

les aromatiques, sont les plus toxiques pour les organismes marins à brève échéance (quelques semaines) ; et une très faible part se dissout dans l'eau de mer.

Deux phénomènes sont responsables de l'élimination des hydrocarbures contaminants : la photo-oxydation sous l'action du rayonnement solaire ultraviolet, et surtout la biodégradation microbienne. Lorsque le milieu est suffisamment aéré et que des éléments nutritifs sont disponibles, entre 30 et 70 pour cent des hydrocarbures restant après évaporation sont dégradés par des micro-organismes.

LES COMPOSÉS LOURDS persistent des dizaines d'années dans les sédiments.

Ces derniers, surtout des bactéries, utilisent les hydrocarbures comme source de carbone et d'énergie. La biodégradation d'une nappe de pétrole dure de quelques semaines à quelques mois, voire des années lorsque l'oxygène manque, comme dans les sédiments vaseux. Elle est plus active lorsque le pétrole se trouve sous la forme d'une émulsion fine, formée de gouttelettes dispersées dans l'eau, ce qui se produit naturellement sous l'action des vagues et des courants, ou peut être favorisée par l'emploi raisonné de dispersants.

La biodégradation des molécules est le plus souvent complète : les hydrocarbures sont alors intégralement transformés en dioxyde de carbone et en eau. Il est possible en théorie de l'accélérer en apportant aux micro-organismes un supplément d'azote et de phosphore, ou en ensemençant le milieu naturel à l'aide de bactéries sélectionnées ou génétiquement modifiées, censées dégrader plus rapidement les hydrocarbures.

En réalité, le milieu marin côtier contient généralement assez d'éléments nutritifs. Et les organismes issus du laboratoire ne parviennent jamais à s'implanter dans le milieu naturel : ils entrent en compétition avec les bactéries du site, mieux adaptées aux conditions locales. La biorestauration n'est en fait pas nécessaire. Car dans tous les milieux étudiés, une sous-population bactérienne, pré-

dominante après quelques jours en cas de marée noire, assimile progressivement tous les hydrocarbures biodégradables.

Peut-on en déduire qu'il ne reste plus trace d'une marée noire au bout de quelques années ? Non. D'une part, les composés lourds présents dans tous les pétroles ne sont pas biodégradables et persistent des dizaines d'années en profondeur, au fond des océans et dans les sédiments côtiers ; on ignore en fait s'ils sont jamais éliminés. Parmi eux, les polycycliques saturés, les résines et les asphaltènes sont en principe non toxiques ; mais il en va tout autrement des hydrocarbures aromatiques polycycliques lourds (HAP), cancérogènes.

D'autre part, lorsque le pétrole contient des molécules complexes, sa dégradation par les micro-organismes n'est pas complète. Elle produit des métabolites non dégradables dont la composition chimique et la toxicité ne sont pas connues. Eux aussi persistent dans le milieu. Aucune méthode de biorestauration ne parviendra à les dégrader.

En définitive, tous les composés persistants, qu'ils soient trop stables ou complexes pour être dégradés ou qu'ils résultent de la biodégradation, finissent enfouis dans les sédiments côtiers ou profonds, avec des conséquences inconnues.

Ajoutons que, dans le cas des marées noires provoquées par un fioul lourd, comme celles de l'*Erika* (1999) ou du *Prestige* (2002), les processus d'évaporation et de biodégradation n'éliminent que 10 à 20 pour cent de la masse. Presque tous les composés légers et moyens, dégradables, ont été enlevés lors du raffinage, et les fractions lourdes non dégradables prédominent. L'enlèvement mécanique du pétrole, dans l'eau et sur le rivage, est alors la seule parade possible.

Ainsi, même si des mécanismes naturels limitent les conséquences des marées noires, il ne faut pas surestimer les capacités d'autoépuration du milieu marin. ■

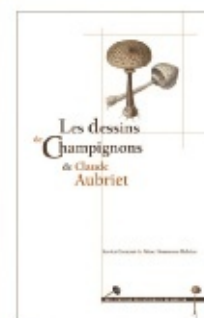
Jean OUDOT est professeur au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et travaille dans l'Unité Molécules de communication et adaptation des micro-organismes (MCAM).

