

## Les danses spatiales de la Lune 52

par **Éric Bois**

La Lune est soumise à des balancements réguliers autour d'une configuration d'équilibre stable. On connaît aujourd'hui avec précision les origines de ces balancements, nommés «librations».



## Prothèses dentaires chez les Étrusques 60

par **Gaspare Baggieri et Marina di Giacomo**

Des prothèses en or datant du VII<sup>e</sup> au IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère, servaient à remplacer des dents disparues ou à décorer des dents encore en place.



## Propulsion sous-marine par supercavitation 66

par **Steven Ashley**

Des torpilles se déplacent sous l'eau à plusieurs centaines de kilomètres par heure dans un flot de bulles de gaz qui réduit notablement les frottements du liquide sur le métal.



## Le cervelet 74

par **Christian Darlot**

Indispensable à la coordination des mouvements et à l'équilibre, le cervelet est aujourd'hui la partie du système nerveux dont on connaît le mieux le fonctionnement.



## L'étrange comportement de l'eau ultra-froide 84

par **José Teixeira**

L'eau a des propriétés étonnantes, tout particulièrement à basse température, notamment entre -40 °C et -135 °C. La liaison hydrogène en explique beaucoup.



Un nouveau moyen de transport serait-il apparu? Les renseignements sont ténus, car les torpilles à supercavitation sont, dans tous les pays, sous la chape de plomb du secret militaire, et les histoires rocambolesques abondent (à la James).

L'idée physique est séduisante : le physicien Daniel Bernoulli (1700-1782) nous a appris que la pression au sein d'un liquide diminue quand sa vitesse augmente. Au-dessous d'une certaine valeur de la pression, le liquide se met à bouillir. Ce phénomène de cavitation est un handicap dans la propulsion à hélice : la formation de bulles de gaz sur le tranchant d'une hélice tournant très vite consomme de l'énergie et diminue le rendement.

Les physiiciens ont transformé ce handicap en atout. Si la vitesse est suffisante, la chute de pression est telle sur l'ensemble du mobile sous-marin que l'eau passe à l'état vapeur tout autour du mobile : celui-ci se déplace dans une bulle de vapeur qui réduit beaucoup les frottements. Ainsi une torpille pourrait-elle dépasser plusieurs centaines de kilomètres par heure (*Propulsion sous-marine par supercavitation*, pages 66 à 72). Si l'on se limitait à cette analyse, plus la vitesse serait importante, plus complète serait la bulle, moins importants seraient les frottements, plus vite les sous-marins se déplaceraient... etc. Bien évidemment d'autres phénomènes apparaissent qui empêchent ce mouvement perpétuel, mais il se pourrait que des Nautilus nimbés de vapeur percent bientôt les mers à grande vitesse. Merci qui? Merci Bernoulli.

La terre est entièrement explorée, dit-on. Si explorée signifie cartographiée, certainement. Les nouveaux explorateurs sont les scientifiques qui étudient la faune et la flore de ces contrées longtemps préservées par leur climat. Aujourd'hui, l'Antarctique fascine : les adaptations darwiniennes à des conditions rigoureuses des manchots et des albatros, des éléphants de mer et des otaries, continuent à surprendre par leur diversité et leur ingéniosité. Ce patrimoine est fragile et sa survie dépend des précautions prises pour le sauvegarder de l'introduction de nouvelles espèces, et des appétits industriels. Le dossier de ce numéro, pages 30 à 51, vous transporte dans ces terres de contrastes.

**Philippe BOULANGER**



# Peinture fraîche

IVAR EKELAND

**La valeur marchande des œuvres de jeunesse des peintres célèbres est aujourd'hui plus forte que celle de leurs œuvres tardives. Cette observation appuyée sur la statistique est un «fait stylisé».**

**C**ézanne et Picasso appartiennent à des générations différentes : le premier naît 42 ans avant le second. Et pourtant, leurs chefs-d'œuvre sont presque contemporains ! Le meilleur de la production de Cézanne se situe à la fin de sa vie, entre 1890 et 1906. Picasso peindra jusqu'à sa mort (en 1973), mais ses œuvres les plus marquantes furent peintes au début du siècle : *Les Femmes d'Alger* datent de 1907 (il a alors vingt-six ans), la période bleue et la période rose sont encore antérieures. Picasso peindra pendant soixante-six ans encore, mais au contraire de Cézanne plus aucune de ses œuvres n'atteindra le retentissement (ni la valeur marchande) de celles de sa jeunesse.

