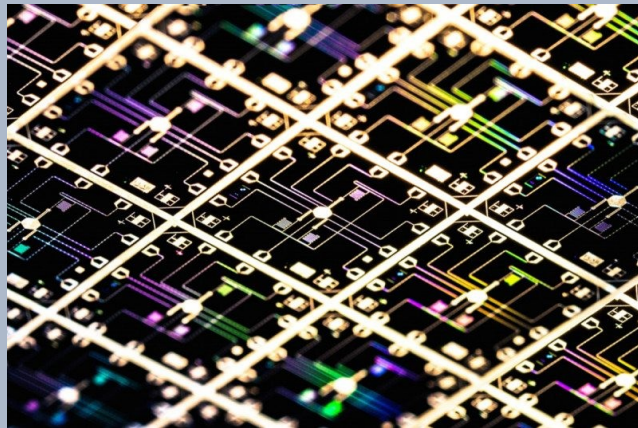


Panorama sur la Physique

Chapitre 2 – Introduction à la « pensée scientifique »



- Chapitre 1 - Introduction
- **Chapitre 2 - Introduction à la pensée scientifique**
- Chapitre 3 - Optique : l'étude de la lumière
- Chapitre 4 - Cinématique : la description du mouvement
- Chapitre 5 - Mécanique

2.1 La méthode scientifique

La méthode scientifique

2.1 La méthode scientifique

La méthode de la Physique

Les notions

Une notion est une **idée**, une grandeur physique utilisées pour analyser les phénomènes physiques.

Exemples : espace, énergie, temps, longueur, masse, ...


Les lois et les principes

Par l'observation, par l'analyse, nous pouvons **tirer des relations** entre **les grandeurs physiques**. Ces relations qui peuvent être mathématiques, sont appelés **lois**.

Les lois peuvent être limités à un certain domaine de la Physique ou ont une portée très générale sur le fonctionnement de la Physique : ce sont des **principes**.

2.1 La méthode scientifique

La méthode de la Physique

Les modèles *pendule simple :*  équation différentielle linéaire si $\theta \ll 1$: $\sin \theta \approx \theta$

Un **modèle** est une **analogie** ou une **représentation pratique** d'un système physique. Des **simplifications** sont parfois nécessaires dans le modèle. Les modèles sont parfois utiles comme des étapes intermédiaires. Il existe aussi des **modèles purement mathématiques** dont les propriétés reflètent la réalité, bien que les entités (Méca. Quantique) mathématiques ne soient pas observées.

(ex: fonction d'onde $|\psi\rangle$ en MQ)

Les théories

Une **théorie** rassemble les **notions**, les **principes**, un **modèle**, des postulats pour élaborer des lois.

Une théorie doit être **descriptive** et **prédictive** et c'est l'expérimentation qui dira si une théorie sera acceptée ou rejetée pour le domaine considérée de l'expérimentation.

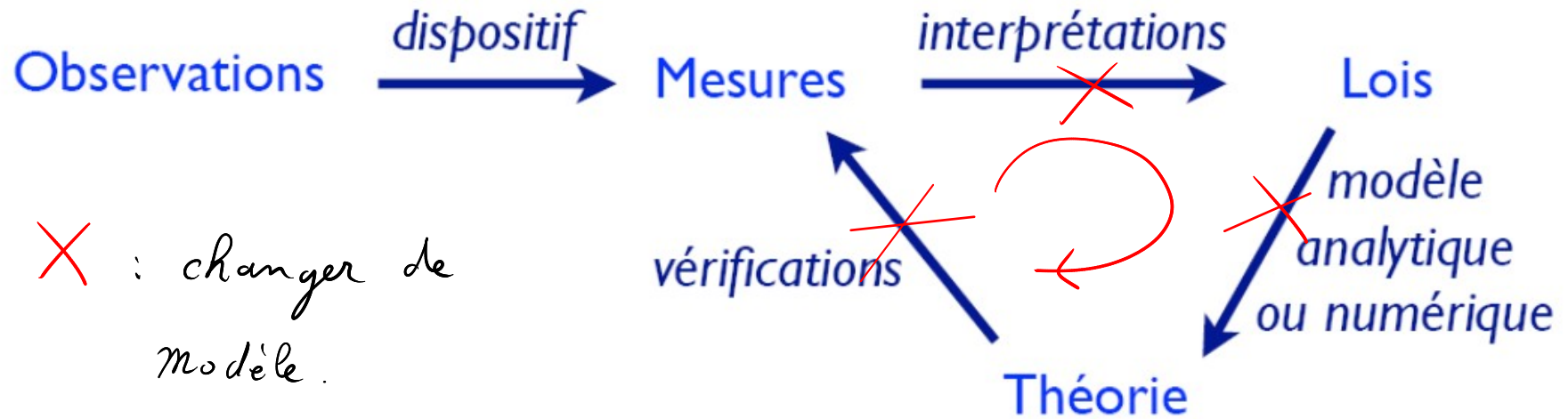
2.1 La méthode scientifique

Méthode de la physique

- Contrairement aux mathématiques, la physique est basée sur l'**observation**, l'**expérimentation**, et la **modélisation**.

application : phyphox

- Démarche du physicien :



2.1 La méthode scientifique

Expériences et mesures

Exemple : la chute des corps

manque d'informations ?

