

reste à démontrer. L'apport de silice n'est pas systématiquement associé à des débris de roches volcaniques ; de plus, aucun indice géochimique d'un accroissement du volcanisme explosif n'a encore été décelé dans ces roches.

Une autre hypothèse pourrait expliquer la silicification des sédiments. Le Francevillien C correspond en effet à un arrêt de la subsidence des bassins d'effondrement de Franceville et d'Okondja. Par la suite, des milieux très peu profonds, hébergeant les stromatolithes, et des environnements sursalés, similaires aux sebkhas du golfe Persique, se sont généralisés. Dans ces environnements, la forte alcalinité de l'eau (pH supérieur à 9) rend possible la dissolution de la silice ; cette dernière est alors susceptible de précipiter lors d'arrivées d'eaux douces dans le milieu, qui font baisser le pH .

Un tel mécanisme aboutit aux accumulations siliceuses, tel le silex, dans les dépôts lacustres des zones intertropicales soumises à une forte évaporation. Reste à connaître l'origine des apports de silice, dissoute ou sous forme de débris, néces-



6. CONSTRUCTIONS STROMATOLITHIQUES trouvées au Gabon. Leur grande variété morphologique reflète la diversité des milieux où elles se sont formées.

saire à la formation des jaspes francevilliens : elle a peut-être été introduite dans le milieu lors des inondations temporaires, voire saisonnières, d'eau douce.

Enfin, à y regarder de plus près, l'horizon de jaspes ne signe pas véritablement la fin de l'histoire biologique de cette région du Gabon. La matière organique reste en effet abondante dans les sédiments plus récents, même si sa production ne semble plus assurée par les milieux à stromatolithes dont on ne trouve pas la trace.

La grande diversité des formes de vie hébergées par les différents environnements marins de la région de Franceville semble s'étioler à la fin du Francevillien. Il est cependant possible que les biotopes décrits se soient développés de nouveau ailleurs. On peut ainsi penser que les possibles organismes pluricellulaires découverts par l'équipe de A. El Albani aient eu une descendance qui a colonisé d'autres régions présentant les mêmes conditions favorables à la vie, mais peut-être pas les conditions de conservation qui nous auraient permis d'en retrouver la trace dans les sédiments, plus de deux milliards d'années plus tard.

universcience présente

les conférences

à la Cité des sciences et de l'industrie

Paroles de Gaulois [les mardis à 18h30]

6 mars L'imaginaire gaulois : rites, religion et croyances

13 mars L'art gaulois : esthétique et symbolique

20 mars Les Gaulois, façonneurs de paysages

Le cosmos vu par les mathématiques [les mercredis à 18h30]

21 mars Le Système solaire est-il chaotique ?

28 mars La galaxie, agitée et en quête de relaxation

4 avril L'Univers est-il courbe ?

Alan Turing, père de l'ordinateur [jeudi 8 mars à 19h]

Lecture de textes par un acteur, commentée par un scientifique.

entrée libre

au Palais de la découverte

En partenariat avec

Avec le soutien de

SCIENCE FUTURA-SCIENCES toute L'HISTOIRE

encyclo SCIENCES Avenir culture

program complet sur www.universcience.fr

Les GLOIRES, des auréoles autour des ombres

Les gloires sont des anneaux colorés qui entourent parfois les ombres projetées sur les nuages. Ce phénomène s'explique par un jeu subtil entre la lumière du Soleil et les gouttelettes d'eau en suspension.

Moysés Nussenzveig

L'ESSENTIEL

✓ Les gloires sont des anneaux colorés entourant les ombres d'alpinistes ou d'aéronefs projetées sur les nuages.

✓ Comme dans un arc-en-ciel, les couleurs sont produites par les gouttelettes d'eau microscopiques dont sont formés les nuages.

✓ Mais les gloires ont une origine différente : elles sont une manifestation macroscopique d'un effet dit tunnel, grâce auquel la lumière frôlant une gouttelette passe à l'intérieur, avant d'être renvoyée dans la direction incidente.

Lors d'un vol de jour, asseyez-vous près d'un hublot, du côté opposé au Soleil. Avec un peu de chance, vous observerez l'un des plus beaux phénomènes météorologiques qui soient : un halo multicolore entourant l'ombre de l'avion (voir la figure 1). Ses anneaux irisés ne sont pas ceux d'un arc-en-ciel, mais ceux d'un phénomène plus compliqué, nommé gloire. Plus les nuages sont proches, plus il est spectaculaire, finissant par dominer tout l'horizon.

