

# Panorama sur la physique

Informations supplémentaires sur le Système International d'unités



PRE-ING1 2020/2021

# Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

## Histoire et évolution du système international d'unités

Fin 18<sup>ème</sup> 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-trois-elephants-d-un-cirque-suisse-en-surpoids.html>

- Le temps (en seconde)



<https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/neurosciences/les-neurones-du-temps-qui-passe-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<sup>ème</sup> CGPM).
- En 1960 (11<sup>ème</sup> CGPM), le système de mesure est renommé : **le Système international d'unités (SI)**. Introduction d'une septième unité, la mole (14<sup>ème</sup> 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, le 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	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

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

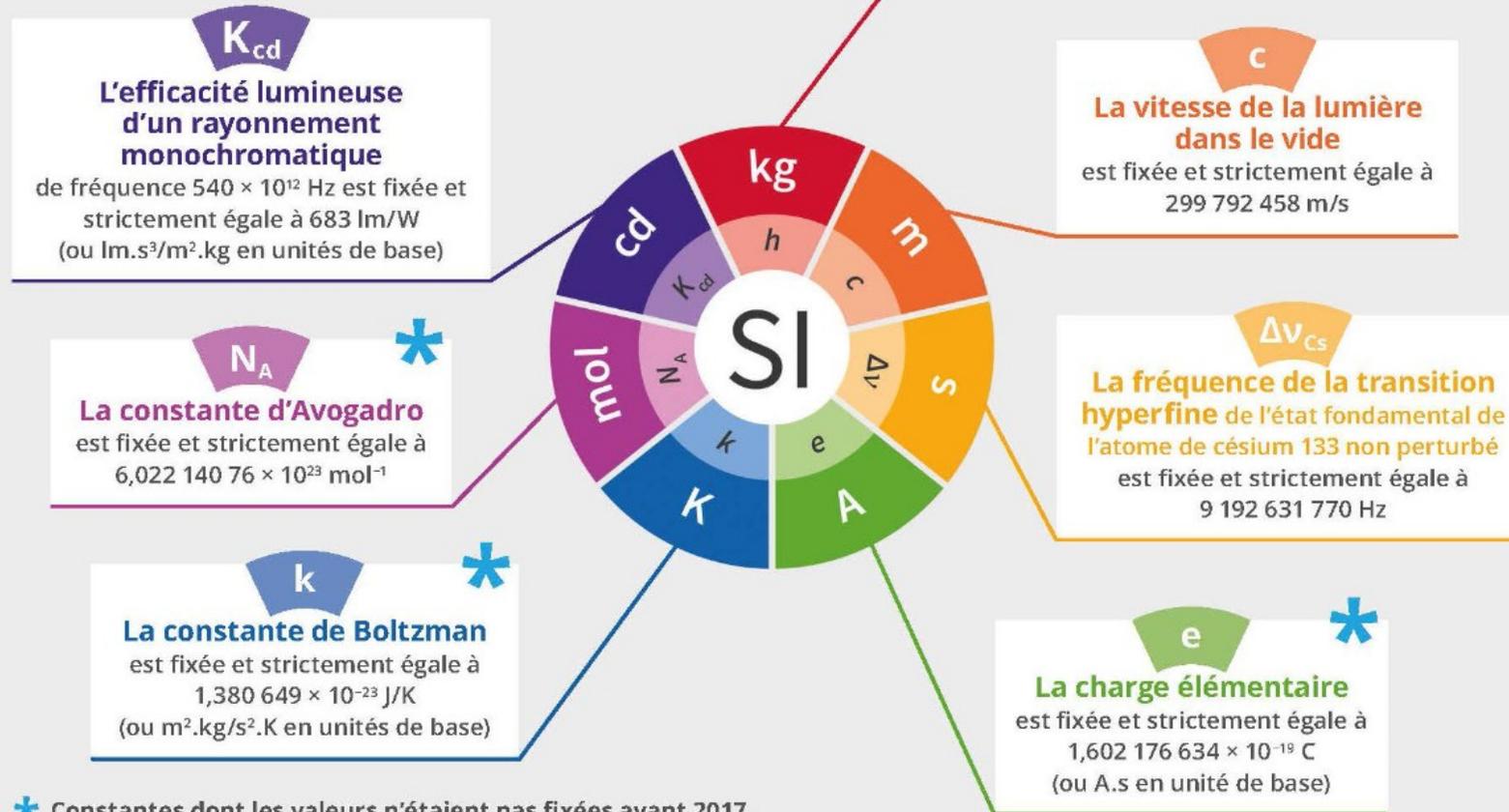


Sphère de Silicium

# Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

## 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 :



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

# Informations supplémentaires sur le Système international d'unités

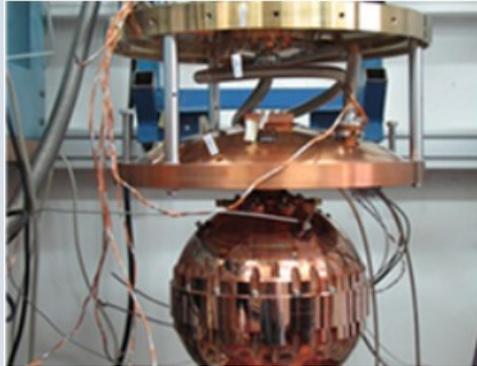
Sur les 7 unités du SI, **4** unités ont ainsi fait l'objet d'une redéfinition en 2018 (26ème CGPM) :