On lâche en même temps sur la Lune un marteau et une plume. Lequel arrive le premier au sol ?

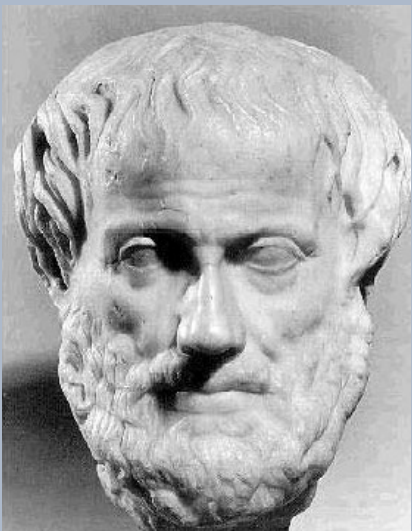
- *La plume ?*
- *Le marteau ?*
- *Les 2 en même temps ?*
- *Dans le vide, aucun des deux ne tombe ?*

↳ vide : pas de frottement

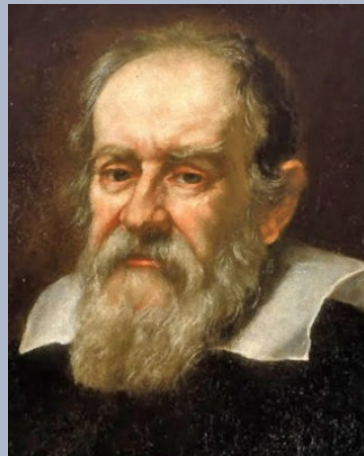
*↓
chute libre.*

↳ $\vec{g}_{Lune} \neq g_{Terre}$

mais $\vec{g}_{Lune} \neq \vec{0}$



Aristote IV^{ème} siècle



Galilée (1564-1642)



2.1 La méthode scientifique

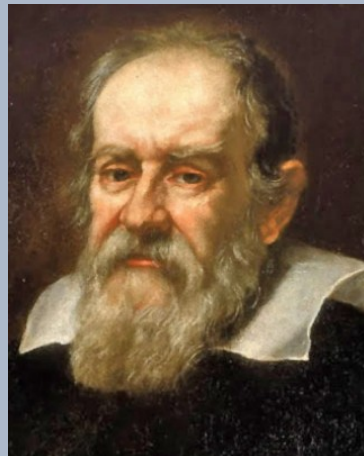
Expériences et mesures

Dans le *vide* Galilée propose que *tous les objets tomberaient à la même vitesse.*

Galilée formule la *loi de la chute des corps*

$$H = g \cdot t^2$$

D'autres questions opposent Aristote et Galilée, comme *la cause de la chute et la forme de la trajectoire.*



Galilée (1564-1642)