S'agit-il là d'un simple accident de l'histoire, rencontre fortuite entre deux génies de types différents, ou des tendances plus profondes sont-elles à l'œuvre ? C'est la question que se sont posée deux économistes, David Galenson et Bruce Weinberg. Ils ont étudié tous les peintres français, nés entre 1820 et 1900, d'importance suffisante pour avoir au moins une œuvre reproduite dans trois traités d'histoire de l'art, parmi cinq nommément désignés. Ce critère définit 33 artistes, dont bien entendu les figures majeures de l'impressionnisme, du postimpressionnisme, du fauvisme, du cubisme et du surréalisme. Nos auteurs les séparent alors en quatre cohortes suivant leur date de naissance : la première rassemble ceux qui sont nés entre 1820 et 1839 (dont Cézanne) et les trois autres se succèdent de vingt ans en vingt ans. Picasso appartient à la dernière, ceux qui sont nés entre 1880 et 1900.

D. Galenson et B. Weinberg font alors une analyse statistique en utilisant le *Guide Mayer*, qui donne chaque année les résultats des ventes aux enchères tenues dans le monde ; pour la période 1970-1996, les 27 éditions du guide répertorient 13 943 peintures ou aquarelles des 33 artistes retenus, donnant pour chacune d'elles le support (toile ou papier), la taille, la date d'exécution, la date et le prix de vente. En utilisant cette base de

données, ils établissent pour chaque artiste ce qu'on pourrait appeler sa «courbe des valeurs», c'est-à-dire le prix moyen de ses œuvres en fonction de l'âge auquel il les a peintes. Le travail est assez délicate, car il faut tenir compte d'effets indésirables, des fluctuations du marché de l'art par exemple, qui font que certaines années les prix sont plus élevés ou plus bas que d'autres.

## LES GÉNIES MODERNES SONT PLUS PRÉCOCES...

Il n'empêche, les résultats sont impressionnants : le sommet de la «courbe des valeurs», c'est-à-dire l'âge où culmine le prix des œuvres, se déplace très rapidement vers la gauche. Il passe de 47 ans pour les artistes de la première cohorte, à 37 pour ceux de la deuxième, 29 pour la troisième et 27 pour la quatrième. Plus cela va, et plus ces peintres peignent leurs meilleures toiles jeunes. L'erreur statistique ne dépasse pas un an, et ce déplacement ne peut donc pas être un simple artefact : il correspond à une réalité bien assurée. Bref, la différence de carrière entre Cézanne et Picasso n'est pas un accident : ils sont tout simplement représentatifs de leur cohorte.

Reste à savoir pourquoi, au cours du XIX<sup>e</sup> siècle artistique, les génies se révèlent de plus en plus tôt. L'explication que proposent D. Galenson et B. Weinberg tient à une évolution du marché de l'art : sous l'influence de la critique, artistes et amateurs se seraient progressivement ralliés à une nouvelle conception de la peinture, selon laquelle elle devrait, non plus représenter la réalité, mais exprimer des émotions ou traduire des idées.

Apparaissent alors de nouvelles générations d'artistes, plus théoriciens qu'expérimentateurs, inventeurs d'une méthode, comme Seurat, ou porteurs d'une vision, comme Picasso : c'est l'innovation qui prime désormais, par opposition au patient apprentissage d'un Cézanne, qui peint indéfiniment les mêmes paysages. La création artistique

n'est pas de même nature dans un cas que dans l'autre, plus conceptuelle et théorique dans un cas, plus concrète et complexe dans l'autre, la première étant davantage le fait de personnes jeunes et la seconde demandant une lente maturation. C'est le même phénomène qui fait que les mathématiciens atteignent le sommet de leur carrière à un âge plus tendre que les biologistes ou les théologiens.

D. Galenson et B. Weinberg avaient déjà publié une étude sur les peintres américains du XX<sup>e</sup> siècle, avec des résultats tout à fait similaires. Là encore, ils avaient isolé deux cohortes d'artistes, ceux nés entre 1900 et 1920 (dont Jackson Pollock et Willem de Kooning), et ceux nés entre 1920 et 1940 (dont Rolf Lichtenstein et Andy Warhol). Le prix des œuvres culmine à 51 ans pour les premiers et à 29 ans pour les seconds, toujours avec une erreur possible d'une année ! Là encore, l'explication résiderait dans une prime à l'innovation, qui met une idée nouvelle au-dessus d'un exploit technique, au point que certains artistes de la deuxième cohorte n'exécutent même plus l'œuvre qu'ils ont conçue, confiant la réalisation à d'autres.

