

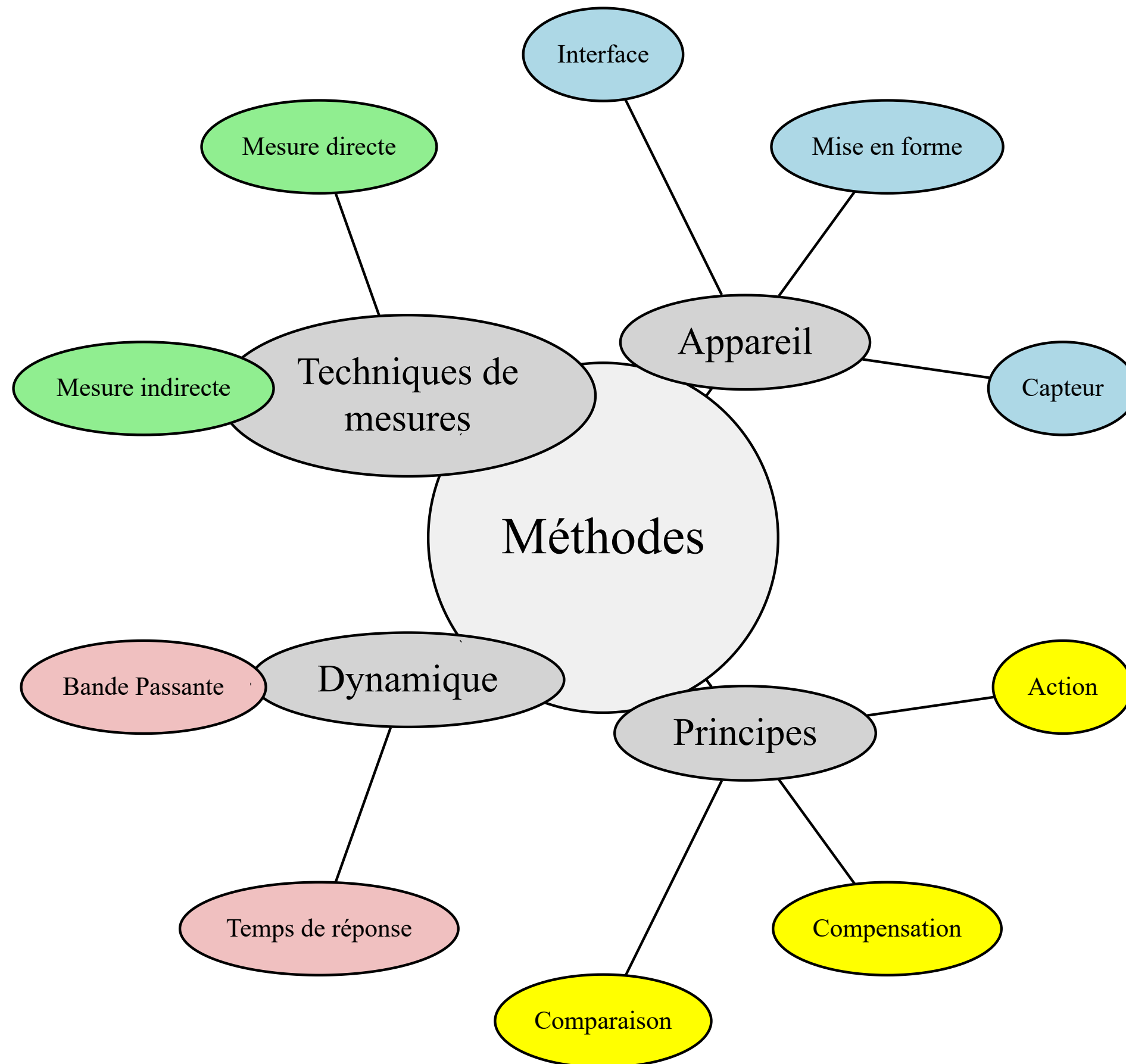
Instrumentation

Marc Nicollerat

1 Messmethode

- Aufbau eines Geräts
- Messen einer physikalischen Größe
- Technik der Messung
- Direkte/indirekte Messung
- Statische und dynamische Signale
- Reaktionszeiten
- Bandbreite
- Ausgangsgröße
- Beispiel für zu messende Größen und Mittel
- Lösungen, um Messungen durchzuführen
- Beispiel Messschieber
- Messung durch Vergleich, Kompensation, Einwirkung der Messgröße