2.1 La méthode scientifique

Expériences et mesures

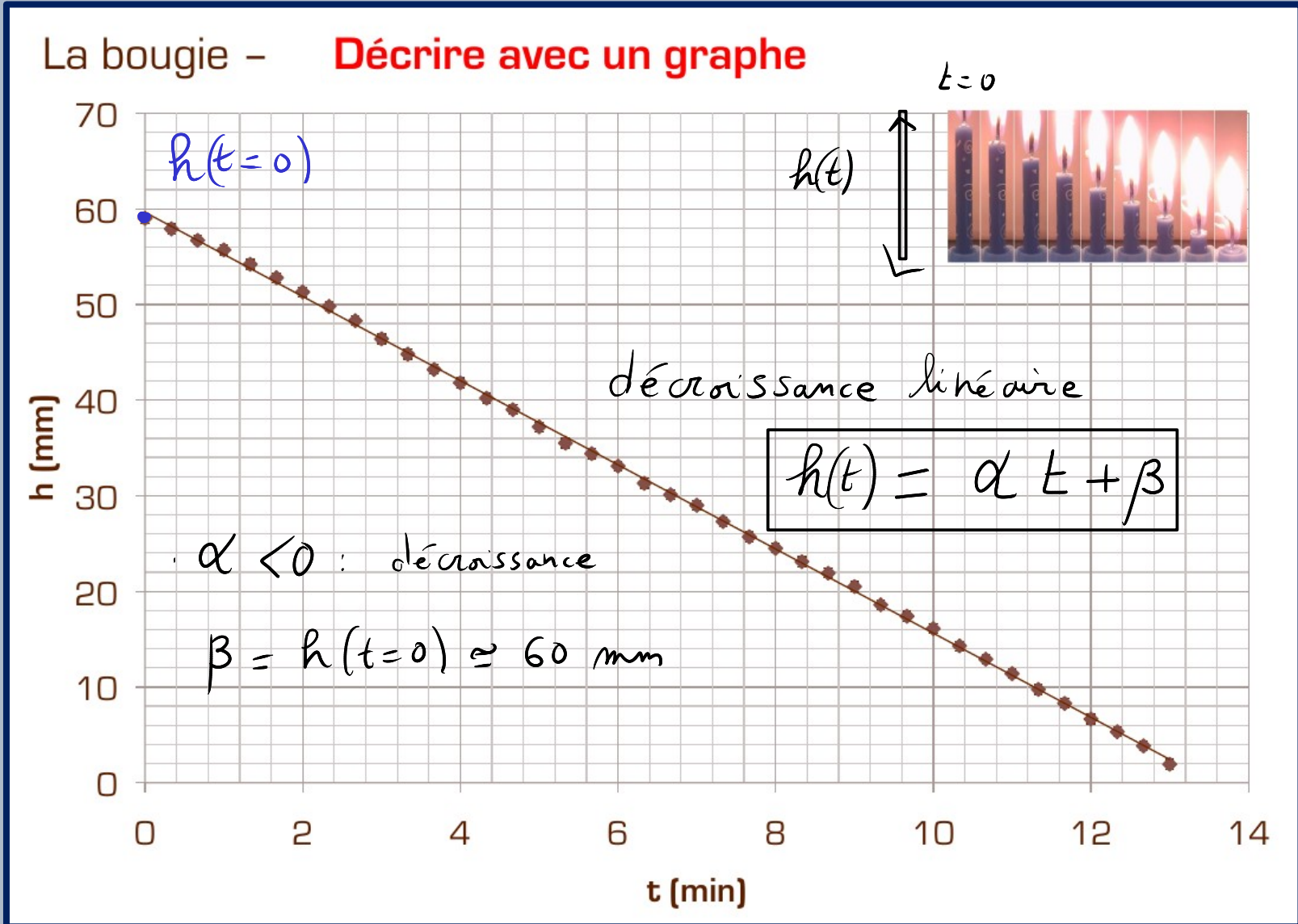
[2]



2.1 La méthode scientifique

Expériences et mesures

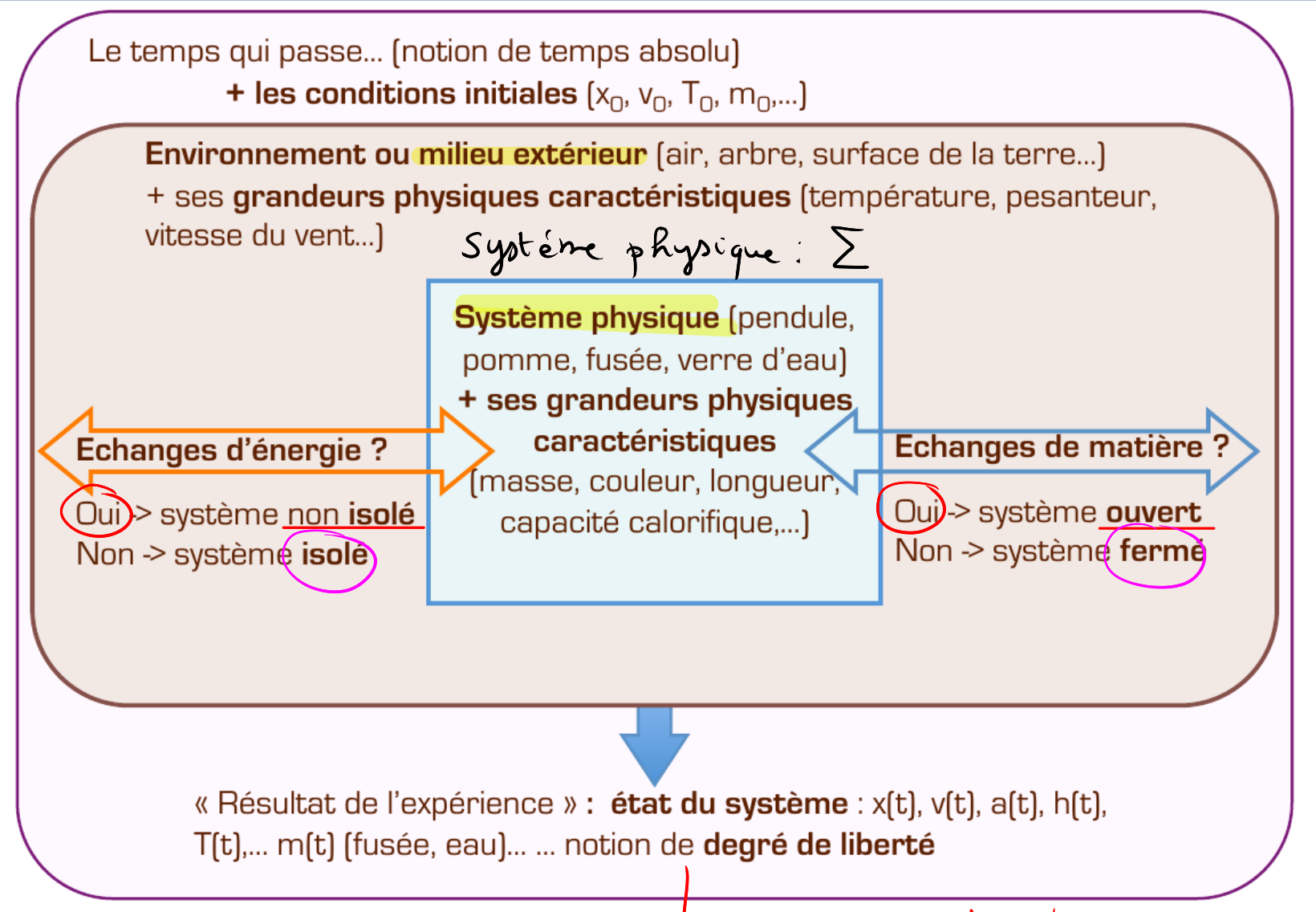
[2]