## **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  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

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:

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

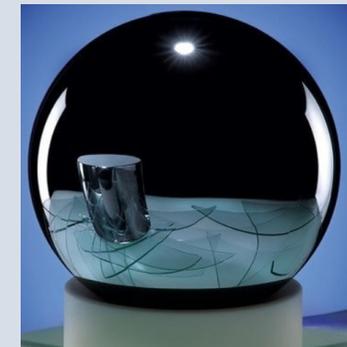
Expérience : réseau de  
Hall pour générateur  
quantique\*

## **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)

### 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 :

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

# 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.



Étalon national du kilogramme conservé au LNE

### Redéfinition du kilogramme (novembre 2018)

### Redéfinition du kilogramme (novembre 2018)

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

Sa valeur est définie en fixant la valeur de la constante  $h$ , 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

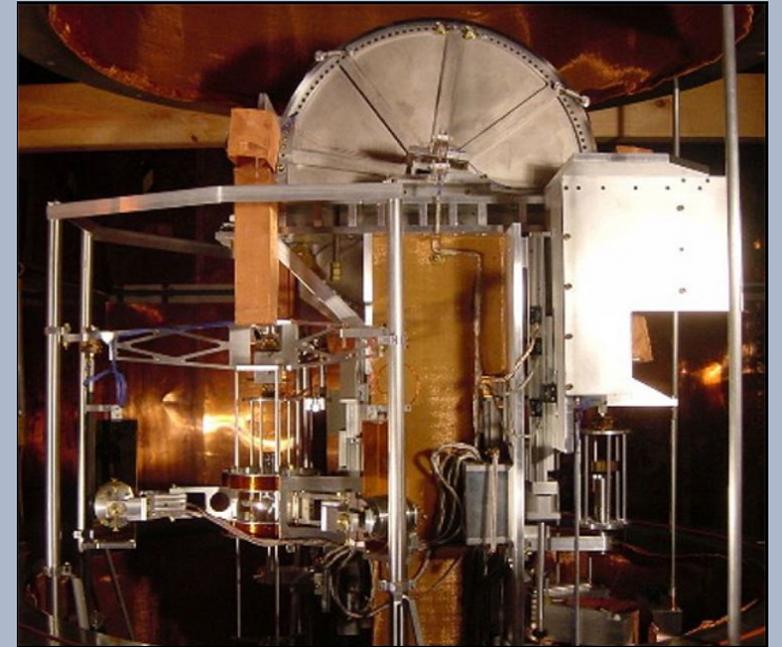
### Expérience de la balance du watt (ou balance de Kibble)

**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.



# Références

- Laboratoire national de métrologie et d'essais LNE, <https://www.lne.fr/fr/comprendre/systeme-international-unites/>
- [https://www.bipm.org/utis/fr/pdf/24\\_CGPM\\_Resolution\\_1.pdf](https://www.bipm.org/utis/fr/pdf/24_CGPM_Resolution_1.pdf)
- <https://www.bipm.org/utis/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>