- J.-P. Vandecasteele, Microbiologie pétrolière, Éditions Technip, 2005.
- www.cedre.fr



MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Les dessins de Champignons de Claude Aubriet



Xavier Carteret & Aline Hamonou-Mahieu

Les documents manuscrits de la famille des Jussieu, professeurs de botanique au jardin du Roy puis au Muséum d'histoire naturelle ont été acquis en 1858 par le Muséum après la mort d'Adrien de Jussieu. Conservés à la Bibliothèque centrale du

Muséum ils forment un fonds riche d'informations pour l'histoire des sciences, particulièrement celle du jardin et celle de la Botanique. Parmi les plus anciens, se trouve un portefeuille contenant 98 dessins de champignons, réalisés vers 1730, par Claude Aubriet sous la direction d'Antoine de Jussieu.

Claude Aubriet, peintre miniaturiste au jardin du Roy, est connu pour la réalisation des illustrations des *Eléments de botanique* que publie Joseph Pitton de Tournefort en 1694. Ces dessins sont loués pour leur précision par Carl von Linné lui-même. Les dessins de champignons par Aubriet furent exécutés à une période « clé » de l'histoire de la mycologie, puisqu'en 1729, Pier Antonio Micheli publie un ouvrage fondamental (*Nova plantarum genera*) sur la physiologie des champignons, accompagné d'excellentes gravures en noir et blanc. Les réalisations d'Aubriet, souvent soignées et fidèles aux modèles sont précieuses, car les représentations en couleurs de champignons sont rarissimes avant la fin du XVIII^e siècle. Elles témoignent en outre du regard que l'on portait alors sur ces cryptogames, qui apparaissaient bien mystérieux du point de vue de leur organisation, de leur reproduction et, pour tout dire, de leur « existence » même.

Cette publication intéressera vivement les mycologues et contribuera à faire connaître Claude Aubriet. En outre, elle souligne le rôle décisif que les illustrateurs scientifiques ont toujours joué au cours de l'histoire.

ISBN : 978-2-85653-654-4 • 330 p. • 94 € TTC

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES DU MUSÉUM

Commandes et renseignements :

Muséum national d'Histoire naturelle

Publications scientifiques

Case postale 41 • 57 rue Cuvier • 75231 Paris cedex 05

Tél. : 01 40 79 48 05 • Fax : 01 40 79 38 40

diff.pub@mnhn.fr • <http://www.mnhn.fr/pubsci>

VRAI OU FAUX

Les « décas » contiennent-ils de la caféine ?

Oui. Et si l'on y regarde de plus près, de nombreux autres produits en comportent aussi.

Mickaël NAASSILA

À la fin d'un dîner au restaurant, vous répondez souvent au serveur que vous ne voulez pas de café, ou alors « juste un déca... pour pouvoir dormir cette nuit ». Mais le café décaféiné est-il moins excitant ?

La caféine est un alcaloïde de la famille des méthylxanthines ; elle est présente dans les graines, les feuilles et les fruits de nombreuses plantes où elle agit comme un pesticide naturel, protégeant la plante de différents prédateurs. On la consomme quotidiennement sous forme d'infusions de la graine du caféier ou des feuilles du théier, et dans plusieurs aliments et boissons qui contiennent des produits dérivés de la noix de kola.

La caféine stimule les systèmes nerveux et cardio-vasculaire, diminuant ainsi la somnolence et augmentant temporairement la vigilance. Les produits naturels contenant de la caféine les plus utilisés sont le café, le thé et, dans une moindre mesure, le cacao. Les disparités constatées expérimentalement entre les différentes sources naturelles de caféine sont dues au fait que la caféine extraite de ces plantes est associée à des proportions variables d'autres molécules : des xanthines alcaloïdes, par exemple la théophylline et la théobromine, qui sont des stimulants cardiaques, et d'autres substances tels des polyphénols (ou tanins) qui forment des complexes insolubles avec la caféine et ralentissent son assimilation. Le café, par exemple, contient des traces de théophylline, mais pas de théobromine.

On fabrique le café à partir de la graine du caféier qui est infusée. La teneur en caféine du café varie beaucoup et dépend du type de grain de café et de la méthode

de préparation ; les graines issues d'un même pied peuvent avoir des différences de concentration. C'est l'infusion qui solubilise le plus la caféine. Ainsi, plus elle est longue, comme pour les cafés dits américains, plus la teneur en caféine est importante. La quantité contenue dans une tasse de café [de 25 centilitres] est d'environ 90 milligrammes pour un espresso (1/5^e de tasse) de la variété *arabica*, de 80 à 100 milligrammes pour un café soluble (instantané), de 135 milligrammes pour un café infusé et de 180 milligrammes pour du café filtré. Le café torréfié présente moins de caféine, car le fait de griller la graine diminue sa teneur en caféine.