2.1 La méthode scientifique

Expériences et mesures

[2]



L'> nombre de degré de liberté

2.1 La méthode scientifique

Expériences et mesures

[2]

dans la plupart des cas, cette année...

loi d'évolution

équation différentielle

1. Linéaire :

$$Q(t) = Q_0 + k t$$

$$dQ(t)/dt = k$$

exemples : remplissage d'un récipient à section constante avec un débit constant, bougie cylindrique, évaporation d'un verre d'eau,...

(pendule)
2. Sinusoïdale :

$$Q(t) = Q_0 \sin(\omega t + \phi)$$

$$\frac{dQ}{dt} = +\omega Q_0 \cos(\omega t + \phi)$$

exemples : pendule, ressort, son, courant alterné, mouvement circulaire (projection)...

3. Exponentielle :

$$Q(t) = Q_0 \exp(kt)$$

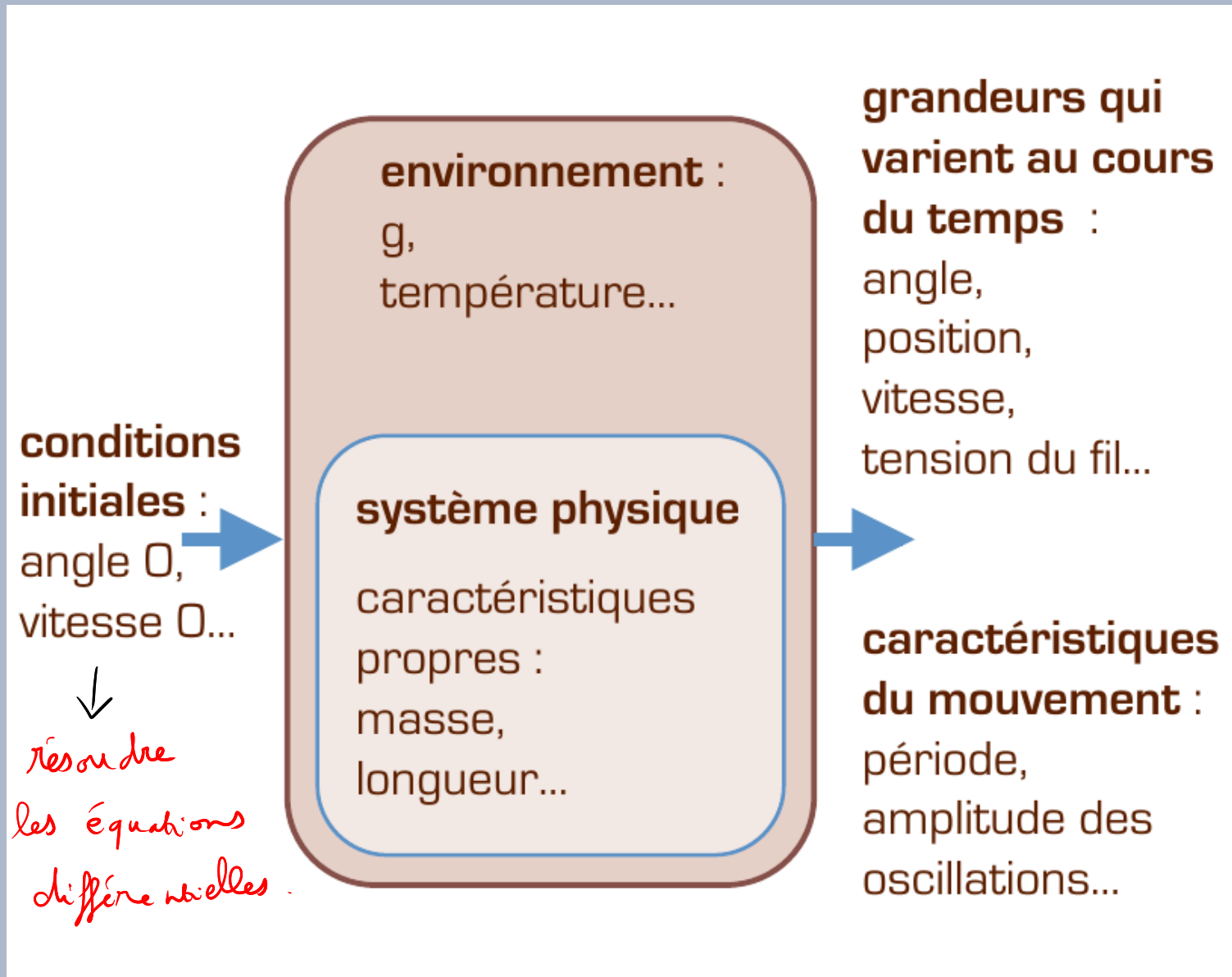
$$dQ(t)/dt = k Q_0 e^{kt} = k Q(t)$$

exemples : refroidissement de l'eau, désintégration radioactive, mousse de bière, population de bactéries, réaction en chaîne...

2.1 La méthode scientifique

Expériences et mesures

[2]



Dimensions

- Par convention, toutes les grandeurs sont organisées selon un système de dimensions. Chacune des *sept grandeurs de base* a sa *propre dimension*, représentée symboliquement par une **lettre majuscule**.

Grandeur de base	Symbole de la dimension
Longueur	L
Masse	M
Temps	T
Courant électrique	I
température	Θ
Quantité de matière	N
Intensité lumineuse	J

Dimensions

- Toutes les autres grandeurs sont des grandeurs dérivées. Les dimensions des grandeurs dérivées se déterminent à partir des *dimensions des 7 grandeurs de base et des équations de la physique*.
- La dimension d'une grandeur G se note entre crochets : [G].
Si $[G]=1$, la grandeur G est *sans dimension*
- Déterminer l'**unité** de n'importe quelle grandeur simplement à partir de sa dimension.

Dimensions

[2]

grandeur	symbole, nm (notre choix)	unités	dimensions
masse	m	kg (g, u...)	M
longueur	L	m (cm, angström, année-lumière...)	L
