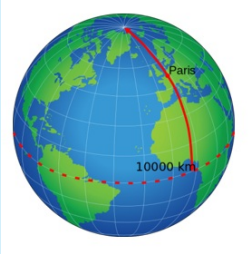
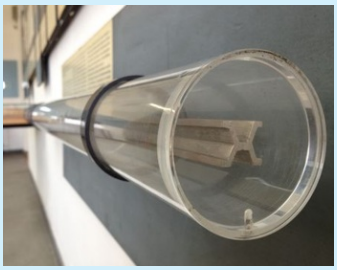
Les unités en physique
Tout est quantique depuis 2019 !

Les trois unités fondamentales essentielles

• **La seconde :** avant 1967, elle était définie comme la 86 400e partie du jour solaire (soit 24 h x 3600 s / h, définition astronomique), mais ce dernier n'est pas tout à fait stable dans le temps et il a fallu abandonner cette définition, même si entre temps on avait fixé la référence à l'année tropique 1900. Depuis 1968, elle se définit de manière à la fois plus exacte et plus stable à l'aide d'une horloge atomique à césium 133, plus précisément : la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé est fixée à $\Delta\nu_{Cs} = 9\,192\,631\,770$ Hz où le hertz est l'unité de fréquence, inverse de la seconde.

• **Le mètre :** en 1795, le mètre est défini comme la 10 000 000e partie du quart du méridien terrestre (du pôle nord à l'équateur, image ci-contre) avec fabrication d'un mètre étalon en platine à bouts. En 1875 la Convention du mètre, prévoit le remplacement de la définition par un prototype, en alliage de platine et d'iridium, réalisé en 1889 (photo ci-dessous). Mais celui-ci n'est pas assez accessible pour permettre des mesures comparatives précises sans en même temps en altérer irrémédiablement ses propriétés physiques et, surtout, sa pérennité pose problème. En 1983, la valeur numérique de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide a été fixée à $c = 299\,792\,458$ m.s^{-1} : le mètre est depuis défini par la seconde comme la longueur du trajet parcouru par la lumière dans le vide en 1 / 299 792 458 s.





• **Le kilogramme :** une matérialisation de la définition du kilogramme issue de la Révolution française, fabriquée en 1799, possède une masse égale à celle de 1 L d'eau pure au maximum de densité de celle-ci, soit vers 4°C (en fait, on sait aujourd'hui qu'il s'agit plutôt de 1,000 025 L). Le prototype international du kilogramme de 1889 (photo ci-dessous, sous trois cloches à atmosphère contrôlable) est constitué d'un alliage en masse de 90 % de platine et 10 % d'iridium (le cylindre fait 39,17 mm à la fois de hauteur et de diamètre). Mais sa masse fluctue d'environ 50 µg par siècle, ce qui devient incompatible avec les exigences scientifiques actuelles...



Depuis 2019 le kilogramme est défini à partir de la fixation d'une valeur numérique donnée pour la constante de Planck en unité SI d'action :
$h = 6{,}626\,070\,15.10^{-34}$ kg.m^2.s^{-1}.

Alors le kilogramme correspond à α fois $h\Delta\nu_{Cs}/c^2$, la masse équivalente à l'énergie ondulatoire d'un photon absorbé par le césium 133 dans la définition de la seconde : $\alpha = 1{,}475\,521\,4.10^{40}$.

Depuis le 20 mai 2019, où le Bureau international des poids et mesures a statué, les trois unités ont en commun de s'appuyer sur la relativité (vitesse de la lumière) et encore davantage sur la mécanique quantique (l'atome de césium 133) et sont définies à partir de valeurs fixées de certaines constantes de la nature. À partir de ces trois unités fondamentales, m, s et kg, on peut en obtenir d'autres, par exemple celui de la force, le newton (1 N = kg.m.s^{-2}) ou de l'énergie, le joule (1 J = kg.m^2.s^{-2}).

Les quatre autres unités fondamentales

• Avant 2019, **l'ampère**, qui mesure l'intensité du courant électrique, était défini à partir de la force magnétique exercée entre deux conducteurs parallèles parcourus par un courant électrique. Elle dépendait donc d'un dispositif expérimental particulier d'une précision finie. L'ampère est à présent défini par la charge élémentaire (celle du proton ou l'opposée de celle de l'électron) fixée exactement depuis 2019 à la valeur $e = 1{,}602\,176\,634.10^{-19}$ C exprimée en coulomb. Et comme 1 C = 1 A x 1 s, on en déduit qu'un ampère correspond au passage d'environ $6{,}242.10^{18}$ charges élémentaires par seconde à travers une section de conducteur.

• De même, **le kelvin** (unité de température thermodynamique) s'appuie-t-il depuis 2019 sur l'assignation d'une valeur numérique fixée à la constante de Boltzmann : $k_B = 1{,}380\,649.10^{-23}$ J.K^{-1}. Le kelvin est alors bien défini par la relation $E = k_B T$ qui relie la température à l'énergie thermique des particules.

• **La candela**, utilisée en photométrie, a été définie en 1979 comme étant l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540.10^{12} Hz (soit une longueur d'onde de 555 nm, au maximum de sensibilité de l'œil humain), et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.

• **La mole**, est la quantité de matière contenant $6{,}022\,140\,76.10^{23}$ entités microscopiques (atomes, molécules, ions, électrons, etc.), ce nombre est appelé nombre d'Avogadro.

Les unités définies de cette nouvelle manière deviennent alors universelles, indépendantes d'un prototype ou d'une expérience particulière, et reposent sur des constantes fondamentales de la nature dont les valeurs numériques ont été définitivement fixées ! Les mesures peuvent désormais être réalisées partout sur Terre, et au-delà.

Christian Garing est agrégé et docteur en physique, ancien professeur en classe préparatoire au lycée Thiers à Marseille.