1.1 Überblick



1.2 Aufbau eines Geräts

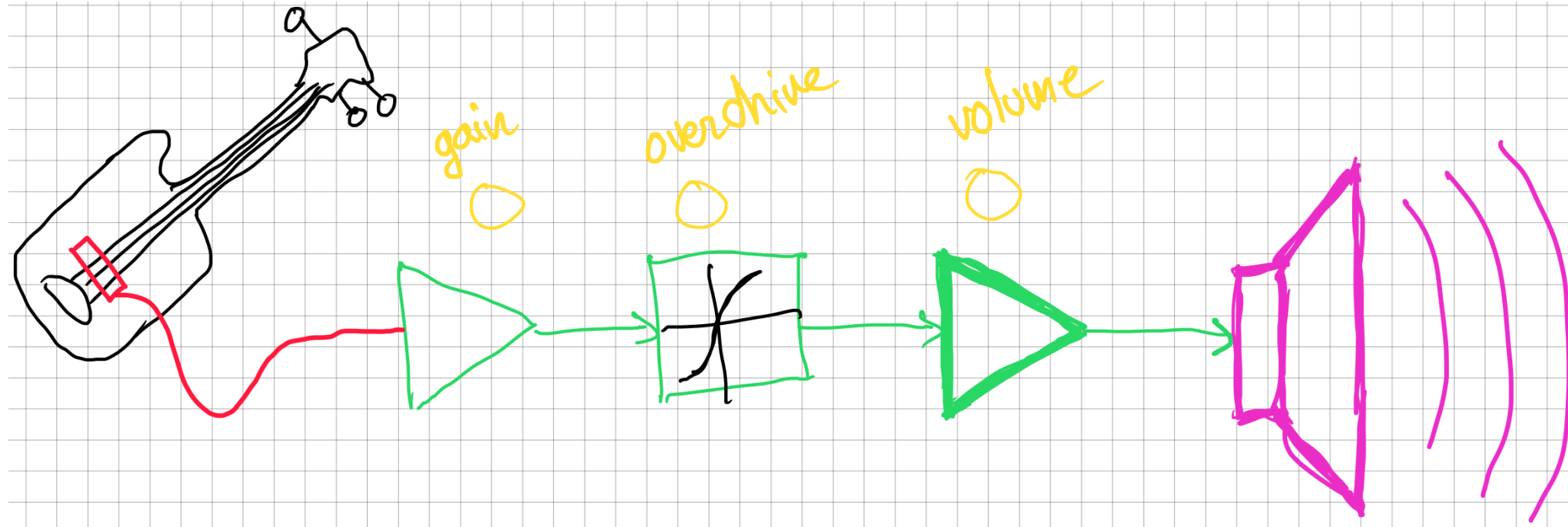
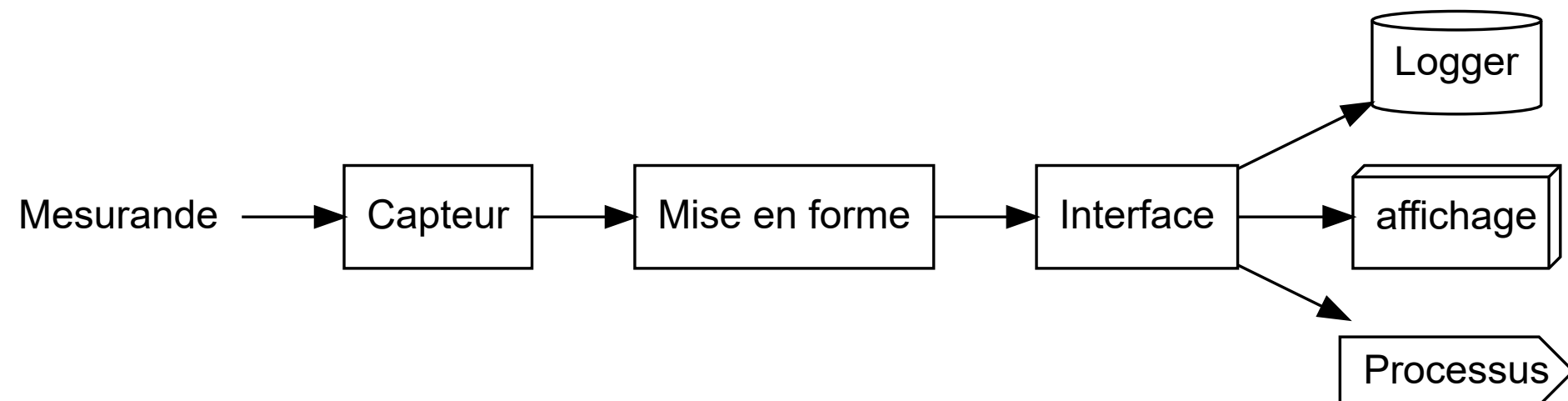


Figure 1: Beispiel für ein Instrument zur Messung der Schwingung einer Saite



i Note

zu messende Größe = **mesurande**.

1.3 Bestandteile eines Messgeräts

Sensor	Verwendet ein Verfahren, um den <i>Messwert</i> in eine Größe wie eine Spannung umzuwandeln, die leichter von einem Messsystem verarbeitet werden kann
Formung	Verstärkung, Filterung, Linearisierung, Signalverarbeitung, um eine “bereinigte” Größe auszugeben
Schnittstelle	Mittel, das verwendet wird, um Messinformationen zu übertragen, entweder auf einem Display, an ein Messsystem oder an einen Prozess

1.4 Messen einer physikalischen Größe

Die Messung bestimmter Größen kann einfach sein, aber auch sehr anspruchsvolle Instrumente erfordern.

Die Pioniere des Messens haben manchmal viel Fantasie gebraucht, um erste Werte zu erhalten.

Einige Messungen sind heute nur noch möglich, weil man bei direkten Messungen eine sehr hohe Genauigkeit erreicht. Eine typische Größe, die genau gemessen werden kann, ist die Zeit.

Problem mit der Messung der alten Zeit

- Wie misst man eine Getreidemenge im Mittelalter?
- Wie misst man das Gewicht zur Zeit der Römer?
- Wie kann ein Händler die Länge von Stoffen messen?
- Wie maß Herodot Entfernungen in der griechischen Welt?