période	T	s (min, h,...)	T
fréquence	f	s ⁻¹ , Hz (min ⁻¹ ...)	T ⁻¹
angle initial	α_0	rad (deg)	« Sans dimension » : « de dimension 1 »
vitesse initiale	v ₀	m/s, km/h, cm.Hz	LT ⁻¹
accélération pesanteur	g		
température	θ		
tension du fil	F _T		

Dimensions

[2]

Grandeur de base	Dimension	Unité de base (S.I)	
		Nom	Symbole
Longueur	L	mètre	m
Masse	M	kilogramme	kg
Temps	T	seconde	s
Courant électrique	I	ampère	A
Température thermodynamique	θ	kelvin	K
Quantité de matière	N	mole	mol
Intensité lumineuse	J	candela	cd

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

Histoire et évolution du système international d'unités

Fin 18^{ème} siècle (Révolution française), un système métrique décimal voit le jour avec comme premières grandeurs de base (et unités) :

- la longueur (le mètre),
- la masse (le kilogramme),
- le temps (la seconde).

- la longueur (en mètre)



- La masse (en kilogramme)



[https://www.ladepeche.fr/article/2012/03/21/1311673-regime-draconien-pour-tro-
elephants-d-un-cirque-suisse-en-surpoids.html](https://www.ladepeche.fr/article/2012/03/21/1311673-regime-draconien-pour-tro-elephants-d-un-cirque-suisse-en-surpoids.html)

- Le temps (en seconde)



[https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/neurosciences/les-neurones-du-temps-qui-pas-
se-15194.php](https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/neurosciences/les-neurones-du-temps-qui-pas-se-15194.php)

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

Histoire et évolution du système international d'unités

Le système métrique décimal doit être complété pour plusieurs raisons:

- nouvelles instrumentations,
- nouvelles machines créées pour pallier les besoins relatifs aux évolutions industrielles.
- Le développement de l'industrie électrique,
- l'apparition de l'éclairage,
- le développement des machines à vapeur, et d'autres nécessités métrologiques.

