



Dans les centrales hydroélectriques, la vitesse de rotation du moteur recevant la chute d'eau est le plus souvent inférieure à celle des génératrices électriques standard, prévues pour être entraînées à 750, 1000 ou 1500 tours par minute. Là aussi, on résout le problème par un multiplicateur de vitesse à engrenages, épicycloïdal ou non.

Un record de démultiplication a été atteint pour le plaisir du défi. Le 1^{er} mars 2020, à l'occasion de sa milliardième seconde de vie, l'artiste néerlandais Daniel de Bruin a mis en marche une machine absurde de sa conception réalisant une démultiplication de 10^{100} , nombre dénommé «gogol» par le mathématicien américain Edward Kasner au début du xx^e siècle et à l'origine du nom de la firme Google. Le système comporte un train d'engrenages de cent roues opérant chacune une réduction de vitesse d'un facteur 10. Il faut donc que la première roue effectue 10^{100} tours pour que la dernière en fasse un. À raison par exemple de 1000 tours par seconde pour la première, il faut donc attendre $3,18 \times 10^{80}$ milliards d'années pour que la dernière en fasse un, ce qui est beaucoup plus que l'âge de l'Univers... et sans doute largement suffisant pour user totalement la première roue et mettre le dispositif en panne!

LES ENGRENAGES DE L'EXTRÊME

D'autres records concernent la taille des engrenages. On trouve mention de ce qui serait le plus grand engrenage du monde dans le journal bimensuel *Gear Technology* (oui, cela existe!) qui, dans son numéro de mars-avril 2013, montre la photo d'un engrenage utilisé en Chine de diamètre 13,2 mètres pesant 73,5 tonnes (voir la photo ci-dessus à gauche). Les grandes roues d'observation des parcs d'attractions auraient pu battre ce record, mais ce n'est pas le cas, car pour s'élever au-dessus

La plus grande roue dentée a été construite pour une mine de cuivre en Chine (à gauche). Son diamètre est de 13,2 mètres et elle pèse 73,5 tonnes. Les plus petits engrenages fonctionnels mesurent quelques dizaines de micromètres (à droite). Leurs roues dentées sont produites par des procédés de gravures utilisés dans l'industrie des microprocesseurs. Elles sont utilisées dans la conception de systèmes microélectromécaniques (MEMS, en anglais), des mécanismes micrométriques aux applications multiples dans des domaines variés comme la défense, l'acoustique ou la conception de capteurs électroniques.

des villes, ces roues sont entraînées non pas par des engrenages, mais par friction.

Les plus petits engrenages sont, à l'autre extrémité du spectre, l'œuvre de chercheurs en micromécanique ou en nanosciences, qui utilisent les procédés de gravure de l'industrie des microprocesseurs pour produire des roues dentées de quelques micromètres de diamètre (voir la photo ci-dessus à droite), voire de quelques dizaines de nanomètres, mais l'idée d'aller plus loin fait son chemin. Depuis une quarantaine d'années, des chimistes explorent diverses stratégies pour fabriquer des engrenages moléculaires. Un facteur limitant étant la stabilisation des molécules à l'échelle atomique, depuis quelques années, diverses équipes tentent de fixer une des roues moléculaires sur un support.

C'est ainsi qu'en 2019, l'équipe de Christian Joachim, au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, à Toulouse, a réussi à actionner un engrenage constitué de deux roues de 1 nanomètre de diamètre à six dents. Chaque dent avait pour base une molécule de benzène, l'ensemble formant une étoile centrée sur un même cycle de benzène. À l'aide d'un microscope à effet tunnel, l'équipe a déposé l'une des deux roues sur un atome de cuivre, qui a servi de pivot, puis a approché l'autre de telle façon que les dents s'imbriquent, avant d'actionner l'ensemble. Et les chimistes rêvent à présent de nanoroues avec plus de dents ou qui s'assembleraient toutes seules en réseaux d'engrenages. On le voit, les roues dentées n'ont pas fini de nous accompagner! ■

BIBLIOGRAPHIE

T. Freeth et al., **A model of the cosmos in the ancient Greek Antikythera mechanism**, *Scientific Reports*, 2021.

Y. Gisbert et al., **Molecular gears : From solution to surfaces**, *Chemistry – A European Journal*, 2021.

H. Bruderer, **The Antikythera mechanism**, *Communications of the ACM*, avril 2020.

B. Bhushan, **Nanotribology and Nanomechanics**, Springer, 4^e édition, 2017.

M. Burrows et G. Sutton, **Interacting gears synchronize propulsive leg movements in a jumping insect**, *Science*, 2013.