Achte hierauf die Einheiten!

Gelb ist eine alte Maßeinheit für die Länge. Sie misst immer vier Fuß, also zwei Drittel einer Toise. Drei Erlen entsprechen auch vier Yards, also zwölf Fuß. Die Hälfte der Erle ist die nubische Elle, griechisch: nibou.

Tip

Einige Größen, die subtile Messmittel erfordern :

- Lichtgeschwindigkeit
- Abstand zwischen Sternen
- Gravitationswellen (LIGO)

Übung

- Wie schnell ist dieser Raum im Sonnensystem?

1.5 Messen ist :

- Eine zu messende Größe quantifizieren
- Ziele:
 - Die gemessene Größe nicht beeinflussen
 - Genauigkeit
 - Schnelligkeit
 - Platzbedarf, Leistung, Preis des Messgeräts
 - Übereinstimmung mit den Nutzungsbedingungen

1.6 Einige Messmittel

Einige Messmittel			
Physikalische GröÙe	Einheit	Mittel	Formatierung
Masse	[kg]	Piezo-Resistiver Sensor	Elektrische Signalverstärkung
U-Boot-Erkennung	[m]	Sonar	Akustisches Signal, Interpretation durch den Bediener oder digitale Verarbeitung
Drehgeschwindigkeit	[U/min]	Dynamo	Anzeige mit einem Voltmeter
Temperatur	[°C, K]	Thermoelement	Spannungsverstärkung und -messung
RMS-Spannung	[V]	Voltmeter	Signalverarbeitung
Durchmesser	[m]	Messsschieber	Visuelle Markierungen auf einem Lineal
Abstand	[m]	Laser-Entfernungsmesser	Messung der Flugzeit von Licht
Durchfluss eines Baches	[l/min]	Höhe eines Rückhaltebeckens	Berechnung aus der Höhe des Wassers in einem Überlauf
Abstand Erde-Mond	[km]	Schatten der Sonne während einer Sonnenfinsternis	Verschiedene Beobachtungen und Berechnungen
Entfernung der Sterne	[al]	Parallaxe	Trigonometrische Berechnungen anhand einer sehr genauen Winkelmessung
Elektrische Spannung	[V]	Von einem Motor erzeugtes Drehmoment	Nadel.

1.7 Das internationale Einheitensystem

Es gibt 7 definierte Einheiten:

- Das Kilogramm [kg].
- Der Meter [m]
- Die Sekunde [s]
- Das Ampere [A]
- Das Kelvin [K]
- Das Mol [mol].
- Die Candela [cd]



Tip

Alle zu messenden Größen lassen sich aus diesem Set von Basisgrößen - Beispiel:

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

1.8 Einige Instrumente in Bildern



Laser-Entfernungsmesser



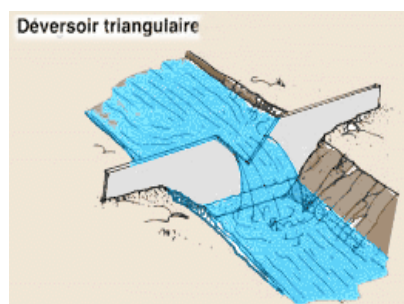
Multimeter



Inkrementalgeber



Thermoelement



Überlauf



Gasmessung

1.9 Direkte/indirekte Messungen

Direkte Messung

Man vergleicht den Wert mit einer Referenz

Messung mit einem Lineal oder Messschieber

Gewichtsmessung mit einer römischen Waage

Indirekte Messung

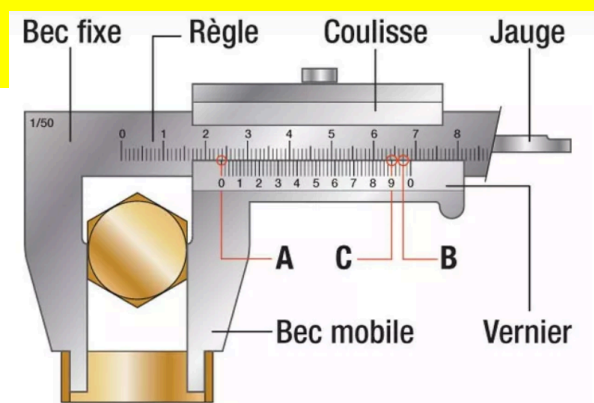
Man nutzt die Wirkung der Messgröße auf eine andere physikalische Größe.

Messung mit einem Kraftmesser: Man nutzt die Wirkung des Gewichts auf die Dehnung der Feder

Analoges Voltmeter: Die Nadel wird durch die Kraft abgelenkt, die durch den Strom in einem Magnetfeld erzeugt wird.

Mit einem Messschieber kann man einen Durchmesser oder eine Tiefe mit guter Genauigkeit messen. Es geht hierbei darum, mit einer Referenz zu vergleichen, die das *Lineal* ist.

Referenz



Messschieber

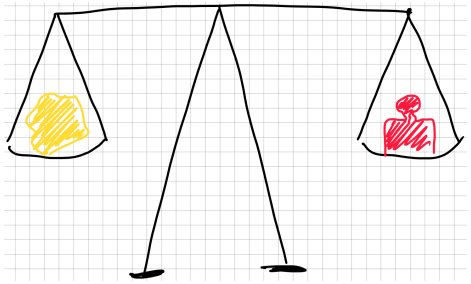
Tip

In der Umgangssprache bedeutet eine direkte Messung, dass die gesuchte Größe direkt an einem Instrument ablesbar ist.