Extraire la caféine

Il est difficile d'échapper à la caféine. Même dans les « décaféinés » : cinq à dix tasses de décaféiné procurent une quantité de caféine équivalente à celle de deux tasses de café normal. Une étude scientifique américaine a montré en 2006 que les décaféinés provenant de neuf vendeurs contenaient tous, sauf un, de la caféine, avec des concentrations allant de 8,6 à 13,9 milligrammes par tasse.

Pour fabriquer les décaféinés, on utilise une molécule qui se lie à la caféine : un solvant organique, un fluide supercritique (le dioxyde de carbone) ou de l'eau. L'extraction est réalisée sur les grains de café cru, qui sont lavés avec le solvant, puis séchés, avant d'être torréfiés. Techniquement, il est presque impossible d'extraire toute la caféine. Après extraction, le café contient au maximum 0,1 pour cent de caféine. La caféine extraite est ensuite utilisée dans les sodas ou les médicaments.

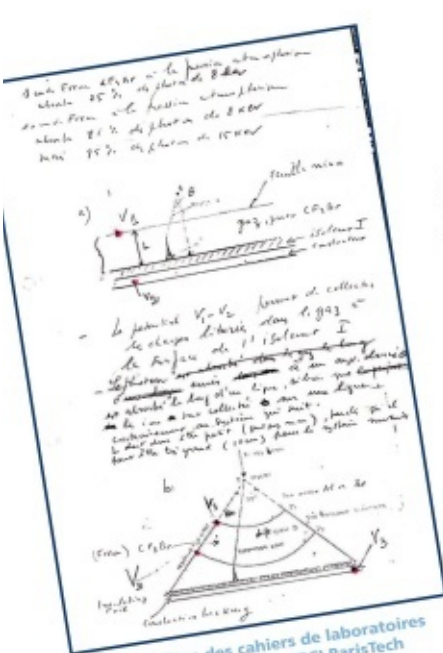


Par ailleurs, on a découvert certaines variétés de caféiers naturellement dépourvues de caféine, à cause de l'absence d'une enzyme de synthèse. Produire des décaféinés à partir de ces grains améliorerait les arômes qui sont souvent éliminés avec la caféine quand celle-ci est extraite des grains.

Le thé est une autre source de caféine, mais son effet sur l'homme est plus doux et progressif, car il contient une grande quantité de tanins qui ralentissent l'assimilation de la caféine. De plus, bien qu'à poids égal, le thé ait plus de caféine que le café, une tasse en contient moins (30 à 50 milligrammes), car le thé est souvent moins infusé.

On trouve aussi la caféine dans le chocolat, mais en faible quantité, dans certains sodas à des concentrations importantes, ou dans les boissons énergisantes en quantités très élevées. Certains médicaments en contiennent aussi, car elle agit comme un antidouleur ou accélère l'absorption de substances tel le paracétamol. Par ailleurs, la caféine est présente dans certains savons ou shampoings, car elle renforcerait les racines capillaires et favoriserait la circulation sanguine du cuir chevelu...

Mickaël NAASSILA dirige l'équipe de recherche sur l'alcool et les pharmacodépendances de l'Université de Picardie Jules Verne, à Amiens, et préside le groupe Task force alcool de Picardie.



Une page d'un des cahiers de laboratoires de Georges Charpak à l'ESPCI ParisTech
© J. Lewiner/ESPCI ParisTech.

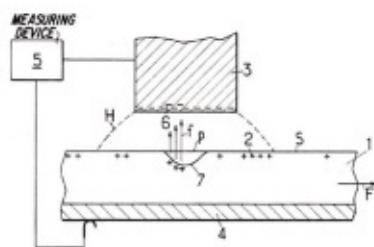


Schéma extrait du brevet international n°4,553,089 déposé par Jacques Lewiner et Georges Charpak (date de priorité : 17 mars 1982) décrivant des dispositifs permettant de mesurer localement les charges dans les diélectriques (à des fins d'imagerie par radiation, par exemple).
© ESPCI ParisTech



Georges Charpak à l'ESPCI ParisTech le 22 octobre 1992, quelques jours après l'annonce de son prix Nobel.
© D. Morisseau/ESPCI ParisTech

Georges Charpak et l'ESPCI ParisTech

Une rencontre prolifique et exemplaire

Georges Charpak (1924 - 2010) a trouvé à l'ESPCI ParisTech un environnement unique qui lui a permis de transformer avec brio ses inventions pionnières en applications révolutionnaires, en particulier dans le domaine biomédical.