En 1948 une enquête est demandée par la **CGPM*** sur trois domaines d'activité (photométrie, électricité et température). Il en résulte que :

- L'ampère est ajouté en 1948. La candela et le kelvin sont introduits en 1954 (10^{ème} CGPM).
- En 1960 (11^{ème} CGPM), le système de mesure est renommé : **le Système international d'unités (SI)**. Introduction d'une septième unité, la mole (14^{ème} CGPM en 1971, chimie).



Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

Histoire et évolution du système international d'unités

À ce jour, le système international d'unités, SI, est donc constitué de sept unités de base adoptées au niveau international par la **CGPM** :

- le mètre (m),
- le kilogramme (kg),
- la seconde (s),
- l'ampère (A),
- le kelvin (K),
- la candela (cd)
- et la mole (mol).



Grandeur de base	Unité de base	Symbole
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps	seconde	s
Courant électrique	ampère	A
Température	kelvin	$^{\circ}K$
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

$$1^{\circ}C : T(^{\circ}C) = T^{\circ}(K) - 273^{\circ}C$$

Utilisées par tous au quotidien, elles sont essentielles dans la science, dans l'industrie et la vie courante.

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

- En physique, mesurer revient à déterminer le rapport entre deux quantités de même nature dont l'une – supposée constante – fait **office d'étalon ou d'unité.**
- Premiers étalons pratiques basés sur le corps humain : mesurer en pieds, en pouces ou en coudées, la distance entre deux objets.
- Problème : si tout le monde a un pied, tout le monde n'a pas la même pointure... → Étalons anthropomorphiques
- Avec l'essor des sciences et des échanges internationaux: besoin d'unités plus précises et plus universelles.
- Pour rendre fiables et comparables les mesures (et faciliter les échanges) , il faut assurer un minimum de constance...

Le système métrique doit reposer sur des constantes physiques d'où la nécessité d'une **redéfinition de 4 unités de mesure sur les 7 du SI.**

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

« Un système d'unités est une construction humaine et les définitions du Système international se sont donc à l'origine appuyées sur la physique classique. Les changements successifs de définition ont découlé de la volonté d'utiliser des mesures plus stables et plus fondamentales, accompagnant ainsi les progrès de la physique »

Jean-Philippe Uzan, physicien à l'Institut d'astrophysique de Paris

Sphère de Silicium

↓
Méca. Quant.



Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

<https://www.lne.fr/fr/comprendre/systeme-international-unites/>

Sept constantes pour tout mesurer

Le futur SI sera le système d'unités selon lequel les valeurs des sept constantes physiques suivantes seront fixées exactement. Les unités hertz (Hz), joule (J), coulomb (C), lumen (lm) et watt (W) sont reliées aux unités seconde (s), mètre (m), kilogramme (kg) ampère (A), kelvin (K), mole (mol) et candela (cd) représentées ici :

lm :
lumen

K_{cd}

L'efficacité lumineuse d'un rayonnement monochromatique

de fréquence 540×10^{12} Hz est fixée et strictement égale à 683 lm/W
(ou $\text{lm}\cdot\text{s}^3/\text{m}^2\cdot\text{kg}$ en unités de base)

h

La constante de Planck

est fixée et strictement égale à $6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
(ou $\text{m}^2\cdot\text{kg}/\text{s}$ en unités de base)

c

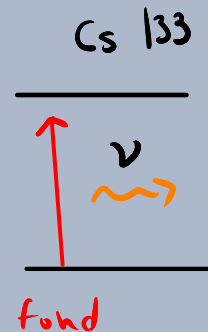
La vitesse de la lumière dans le vide

est fixée et strictement égale à $299\,792\,458 \text{ m/s}$

$\Delta\nu_{Cs}$

La fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé

est fixée et strictement égale à $9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$



N_A

La constante d'Avogadro

est fixée et strictement égale à $6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

N_A

k

La constante de Boltzman

est fixée et strictement égale à $1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
(ou $\text{m}^2\cdot\text{kg}/\text{s}^2\cdot\text{K}$ en unités de base)

k_B

e

La charge élémentaire

est fixée et strictement égale à $1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$
(ou A.s en unité de base)

e^-

* Constantes dont les valeurs n'étaient pas fixées avant 2017.