1.10 Messtechniken

Nicht alle Größen sind direkt messbar. Oft muss man indirekte Mittel verwenden. Es gibt zum Beispiel mehrere denkbare Wege, um die Masse eines Objekts zu messen.

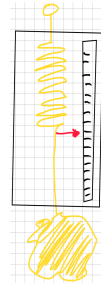
Vergleich



Man sucht das Gewicht aus einer bestimmten Anzahl bekannter Gewichte

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

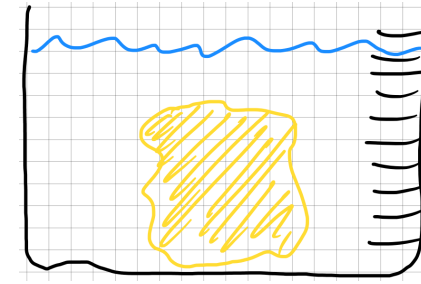
Aktion



Man nutzt die Eigenschaft der Feder, um auf die Masse zu schließen.

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

Indirekt



Wenn man die Dichte der zu messenden Masse kennt, kann man aus ihrem Volumen auf ihr Gewicht schließen

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



Tip

Die Messung durch Dehnung einer Feder kann verfeinert werden: Man kann der Feder einen Elektromagneten und eine Positionsmessung hinzufügen. Indem man die Verschiebung durch den Strom kompensiert, kann man aus dem benötigten Strom das Gewicht ableiten. Dadurch kann man sich von Nichtlinearitäten bei der Federdehnung befreien.

1.11 Beispiel: Messung der Entfernung von Sternen

Parallaxe: Der Winkel, unter dem man “nahe” Sterne sieht, variiert je nach der Position der Erde in Bezug auf die Sonne. [Figure 2](#)

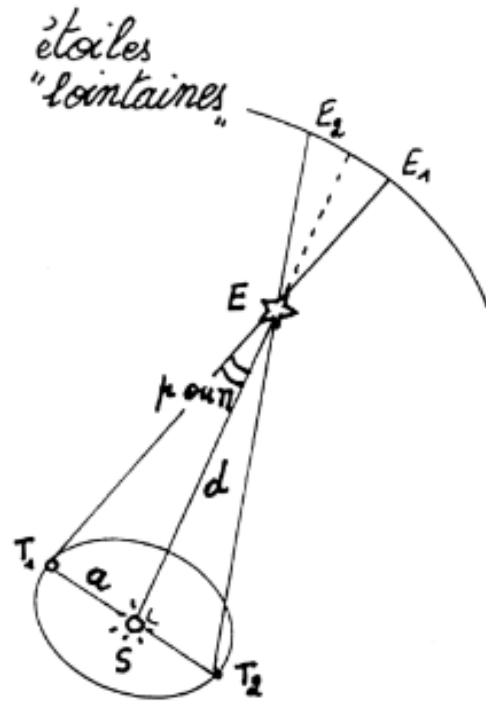


Figure 2: Variation der Parallaxe naher Sterne

Der Satellit Hipparcos (High Precision PARallax COLlecting Satellite) hat einen Katalog der “nahen” Sterne mit einer Winkelmessgenauigkeit von 0,002” erstellt.

[Math Processing Error]

1.12 Statistische und dynamische Signale

Die Messung einer Größe sollte idealerweise einen wohldefinierten Wert zurückgeben. Die Realität sieht jedoch etwas anders aus. Signale können verschiedene Formen haben, die das Ablesen erschweren.