En 1967, Sol Le Witt déclare que «L'idée devient une machine qui fait l'art.» La technique est reléguée au second plan, voire sous-traitée, l'expérience n'a que peu de valeur, et cette génération de peintres est donc très semblable à des mathématiciens, jeunes comme eux, et portant le même dédain magnifique pour la complexité du monde.

On parle beaucoup en économie de «faits stylisés» : il s'agit de faits qui ont dépassé le niveau de l'anecdote et qui ont subi un premier traitement statistique permettant de les rendre incontestables et surtout de les mesurer. D. Galenson et B. Weinberg ont hissé le parallèle entre Cézanne et Picasso au niveau du fait stylisé. Même si la réponse qu'ils en fournissent n'est pas complète, ils ont du moins posé la question : elle fait désormais partie du programme de travail de la science économique. Le génie est-il vraiment une longue patience ?

# TRIBUNE DES LECTEURS

## Mascarets atmosphériques

J'ai lu avec passion l'article *La fin de l'effet Papillon* (voir *Pour la Science*, mai 2001). Je m'interroge sur le lien qu'il pourrait exister entre les structures stables à grande échelles au sein des atmosphères planétaires, tel l'anticyclone des Açores ou la tache de Jupiter et ce qui est appelé en physique de la matière condensée, un soliton. Les solitons sont des ondes solitaires, à une ou quelques crêtes, qui se propagent par exemple à la surface de l'eau ou encore dans une fibre optique. L'exemple le plus typique est le mascaret, une onde de surface qui remonte par l'embouchure d'un fleuve, lorsque la marée monte. Ne pourrait-on envisager que les structures stables des milieux turbulents soient des solitons?

Gérôme Taillandier, Paris

## Réponse de Raoul Robert

On pourrait penser que les structures cohérentes, tels les grands tourbillons, comme la tache rouge, ou bien les couples de tourbillons accolés (ou modons) qui se propagent à vitesse constante puissent être des ondes solitaires. Une telle explication a effectivement été avancée, pour la tache rouge notamment. L'obstacle c'est que, dans leur définition même, les solitons sont des ondes progressives particulières qui possèdent une propriété remarquable d'interaction non linéaire (quand deux solitons se croisent, ils ne se superposent pas, mais interagissent de manière non linéaire, puis se séparent en retrouvant leur forme antérieure). Or ce n'est pas du tout ce qui est observé avec les tourbillons. Les tourbillons de même signe ont tendance à fusionner et, en quelque sorte, le plus gros mange le plus petit qui disparaît définitivement. On peut donc dire que ces tourbillons sont des ondes progressives, mais pas des solitons.

## Quatre-vingt-dix-sept ou 97?

Je me permets d'attirer votre attention sur la bizarrerie de la langue française dans sa dénomination des nombres. Pourquoi en effet dire le nombre 97, quatre-vingt-dix sept, quand septante-sept aurait été plus rapide et plus logique? Cette fantaisie de la langue française provoque l'amusement des autres francophones, tels les Suisses qui utilisent, pour soixante-dix, quatre-vingt et quatre-vingt-dix, respectivement septante, huitante et nonante. Soixante-dix utilise une addition, celle de 60 et 10, et quatre-vingt-dix, une multiplication plus une addition ( $4 \times 20 + 10$ ). Quatre-vingt-dix sept va encore plus loin puisqu'il comporte une multiplication, puis deux additions successives ( $4 \times 20 + 10 + 7$ ). Professeur de physique, je m'amuse

sais de voir, en dictant le nombre 97 lors d'une correction, des élèves pressés d'écrire se précipiter sur leur stylo-correcteur pour les uns effacer un huit et les autres un quatre. À l'école, en 1926, dans la petite commune où nous vivions, j'apprenais septante, octante et nonante. Aujourd'hui, même s'il y est précisé qu'on ne les emploie plus, les trois termes figurent encore dans le dictionnaire.

