

# UNE FORMULE CÉLÈBRE

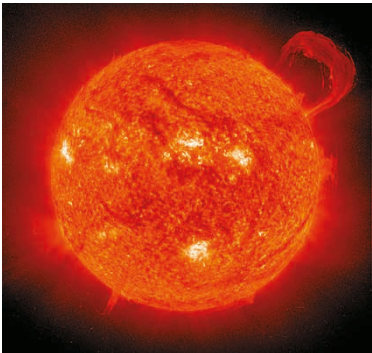
## $E = Mc^2$

L'équation  $E = Mc^2$  est la formule la plus connue au monde. Cette popularité due à sa simplicité et à la personnalité de son auteur, Albert Einstein, a trouvé un écho auprès des physiciens qui n'ont eu de cesse depuis un siècle que d'exploiter cette relation et ses conséquences.

Le Soleil met  
en pratique  
 $E = Mc^2$

Dans le Soleil, 620 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées en 615 millions de tonnes d'hélium à chaque seconde. La différence de masse est émise sous forme d'énergie.

En septembre 1905, Albert Einstein, alors âgé de 26 ans, rédige un document de seulement trois pages contenant l'équation  $E = Mc^2$ . Cet article se présente comme un prolongement de la théorie de la relativité que le même Einstein vient tout juste de publier. Il y démontre qu'un corps émettant des ondes électromagnétiques perd nécessairement de la masse. Le jeune homme attribue à ce résultat une portée universelle : la masse d'un corps est une mesure de son contenu en énergie. En conséquence, s'il perd de l'énergie (sous n'importe quelle forme, électromagnétique ou autre), il perd aussi de la masse.



Tout corps massif, même au repos, se voit ainsi doté d'une « énergie de masse »  $E$ , c'est-à-dire d'une énergie qu'il doit au seul fait d'avoir une masse  $M$ . Ces deux quantités sont reliées par l'équation  $E = Mc^2$  où  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide, une constante qui vaut exactement 299 792 458 mètres par seconde. Le facteur de conversion masse vers énergie est donc gigantesque : presque dix millions de milliards dans le système international d'unités. Cette observation explique pourquoi l'énergie contenue dans la masse d'un corps nous est en général cachée.

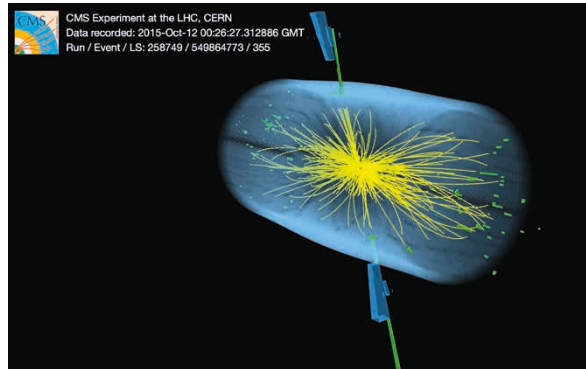
Prenons par exemple une lampe basse consommation de 11 watts ; relier-la à une batterie et supposons que l'ensemble fonctionne sans interruption pendant mille ans. Et bien, ce système n'aura perdu au final que quelques microgrammes, soit une variation minime par rapport à sa masse de départ.

Mais alors, comment la formule d'Einstein a-t-elle pu devenir le symbole de la physique du XX<sup>e</sup> siècle ? Cela vient du fait que, depuis 1905, les physiciens sont parvenus à explorer, et parfois à exploiter de façon industrielle, des situations dans lesquelles les transformations masse  $\rightarrow$  énergie ou énergie  $\rightarrow$  masse ont des effets tangibles.

Commençons par transformer de la masse en énergie. Lorsqu'un noyau lourd d'uranium-235 est percuté par un neutron, il fissionne et se fragmente en deux noyaux, collectivement plus légers que le noyau de départ. Cette perte de masse se traduit par une libération très importante d'énergie (à masse égale, l'émission est un million de fois plus importante que dans le cas du charbon). Dans les centrales nucléaires, l'énergie est récupérée sous forme de chaleur dont une partie est convertie en énergie électrique.

La fusion de deux noyaux légers en un noyau unique aboutit au même résultat : la masse « perdue » est convertie en énergie. C'est cette réaction qui fait briller les étoiles. Ainsi, notre Soleil transforme chaque seconde 620 millions de tonnes d'hydrogène en 615 millions de tonnes d'hélium, rayonnant vers l'extérieur la différence. Nous ne recevons qu'une très faible partie de cette énergie colossale mais elle est à l'origine de la vie sur Terre.

Enfin, il existe également des situations dans lesquelles c'est l'énergie qui se transforme en masse, et non l'inverse. Songeons aux chocs très violents que subissent les particules au sein des collisionneurs utilisés par les physiciens pour sonder la structure de la matière. Presque toute l'énergie des particules qui entrent en collision est convertie en masse, c'est-à-dire en d'autres particules qui traversent ensuite des détecteurs dans lesquels elles sont étudiées.



### Collision très énergétique dans CMS

Dans une collision de particules à haute énergie, la masse n'est pas conservée et les particules produites ne sont pas seulement des fragments des particules incidentes. Elles proviennent aussi de la conversion de l'énergie de la collision. Sur cette image en trois dimensions, la partie centrale du détecteur CMS du LHC est simplement figurée (surface bleutée). Chaque trace jaune courbée matérialise une particule chargée. Les barres vertes indiquent deux directions privilégiées pour ces particules, associées à des dépôts d'énergie dans le détecteur, représentés par les blocs bleus et verts. Les deux « jets » de particules visibles ont une énergie d'environ 3 TeV chacun.