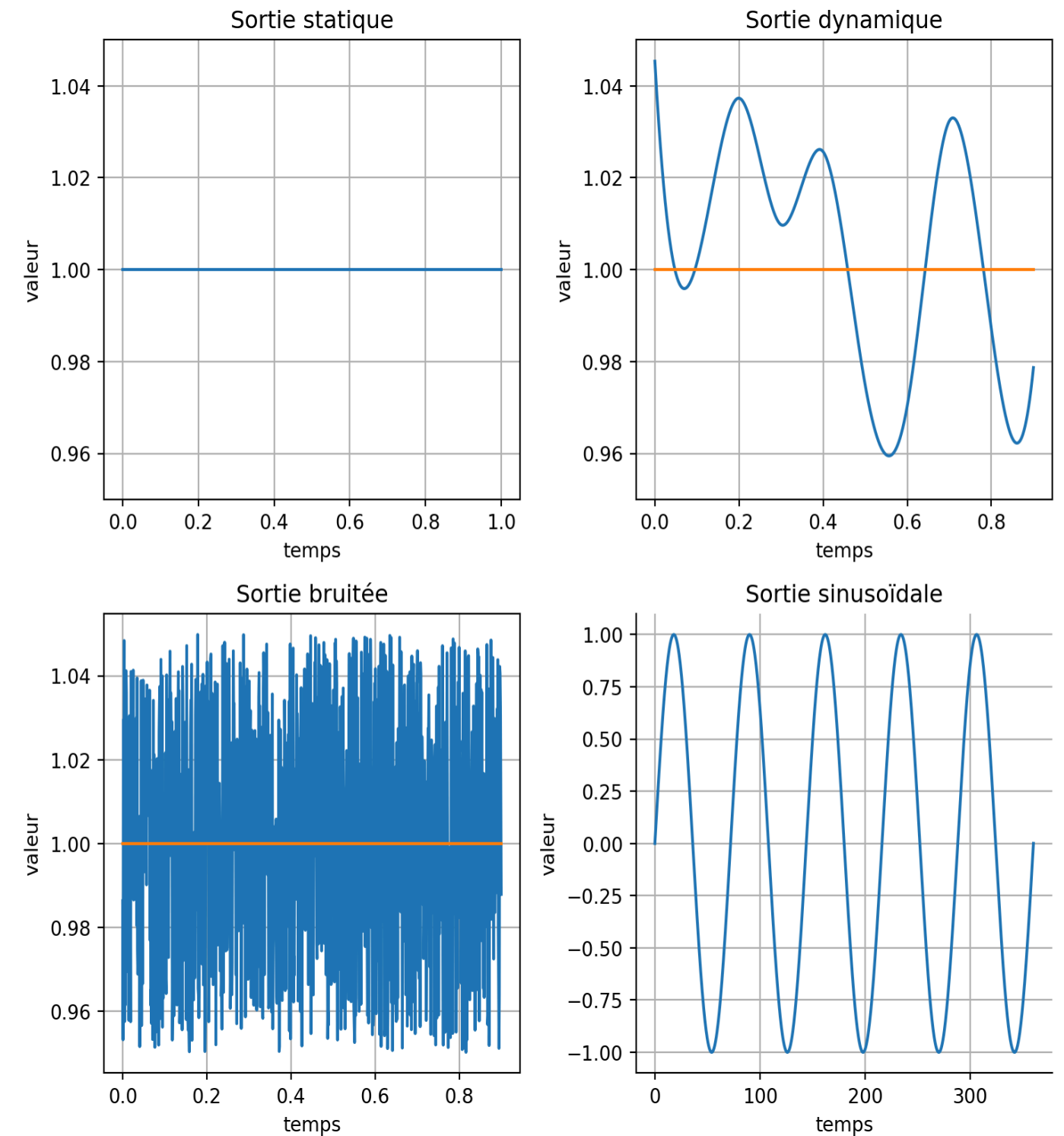


Figure 3: Signaux statiques et dynamiques

1.13 Kombination der verschiedenen Signaltypen

Die verschiedenen Signalkomponenten werden kombiniert, wobei sie mehr oder weniger stark beeinflusst werden.

