumer DLM20

1.19 Exercices

Attention travaux !

1. On a plongé une pierre dans un récipient pour en mesurer son volume. Quel est le poids de cette pierre si on connaît sa nature ? (trouver les paramètres nécessaires)
2. On aimerait mesurer la hauteur de la tour de la Bâtiaz (en dessus de Martigny). Elle serait visible depuis la plus haute tour de Valère (à Sion).
 - Comment mesurer cette hauteur à distance ? Que faudrait-il connaître ?
 - Quelle précision doit-on avoir pour les mesures pour connaître la hauteur à 1m près ?
3. Sachant que la puissance mécanique s'exprime par l'expression $P = F \cdot v$, F est une force, v la vitesse. La puissance électrique est donnée par $P = V \cdot I$. Comme les deux unités sont les mêmes, quelle est l'unité du volt [V] (qui n'est pas une unité fondamentale !) ?
4. Un capteur a une réponse du premier ordre qui s'exprime sous cette forme si la mesurande change brutalement de 0 à une valeur donnée x_1 :

$$y(t) = x_1(1 - e^{-t/\tau})$$

τ est une constante de temps en secondes et t est le temps.

Combien de temps faut-il attendre après qu'on ait mesuré quelque chose avec ce capteur pour avoir une lecture de la valeur x_1 avec une précision de 99% ?

curiosité

- Mesure de la distance de la terre au soleil à partir du parallaxe horizontale de Mars (cf document *STAGE-SOLEIL*).