Yves Boudoint, Le Puy

## La taille du photon

La lecture de l'article *La détection des étoiles par interférométrie* (voir *Pour la Science*, mai 2001) me conduit à poser deux questions. Pour que les photons interfèrent à l'intérieur des deux télescopes, il faut que l'extension transversale (perpendiculaire à la direction de propagation) des ondes soit supérieure ou égale à la distance entre les deux télescopes, en l'occurrence plusieurs dizaines de mètres. Un photon qui a traversé l'espace possède-t-il cette «taille»? D'autre part, la lumière d'une étoile n'est pas une lumière cohérente, de sorte que deux sources naturelles distinctes n'interfèrent pas. Comment alors mesurer le diamètre d'une étoile en utilisant des photons provenant de deux points diamétralement opposés de l'étoile?

Michelle Feuillée, Franconville

## Réponse de Fabien Malbet

Pour interférer, deux ondes doivent d'abord se recouvrir. Dans une étoile, les ondes quittent les atomes sous une forme quasi sphérique. Quand elles arrivent sur la Terre, leur extension latérale est quasi illimitée, et peuvent donc interférer même si les télescopes sont très éloignés. Se pose ensuite le problème de l'extension longitudinale de l'onde (le long de la direction de propagation). Les ondes émises par les atomes ne sont pas purement monochromatiques : elles sont constituées d'un «paquet» d'ondes de longueurs d'ondes très proche (le paquet d'ondes possède une certaine largeur spectrale) qui se déplace avec une extension spatiale longitudinale finie. C'est le rôle des lignes de retard de l'interféromètre que de rattraper le retard que prend la partie de l'onde entrant dans un des télescopes sur celle entrant dans l'autre télescope pour que les deux se superposent.

Des ondes doivent être de longueurs d'onde voisines pour interférer. La lumière issue d'une étoile comporte de nombreuses longueurs d'onde. Avec un filtre, on sélectionne un faible intervalle de longueurs d'ondes.

Enfin, les ondes doivent être en phase pour interférer. L'addition d'ondes de même longueur d'onde, mais de phases différentes, est un signal uniforme, sans franges d'in-

terférences. Les paquets d'ondes émis par un seul atome d'une étoile respectent cette condition et interfèrent avec eux-mêmes. Au contraire, les ondes émises par des atomes différents de l'étoile n'ont aucun lien de phase et n'interfèrent pas.

Comment utiliser les interférences produites par chaque onde avec elle-même pour mesurer le diamètre de l'étoile? Sur l'interférogramme, les franges d'interférence dues à deux atomes très proches se chevauchent et restent donc visibles. Quand les atomes sont diamétralement opposés dans les étoiles, les franges sont légèrement décalées, ce qui diminue le contraste de la superposition des deux systèmes de franges. Le but de l'interférométrie en astronomie est de faire varier ce contraste en modifiant la distance entre les deux télescopes et d'en déduire le diamètre de l'étoile.

Fabien Malbet, Observatoire de Grenoble

## Un superpanache de fumée

Dans *La sculpture des reliefs terrestres* (voir *Pour la Science*, mai 2001), Michael Gurnis explique le soulèvement depuis 20 millions d'années du continent Africain par l'action d'un superpanache, constitué de roches très chaudes et peu denses, qui remonte du noyau terrestre. Or, d'après la théorie de la tectonique des plaques, la plaque continentale africaine s'est déplacée vers le Nord-Est durant cette période. Ces deux interprétations ne sont-elles pas incompatibles? L'Afrique n'a-t-elle pas quitté au cours de cette période la région où le panache s'élève?

Liliane Fugas, Orléans

## Réponse de Michael Gurnis

On sait de récentes analyses du manteau par ondes sismiques que le superpanache Africain est incliné à l'intérieur du manteau : il naît à la verticale de l'Atlantique Sud et rejoint la croûte terrestre sous la mer Rouge. Des simulations numériques expliquent cette inclinaison : la base du panache n'a pas bougé depuis sa formation, tandis que le haut s'est étalé vers le Nord-Est suivant ainsi, telle la fumée d'une cigarette emportée par le vent, le déplacement de la plaque continentale Africaine.

Écrivez à *Pour la Science* vos réactions, vos commentaires et vos réflexions sur l'actualité scientifique et vos relations avec la science. L'adresse de *Pour la Science* sur Internet est : [tribune@pouirlascience.fr](mailto:tribune@pouirlascience.fr). Découvrez d'autres contributions de lecteurs sur le site Web [www.pouirlascience.com](http://www.pouirlascience.com).