

les étoiles sont plus brillantes à l'approche de leur activité magnétique maximale. Certaines étoiles ont une variation d'éclat aussi faible que le Soleil – 0,1 pour cent sur le dernier cycle de 11 ans –, alors que la variation d'éclat d'autres étoiles atteint 0,6 pour cent lors d'un cycle. Aujourd'hui le Soleil varierait donc moins que par le passé.

Grâce aux observations stellaires des dernières années, les astrophysiciens ont retracé l'évolution des étoiles de type solaire. Les étoiles jeunes ont une période de rotation relativement courte, de quelques jours, et une activité magnétique intense et irrégulière. Des variations d'éclat de quelques pour cent accompagnent ces variations d'activité magnétique. Les étoiles jeunes sont toutefois moins lumineuses lors du pic d'activité, sans doute parce que les taches sombres sont si grandes qu'elles dominent les facules brillantes qui les entourent. Quand les étoiles vieillissent, leur rotation ralentit et leur activité magnétique décroît. Des minimums de Maunder apparaissent pour ces étoiles «plus vieilles». Leur éclat est maximum lorsque leur nombre de taches est élevé. La luminosité peut alors varier de un pour cent au cours d'un cycle.

Quelle influence sur la Terre?

Ces résultats indiquent un changement de luminosité d'au moins 0,4 pour cent entre la phase cyclique et le minimum de Maunder. Cette valeur correspond à une décroissance de l'émission nette d'énergie du Soleil de un watt par mètre carré au sommet de l'atmosphère terrestre. Des simulations effectuées au Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris, montrent qu'une telle accalmie, si elle dure plusieurs décennies, peut refroidir la température moyenne de la Terre de un ou deux degrés. Ainsi s'expliquerait le refroidissement observé durant le minimum de Maunder.

Toutefois, les gaz à effet de serre libérés par l'activité humaine depuis le début de la Révolution industrielle, à la fin du XVIII^e siècle, peuvent réchauffer la Terre, en piégeant la chaleur qui autrement serait rayonnée vers l'espace. Ce réchauffement équivaut à l'apport de deux watts par mètre carré au sommet de l'atmosphère. Le Soleil n'a apparemment fourni qu'entre 0,5 et 1 watt par mètre carré à la Terre ces

derniers siècles. Si le chauffage direct est le seul moyen par lequel le Soleil fait varier le climat terrestre, le rôle des gaz à effet de serre devrait être dominant et avoir supplanté toute influence de l'activité solaire.

Le lien entre climat et taches solaires semble néanmoins persistant. Au cours des 100 dernières années, les températures sur la Terre ont varié parallèlement aux cycles solaires. En outre, les cernes de croissance des arbres révèlent que, au cours des 5 000 à 6 000 dernières années, six minima du magnétisme solaire sur sept coïncident avec des périodes de refroidissement terrestre. Et le cycle des taches solaires est corrélé à la circulation des vents stratosphériques, pour des raisons encore mystérieuses. Ainsi le Soleil influencerait aussi la Terre par des voies indirectes, mais puissantes.

Les variations des émissions ultraviolettes solaires, par exemple, peuvent modifier la quantité d'ozone dans la haute atmosphère, de même que sa dynamique. Des simulations récentes indiquent également que des vents dans la stratosphère inférieure peuvent répercuter des variations de l'éclat du Soleil jusqu'à la troposphère, où elles interagissent plus directement avec le système climatique. Ces sujets sont maintenant vigoureusement débattus. La découverte des moyens par lesquels le Soleil réchauffe la Terre fournit des informations cruciales concernant le rôle joué par l'humanité – et le rôle joué par le Soleil – dans le mécanisme de modification du climat.

Elisabeth NESME-RIBES est astronome à l'Observatoire de Paris. Sallie BALIUNAS est chercheur au Centre d'astrophysique de Cambridge (Massachusetts). Dmitry SOKOLOFF est professeur de mathématiques au Département de physique de l'Université de Moscou.

Jean-Claude PECKER, *Sous l'étoile Soleil*, Fayard, 1984.

Peter FOUKAL, *Le Soleil : une étoile variable*, in *Pour la Science* n° 150, avril 1990.

Robert SADOURNY, *Le climat de la Terre*, Dominos Flammarion, 1994.