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

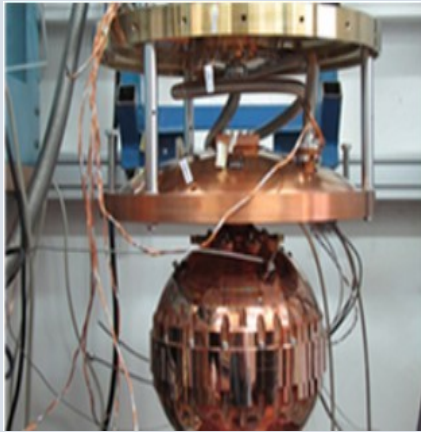
Sur les 7 unités du SI, **4** unités ont ainsi fait l'objet d'une redéfinition en 2018 (26ème CGPM) :

1 Définition du kelvin

par rapport à la constante de Boltzmann:

$$*k_B = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

Expérience :
Résonateur
acoustique*



$$*k_B N_A = R$$

Avec $R=8.31$ USI.

C'est la constante des gaz parfaits.

*Vous trouverez des informations concernant les expériences permettant la mesure des constantes en regardant les liens fournis en fin de présentation.

2 Définition de l'ampère

par rapport à la charge élémentaire:

$$e = 1.602\,176\,643 \times 10^{-19} \text{ C}$$

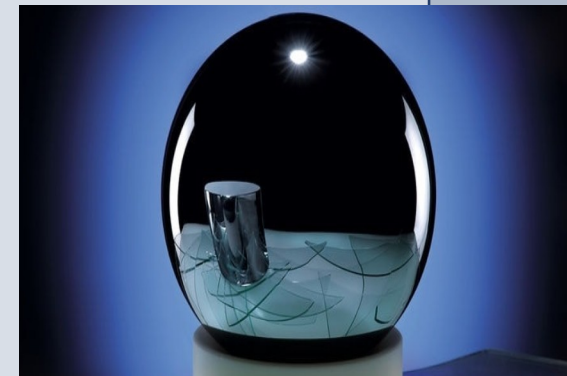
Expérience : réseau de
Hall pour générateur
quantique*

3 Définition de la mole

par rapport à la constante d'Avogadro:

$$N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Expérience:
Sphère de
silicium*



Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

4 Définition du kilogramme

Depuis 1889: l'unité de masse était définie par un cylindre de platine iridié conservé au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres.

L'IPK (International Prototype of Kilogram) est gardé en sécurité, dans un caveau, sous trois cloches de verre : sa masse est par définition exactement égale à 1 kg.



Étalon national du kilogramme conservé au LNE

Redéfinition du kilogramme (novembre 2018)

Le kilogramme, kg, est l'unité de masse.

Sa valeur est définie en fixant la valeur de la constant de Planck, h, qui vaut exactement :

$$E = h \nu$$

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

Définition du kilogramme

Depuis 1889: l'unité de masse était définie par un cylindre de platine iridié conservé au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres.

L'IPK (International Prototype of Kilogram) est gardé en sécurité, dans un caveau, sous trois cloches de verre : sa masse est par définition exactement égale à 1 kg.



Redéfinition du kilogramme (novembre 2018)

Le kilogramme, kg, est l'unité de masse.

Sa valeur est définie en fixant la valeur de la constante de Planck h qui vaut exactement :

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Pour définir l'unité de masse, il faut définir très précisément la constante de Planck... par l'expérience de la balance de Watt...

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

Définition du kilogramme

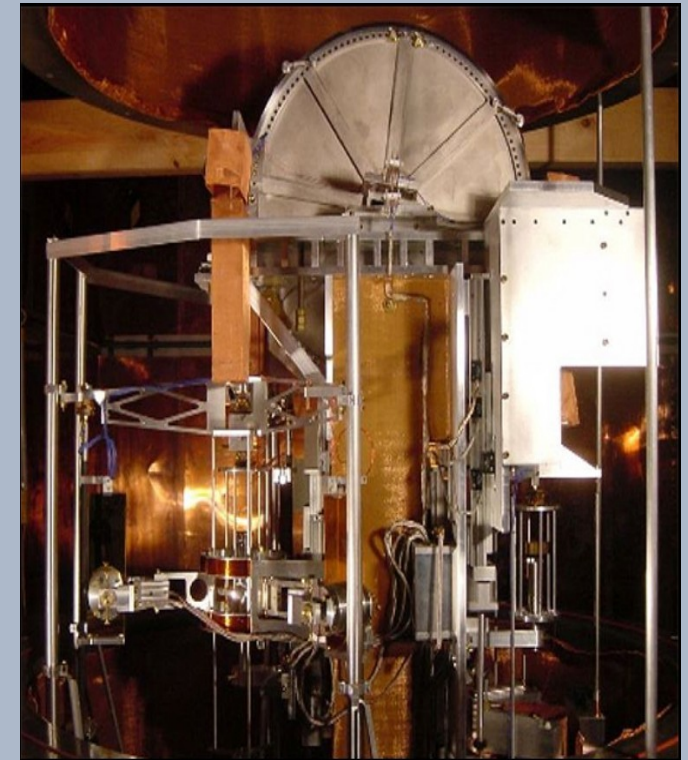
Expérience de la balance du Watt (ou balance de Kibble)

Pour mesurer la constante de Planck, les chercheurs ont utilisé une balance de Kibble qui compare des puissances électrique et mécanique.