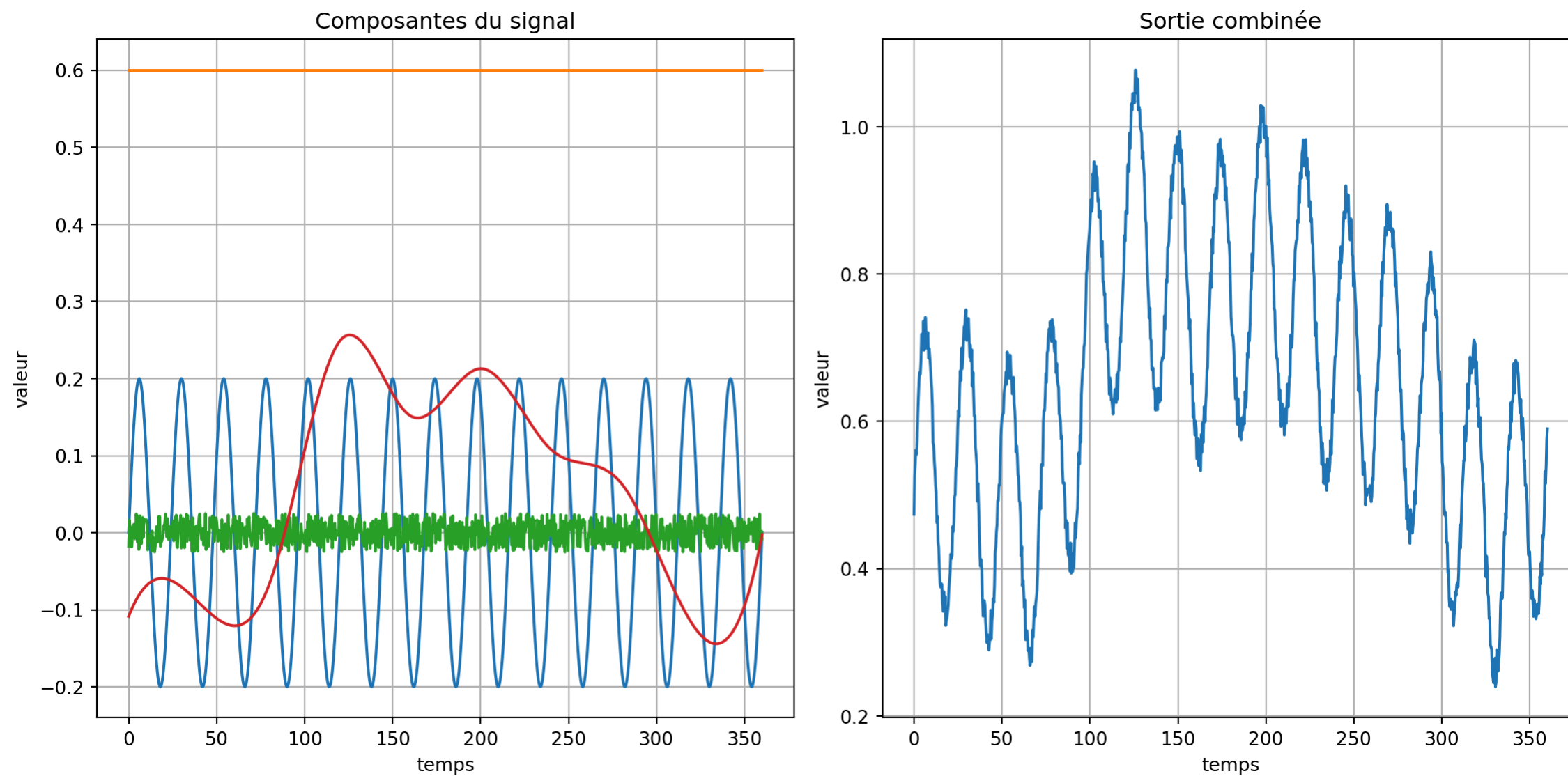
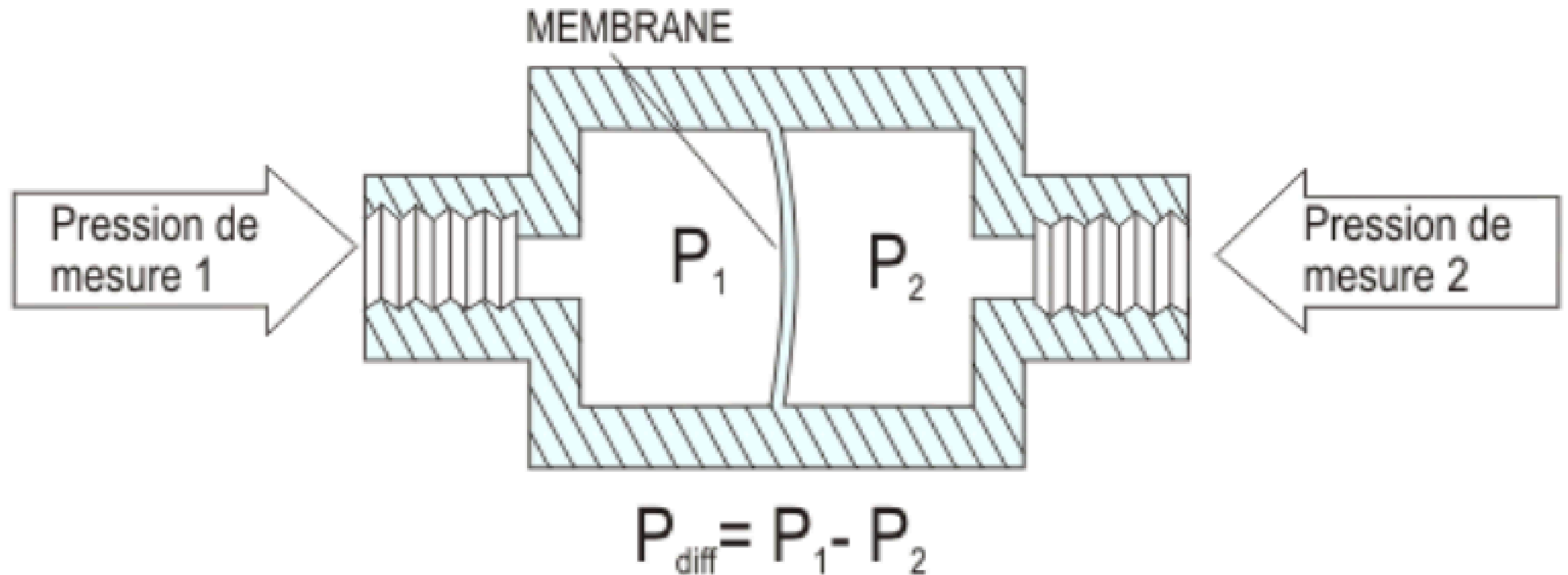


Figure 4: Composantes d'un signal réel

1.14 Differenzielle Messung

Einige Messungen, wie z. B. der Druck, können differenziell erfolgen. Der Drucksensor besteht aus einem mechanischen Teil, der sich mit dem Druck verformt (Membran). Der Druck von zwei verschiedenen Orten wird auf jede Seite des Sensors geleitet.



Druckdifferenzmessung

Aus elektrischer Sicht wird manchmal auch eine Differenzmessung verwendet. Dadurch, dass die Signale über 2 Drähte geleitet werden, werden Störsignale vermieden.

1.15 Reaktionszeit

Die Antwortzeit ist die Zeit, die ein Gerät benötigt, um den genauen Wert anzuzeigen, wenn sich die Messgröße geändert hat.