T. Freeth, **L'horloge astronomique d'Antikythera**, *Pour la Science*, n° 389, 2010.

E. Bautista Paz et al., **A Brief Illustrated History of Machines and Mechanisms**, Springer, 2010.

PAS DE SUPERCAR AU GARAGE MAIS JE FAIS PARTIE DU 1%

DAVID LORRAIN

est fondateur de RecycLivre,
membre du collectif
1% for the Planet.
Chaque année,
RecycLivre reverse
1% de son chiffre d'affaires
à la protection
de l'environnement.

Rejoignez le mouvement sur
onepercentfortheplanet.fr



**FOR THE
PLANET®**

LE TEMPS EXISTE-T-IL ?

- Une sélection d'articles rédigés par des chercheurs et des experts
- Une lecture adaptée aux écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



Commandez et téléchargez
les numéros en pdf



<https://boutique.groupepourlascience.fr>

Les exosomes, des vésicules sécrétées par les cellules, peuvent avoir un fort potentiel thérapeutique. (vue d'artiste)



De nouvelles thérapies pour traiter les dommages dus à de fortes irradiations

CONTEXTE

Lors d'accidents de radiothérapie, d'accidents industriels, les personnes exposées à de fortes doses de rayonnements ionisants développent des brûlures cutanées ou des lésions intestinales particulièrement graves. Pour améliorer les traitements actuels, l'IRSN

fonde beaucoup d'espoirs sur la médecine régénérative, sur laquelle ses chercheurs travaillent depuis plus d'une vingtaine d'années avec la perspective d'un transfert clinique et d'une solution thérapeutique à grande échelle.

Cahier partenaire
réalisé avec

IRSN

www.irsnn.fr

Grâce à ses études démontrant l'efficacité de thérapies innovantes basées sur l'administration de cellules souches, l'IRSN a pu apporter un support thérapeutique à des équipes hospitalières pour soigner des patients surirradiés. Les premières cellules souches injectées, bien qu'efficaces ont vite révélé leurs limites. Une autre stratégie basée sur un type de vésicules produites par ces mêmes cellules souches, les exosomes, suscite aujourd'hui beaucoup d'espoirs. Ils révèlent un formidable potentiel thérapeutique.

En 2005, vingt-quatre personnes traitées pour un cancer de la prostate à l'hôpital public d'Épinal souffrent de rectites ou de cystites invalidantes. Il s'avère qu'ils ont été surirradiés de 20 % à 30 %. Au total, plus de 5 000 patients traités par radiothérapie dans cet hôpital entre 1987 et 2006 ont été exposés à des surdoses de rayonnements ionisants de 3 % à 30 %, consécutifs à une série de dysfonctionnements techniques et d'erreurs humaines. Cet accident de radiothérapie avec une irradiation très grave mais localisée est le plus important jamais enregistré en France. Heureusement, ce fut un cas unique.

En octobre 2006, le ministre de la Santé sollicite l'IRSN pour assister l'hôpital d'Épinal sur le suivi de plus de 425 de ces patients (1). Pour les plus sévèrement atteints, les traitements conventionnels s'avèrent insuffisants. En étroite collaboration, l'IRSN, les équipes hospitalières

du Centre de transfusion sanguines des Armées (CTSA), les hôpitaux Saint-Antoine et La Pitié-Salpêtrière ont proposé une nouvelle stratégie thérapeutique, à titre compassionnel, basée sur l'administration de cellules souches. Quatre patients ayant été surirradiés de plus de 20 % sont alors traités avec des cellules stromales mésenchymateuses (CSM) issues de la moelle osseuse. C'était une première. L'efficacité du traitement sur la douleur ainsi que sur les hémorragies a été remarquable.

L'IRSN étudie depuis plus de vingt ans l'intérêt des thérapies cellulaires pour soigner les dommages dus à des irradiations. Avec l'espoir de fournir aux hôpitaux des pistes pour soigner le plus possible de patients, y compris en cas d'irradiations affectant tout le corps. La gravité des syndromes dépend du rayonnement ionisant (rayons X, rayonnements alpha, bêta ou gamma, ou encore flux de neutrons), de la durée d'exposition, de la dose reçue et des organes touchés. La moelle osseuse est atteinte dès 1 gray (Gy)*, un niveau d'irradiation ➤