Son principe : une balance dont l'un des bras supporte une masse et l'autre est relié à une bobine placée dans un champ magnétique.

Par une mesure en deux temps, il est possible de relier cette masse (en kg), à une tension aux bornes de la bobine et un courant y circulant.

Le lien avec la constante de Planck se fait via des phénomènes quantiques (effets Josephson et Hall quantique) impliquant cette tension et ce courant.



Balance de Kibble du [National Institute of Standards and Technology](#). Photo by Richard Steiner (Original téléversé par [Greg L](#) sur [Wikipédia anglais](#).)

Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

Et ce n'est pas fini...

Les technologies étant sans cesse en évolution, la précision au niveau de la mesure s'améliore au fil des années.

Cela devrait aboutir, dans les prochaines années, à une nouvelle définition de la seconde et de la candela.

Pour redéfinir la **seconde**, une des pistes étudiées : **utilisation de l'horloge optique.**



Analyse dimensionnelle

[2]

une grandeur physique \leftrightarrow *une dimension* \leftrightarrow *une unité*
expression en fonction des grandeurs physiques de base
on compare grandeurs de même dimension

Quatre intérêts :

- Vérifier l'homogénéité d'une formule et repérer les erreurs.
- Rechercher les dimensions d'une grandeur inconnue.
- Identifier une grandeur caractéristique d'un système.
- Déterminer la loi qui exprime une grandeur en fonction d'autres grandeurs : « analyse dimensionnelle » .

Analyse dimensionnelle

grandeur	dimension	Unité (SI)	Autre nom
Force	$M.L.T^{-2}$	$kg.m.s^{-2}$	Newton (N)
Fréquence	T^{-1}	s^{-1}	Hertz (Hz)
$[Pression] = \frac{[F]}{[s]}$	$M.L^{-1}.T^{-2}$	$kg.m^{-1}.s^{-1}$	Pascal (Pa)
Energie	$M.L^2.T^{-2}$	$kg.m^2.s^{-2}$	Joule (J)
Puissance	$M.L^2.T^{-3}$	$kg.m^2.s^{-3}$	Watt (W)
Charge électrique	$I.T$	A.s	Coulomb (C)
Tension électrique	$M.L^2.T^{-3}.I^{-1}$	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-1}$	Volt (V)
Résistance électrique	$M.L^2.T^{-3}.I^{-2}$	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}$	Ohm (Ω)



$$I = \frac{dQ}{dt}$$

↔

Analyse dimensionnelle - Exemples

Khan Academy :

[Présentation de l'analyse dimensionnelle](#)

Exemple 1 :

on cherche à déterminer la dimension d'une vitesse V .

Analyse dimensionnelle - Exemples

Exemple 2 :

Déterminer l'unité d'une force \mathbf{F} dans le Système

international, on détermine sa dimension $[F]$ à l'aide d'une

équation de la physique : $\mathbf{P=m.g}$.

Analyse dimensionnelle - Exemples

Exemple 3 :

Vérifier l'homogénéité de la formule suivante :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{R^3}{G \cdot M}}$$

avec T, période de révolution d'une planète, G, constante de gravitation universelle, R, rayon de l'orbite circulaire, M, masse de l'astre attracteur.

- [1] Polycopié de cours
- [2] [Maria Barbi - 1P001 Concepts et Methodes de la Physique - groupes MIPI](#)
- [3] Wikipédia
- [4] [Encyclopédie Universalis](#)
- [5] David Sénéchal - [« Histoire des sciences » PHQ399](#) Université de Sherbrooke, QC
- [6] pour la suite : [Khan Academy](#) , [Unisciel](#) etc.
- [7] Transparents de Lucie Desplat (Pau)
- [8] Playlist « Panorama sur la Physique » :
https://www.youtube.com/playlist?list=PLjo5Br6lsjzt-sBwfAfqdydnJsX_N_2dt

Références

- Laboratoire national de métrologie et d'essais LNE, <https://www.lne.fr/fr/comprendre/systeme-international-unites/>
- https://www.bipm.org/utils/fr/pdf/24_CGPM_Resolution_1.pdf
- <https://www.bipm.org/utils/en/pdf/si-revised-brochure/Draft-SI-Brochure-2018.pdf>
- <https://www.bipm.org/fr/measurement-units/>
- <https://lejournel.cnrs.fr/articles/ces-constantes-qui-donnent-la-mesure>