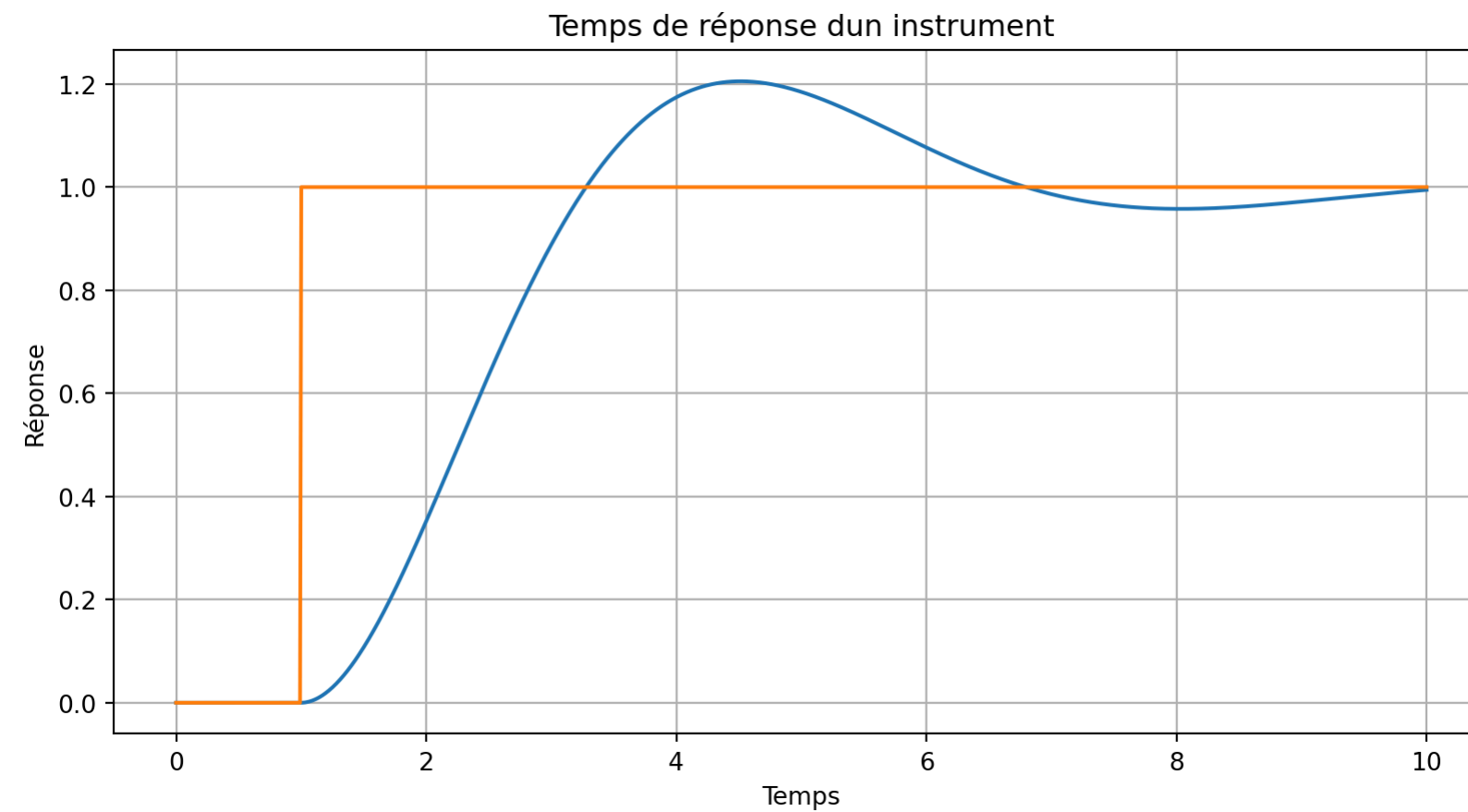


Figure 5: Temp de réponse d'un signal

1.16 Bandbreite

Ein Gerät hat eine Begrenzung der Frequenz. In der Regel sind die hohen Frequenzen begrenzt. Das führt dazu, dass bei einer schnellen Änderung des Messwerts die Messung vorübergehend falsch ist.