Les gloires n'auréolent pas seulement les avions. Si vous pratiquez l'alpinisme, vous en avez peut-être déjà admiré une, juste après le lever du soleil, autour de votre propre tête – ou plutôt autour de son ombre projetée sur des nuages proches ou sur la brume (voir la figure 2). Nombre de scientifiques pensent que de telles gloires ont inspiré le nimbe qui entoure la tête des divinités et des empereurs dans l'iconographie orientale et occidentale.

La première publication concernant ce phénomène date de 1748. Elle relate les observations d'une expédition scientifique française, qui avait gravi dix ans plus tôt le volcan Pambamarca, situé sur l'actuel territoire de l'Équateur. Cette expédition s'inscrivait dans le cadre d'une série de voyages, organisés au XVIII^e siècle par

l'Académie royale des sciences pour répondre à des questions portant notamment sur la forme exacte de la Terre. Antonio Ulloa, l'un de ses membres, décrit les gloires comme « trois arcs-en-ciel nuancés de diverses couleurs et entourés à une certaine distance par un quatrième arc d'une seule couleur ». En pratique, on ne voit souvent qu'un ou deux de ces « arcs-en-ciel » circulaires. Il précise que chacun des voyageurs « ne voyait le phénomène que relativement à lui, et était disposé à nier qu'il fût répété pour les autres ».

L'ombre du spectateur ou de l'avion ne joue aucun rôle dans la création d'une gloire, mais elle indique que le Soleil, l'observateur et le nuage sont alignés. Lors de ce phénomène, la lumière solaire « rebondirait » donc sur les nuages et serait renvoyée quasiment dans la direction incidente. Reste à comprendre comment.

On pourrait penser que les gloires, connues depuis des siècles et relevant d'une science « ancienne », l'optique, ont été expliquées depuis longtemps. Pourtant, elles ont défié les scientifiques jusqu'au début des années 2000. En effet, elles sont bien plus compliquées que les arcs-en-ciel – qui ne sont eux-mêmes pas aussi simples que ne le laissent entendre les manuels d'introduction à la physique.



1. LES COULEURS DES ANNEAUX
d'une gloire se déclinent du bleu au rouge en partant de l'intérieur, puis se répètent une ou plusieurs fois. Les premières descriptions du phénomène évoquaient des arcs-en-ciel juxtaposés.

En 1965, j'ai entamé un programme de recherche visant à fournir, entre autres, une explication physique complète du phénomène des gloires. Grâce à diverses collaborations, cet objectif a été atteint en 2003. L'effet tunnel, une propriété physique que l'on décrira, joue un rôle prépondérant dans le mécanisme proposé. Nous verrons que ce dernier, en améliorant notre compréhension des interactions de la lumière du Soleil avec les particules en suspension, aide aussi à modéliser l'impact des aérosols atmosphériques (les nuages, la poussière, la suie...) sur le climat.

L'optique géométrique ne suffit pas

De nombreuses tentatives d'explication des gloires ont précédé la mienne. Toutes font appel à la diffraction de la lumière du Soleil par les gouttelettes des nuages : le terme de diffraction regroupe un ensemble de phénomènes portant sur la propagation de la lumière et résultant de sa nature ondulatoire ; on parle de diffraction dès que le comportement de la lumière viole les lois de l'optique géométrique, qui modélise sa propagation par des rayons rectilignes. Par exemple, dans certains cas, l'onde lumineuse pénètre dans des régions où devrait régner l'ombre d'un objet opaque, de la même façon qu'une vague contourne un pieu planté dans la mer. Dans d'autres cas où l'onde rencontre un objet, elle peut être éparpillée dans toutes les directions, concentrée dans certaines, divisée entre ses différentes composantes fréquentielles – donc en différentes couleurs, comme ce qui est observé lors des gloires –, etc.

L'optique géométrique ne pourrait-elle pas, elle aussi, expliquer les anneaux colorés des gloires ? Après tout, elle prévoit également un phénomène qui divise la lumière en ses différentes couleurs : la réfraction. Lorsque la lumière parvient à l'interface de deux milieux différents, tels que l'eau et l'air, une partie est réfléchie et l'autre est réfractée. Dans la réfraction, la lumière traverse l'interface, mais sa trajectoire est déviée lorsqu'elle ne lui est pas perpendiculaire (la réfraction explique ainsi qu'un crayon à moitié plongé dans l'eau semble cassé) ; en outre, l'angle de déviation dépend de la longueur d'onde, de sorte que la lumière est séparée en ses différentes composantes fréquentielles.

Toutefois, un indice suggérait que ce phénomène ne suffirait pas à expliquer

Steve Jurvetson