Dès 1980, Georges Charpak rejoint en tant que Professeur associé le laboratoire d'Électricité générale dirigé par Jacques Lewiner. Sur ce terrain fertile, où l'innovation se cultive avec passion, le physicien développe les applications des chambres à fils qu'il avait mises au point au CERN. Il en démontre lui-même la portée concrète et captera ainsi l'attention du Comité Nobel. Au laboratoire d'Électricité générale, Georges Charpak déploie une activité prolifique et variée, à la fois en recherche (avec des publications multiples et régulières), en enseignement (dans le cadre du DEA d'électronique et sous forme de conférences passionnées pour les élèves-ingénieurs), dans le domaine de l'innovation (succession de brevets pris avec des chercheurs du laboratoire) et de la création d'entreprises (co-fondation de *Molecular Engines Laboratories*, *Biospace Instruments* (aujourd'hui *EOS Imaging*) et *Supersonic Imagine*).

Georges Charpak était un scientifique exceptionnel : contributeur à part entière de ses inventions géniales, il est le dernier physicien à recevoir un prix Nobel en son nom seul. Authentique pionnier, artisan véritable de ses prototypes, il se faisait le champion de la démarche expérimentale, passerelle indispensable entre la science fondamentale et les applications industrielles. Aussi Georges Charpak restera-t-il une figure emblématique de la pédagogie originale et de la culture scientifique de l'ESPCI ParisTech, et continuera à inspirer des générations d'étudiants et de chercheurs, par son panache et par l'exemple de son immense créativité scientifique.



L'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris est à la fois une Grande École d'ingénieurs originale, un centre de recherche de renommée internationale et un moteur d'innovations pour l'industrie. Fondée en 1882 par le Conseil municipal de Paris, l'ESPCI ParisTech attire depuis plus d'un siècle les plus grands esprits scientifiques novateurs : Pierre & Marie Curie, Paul Langevin, Frédéric Joliot-Curie, Pierre-Gilles de Gennes et Georges Charpak sont autant de noms illustres qui contribuent à la réputation de l'École, en France comme à l'international. Aujourd'hui, l'ESPCI ParisTech est membre fondateur de ParisTech et de Paris Sciences et Lettres.



Pour réagir aux articles : courrier@pouirlascience.fr
ou directement sur les pages correspondantes du site www.pouirlascience.fr

✓ MULTIPLICITÉ DES TEMPS

Votre numéro spécial sur le temps (Pour la Science n° 397, novembre 2010) est très intéressant. Mais à la lecture des différents articles, j'ai l'impression que le temps « biologique », le temps « psychologique » et le temps « physique » sont des grandeurs distinctes. Existe-t-il réellement une multiplicité de temps différents ?

Florence Dumard

→ RÉPONSE D'ÉTIENNE KLEIN

L'horloge biologique est un mécanisme endogène et autonome permettant à la majorité des êtres vivants de rythmer certains processus sans recours à des cycles temporels extérieurs, notamment ceux liés à la rotation de la Terre. Comment fonctionne-t-elle ? La réponse n'est pas claire. Mais on peut se demander si le terme d'« horloge » biologique n'est pas abusif. En effet, cette prétendue horloge ne fait qu'imposer des rythmes et asservir certains mécanismes à l'œuvre dans l'organisme : il s'agit donc d'un « oscillateur », dont la période se mesure en unités de temps physique, plutôt que d'une horloge proprement dite.

Quant au « temps biologique », qui s'écoulerait de façon autonome en marge du temps physique, il relève sans doute lui aussi d'un abus de langage : les phénomènes biologiques ont des rythmes et une dynamique spécifiques, mais comme tous les autres phénomènes temporels, ils se déroulent dans le temps, et se mesurent en secondes, minutes, heures, années, etc.

De la même façon, le constat selon lequel divers facteurs psychologiques influencent et distordent notre perception des durées ne prouve pas l'existence d'un temps psychologique indépendant, mais bien plutôt que notre rapport au temps est soumis à toutes sortes d'influences, notamment d'ordre psychologique.