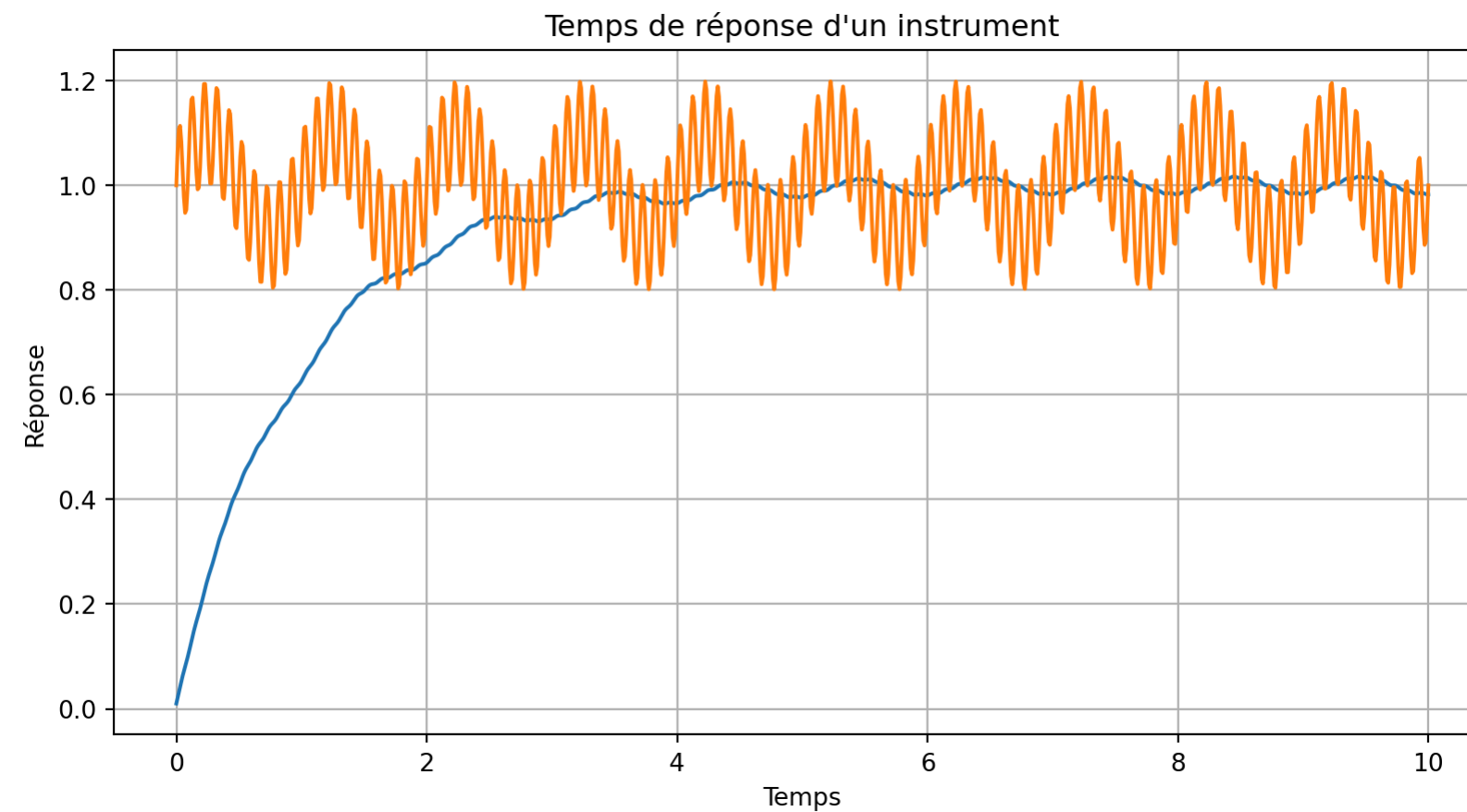


Figure 6: Bande passante d'un signal. Lorsque la mesurante fait un changement de 0 à 1, il faut un certain temps pour que la sortie du capteur indique la bonne valeur.

1.17 Ausgabegröße

Ein Instrument wird die Informationen in einer Form bereitstellen, die für die Anwendung, die die Messung auswertet, nützlich ist.

Ausgabe	Formen	Verwendung
Anzeige	sichtbares Instrument oder akustisches Signal	Von einem Bediener abgelesen
Analoger Ausgang	0-10V, 4-20mA	Ablesen durch ein Erfassungssystem
Digitale Schnittstelle.	RS232, Ethernet, Bluetooth, IO-link, etc. –	Nutzung durch ein System, Cloud

1.18 Beispiel für die Spezifikation eines Sensors

Das Datenblatt des **BAUMER-Sensors** gibt die Eigenschaften des Sensors an. Es wird auch angegeben, mit welchen Fehlern zu rechnen ist. Es ist wichtig zu verstehen, was daraus folgt, um die richtige Wahl zu treffen.

Je genauer der Sensor sein muss, desto teurer wird er sein. Der richtige Sensor wird eine ausreichende Genauigkeit haben, ohne übermäßig genau zu sein.

Diese Art von Sensor muss noch geformt werden, da das Ausgangssignal nicht unbedingt von jedem Erfassungssystem verwertet werden kann.

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
----------	---------

Beispiel für die Spezifikation des Baumer DLM20 Kraftsensors

1.19 Übungen



Achtung Bauarbeiten!

1. Man hat einen Stein in einen Behälter getaucht, um sein Volumen zu messen. Wie schwer ist dieser Stein, wenn man seine Beschaffenheit kennt? (Finde die erforderlichen Parameter)
2. Man möchte die Höhe des Turms von La Bâtiaz (oberhalb von Martigny) messen. Er wäre vom höchsten Turm von Valère (in Sitten) aus sichtbar.
 - Wie könnte man diese Höhe aus der Ferne messen? Was müsste man dazu wissen?
 - Wie genau müsste man bei der Messung sein, um die Höhe auf 1 m genau zu kennen?
3. Wissen Sie, dass die mechanische Leistung durch den Ausdruck $P = F \cdot v$ ausgedrückt wird, F ist eine Kraft, v die Geschwindigkeit. Die elektrische Leistung wird durch $P = V \cdot I$ angegeben. Da beide Einheiten gleich sind, was ist die Einheit von Volt [V] (das keine grundlegende Einheit ist!)?
4. Ein Sensor hat eine Antwort erster Ordnung, die in dieser Form ausgedrückt wird, wenn sich die Messgröße abrupt von 0 auf einen gegebenen Wert ändert x_1 :

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

τ ist eine Zeitkonstante in Sekunden und t ist die Zeit.

Wie lange dauert es, nachdem man mit diesem Sensor etwas gemessen hat, bis man den Wert x_1 mit einer Genauigkeit von 99 % ablesen kann?



Neugierde

- Messung des Abstands der Erde von der Sonne anhand der horizontalen Parallaxe des Mars (siehe Dokument *STAGE-SOLEIL*).