À force de supposer que le temps a les propriétés des processus temporels, on en vient à admettre implicitement l'existence d'une multiplicité de temps : il y aurait en somme autant de sortes de temps qu'il y a de temporalités différentes. Et c'est ainsi que le temps se trouve affublé de divers qualificatifs qui précisent le type de phénomènes auquel on l'associe : temps psychologique, temps biologique, ou temps subjectif, temps historiques multiples... Une telle

prolifération laisse sceptique : il y aurait un temps des pierres et des roches ? Un temps des cellules et des bactéries ? Un temps des atomes et molécules ? Et un temps des étoiles et des galaxies ? L'amalgame que nous ne cessons de faire entre le temps et les phénomènes temporels enrobe le premier d'une métaphorisation inspirée des seconds qui, en définitive, ne nous engage guère à penser le temps pour ce qu'il est.



✓ LENTEURS POSTALES

Dans l'article *La mission jésuite en Chine : tempêtes, science et politique*

(Pour la Science n° 397, novembre 2010, <http://bit.ly/pls397-ricci>), l'auteur écrit qu'une lettre de Matteo Ricci, missionnaire jésuite en Chine, a mis 17 ans pour arriver à son père, en Italie. Pourquoi autant de temps ?

Georges Wattelse

→ RÉPONSE DE ISAÏA IANNACCONE

Pour expliquer pourquoi une lettre de Matteo Ricci est arrivée après 17 ans, ou plus généralement, pourquoi le courrier de la Chine vers l'Europe pouvait aller aussi lentement, il faut prendre en considération plusieurs facteurs. Tout d'abord, au vu des adversités de la traversée marine – typhons, naufrages, pirates, etc. – les jésuites écrivaient souvent deux copies de leurs courriers. Les deux copies étaient d'abord envoyées à Macao, où elles prenaient la route de la mer. Or pour arriver à Macao, il fallait, depuis Pékin, traverser toute la Chine.

L'une des copies voyageait ensuite sur la route maritime portugaise (l'océan Indien), l'autre sur la route espagnole (l'océan Pacifique). Arrivé dans un port intermédiaire (par exemple Goa, en Inde, pour les bateaux portugais, ou Manille, aux Philippines, pour les espagnols), le cour-

rier changeait souvent de bateau, car les marchandises étaient prioritaires. Les lettres restaient donc fréquemment dans des dépôts de courrier avant de continuer leur route.

À l'arrivée en Europe, la distribution du courrier était tributaire de toutes sortes de circonstances contingentes et plus ou moins imprévisibles : moyens de transport lents et irréguliers, routes souvent infréquentables (brigands, guerres, épidémies, etc.), erreurs de distribution. Un véritable voyage infernal, comme celui des jésuites !

✓ FLÈCHE DU TEMPS ET EXPANSION

Selon l'article *Le paradoxe de l'irréversibilité* (Pour la Science n° 397, novembre 2010, <http://bit.ly/pls397-irreversibilite>), le sens du temps en thermodynamique est celui pour lequel l'entropie, c'est-à-dire le désordre, augmente. Or, en cosmologie, à mesure que le temps passe, c'est au contraire l'ordre qui s'accroît dans l'Univers, sous l'effet de la gravité. N'y a-t-il pas une contradiction ?

Patrice Leterrier

→ RÉPONSE D'ALAIN RIAZUELO

En poussant la matière à s'agréger, la gravité structure effectivement le cosmos au cours du temps. Mais, aussi paradoxal que cela puisse paraître, cette structuration ne s'accompagne pas d'une baisse du désordre, bien au contraire. L'exemple extrême est donné par les trous noirs, stades ultimes de la structuration de la matière sous l'influence de la gravité.

Un trou noir d'une masse solaire possède une entropie de $1,5 \times 10^{54}$ joules / kelvin, soit plus de dix ordres de grandeur de plus que le Soleil ! Les calculs montrent d'ailleurs que l'entropie d'un trou noir augmente bien plus vite avec sa masse que n'augmente l'entropie d'une étoile. Ainsi, sous couvert d'une structuration apparente du cosmos, la gravité est en fait le plus grand pourvoyeur d'entropie du cosmos : si, peu après le Big Bang, le gros de l'entropie de l'Univers était porté par le rayonnement électromagnétique et les neutrinos, cette part a décliné avec l'expansion cosmique, et aujourd'hui ce sont les trous noirs qui en sont les plus gros détenteurs. Une telle situation perdurera encore plus de 10^{100} ans, le temps que les plus gros trous noirs s'évaporent et dissipent enfin leur entropie par rayonnement de Hawking.