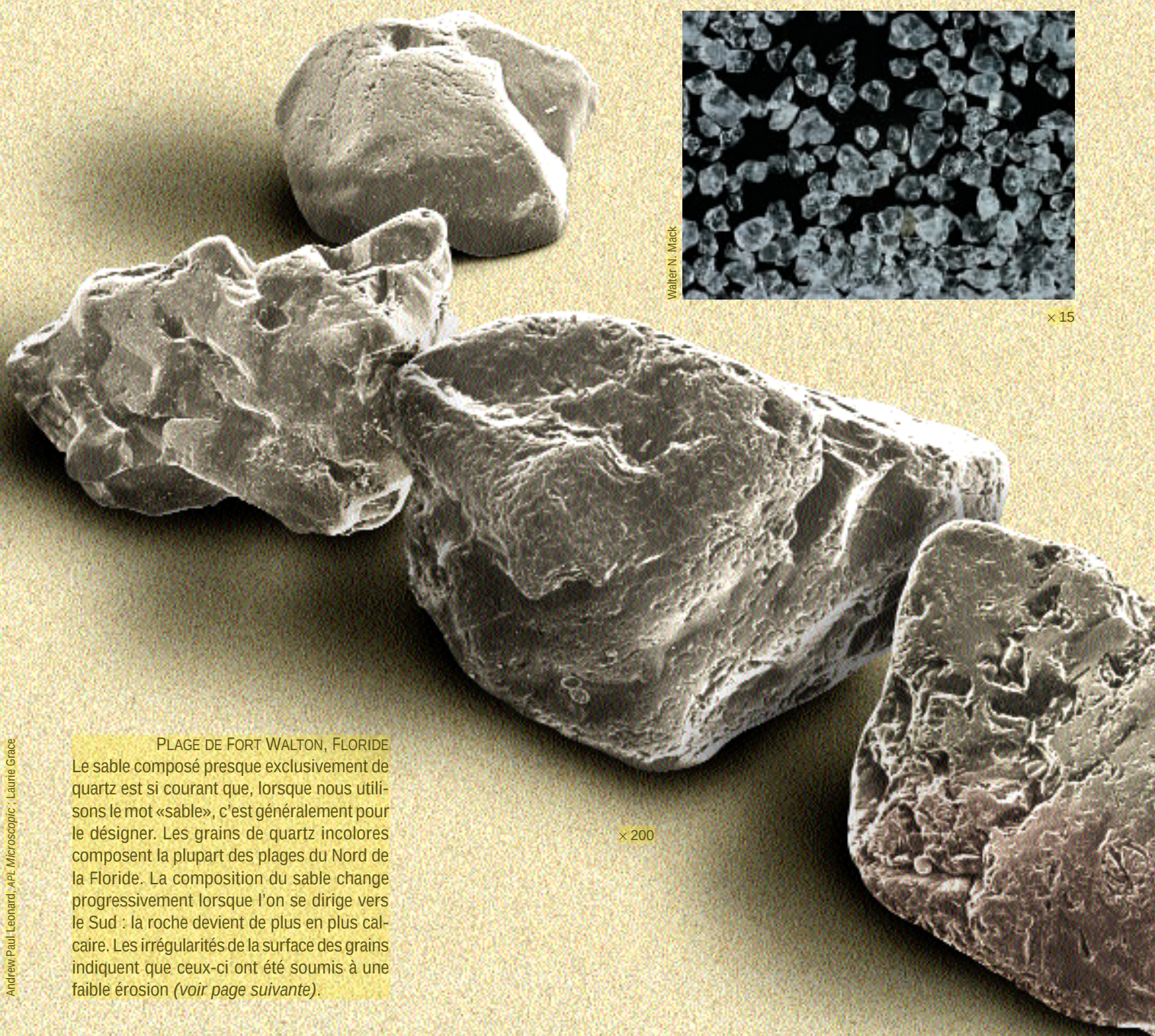
Kenneth J.H. PHILLIPS, *Guide to the Sun*, Cambridge University Press, 1992.

Helen WRIGHT, *Explorer of the Universe: A Biography of George Ellery*, American Institute of Physics Press, 1994.

Les sables du monde

WALTER MACK • ELIZABETH LEISTIKOW

Le sable est l'un des matériaux les plus banals à la surface de la Terre. C'est aussi l'un des plus variés.



Walter N. Mack

x 15

x 200

PLAGE DE FORT WALTON, FLORIDE

Le sable composé presque exclusivement de quartz est si courant que, lorsque nous utilisons le mot «sable», c'est généralement pour le désigner. Les grains de quartz incolores composent la plupart des plages du Nord de la Floride. La composition du sable change progressivement lorsque l'on se dirige vers le Sud : la roche devient de plus en plus calcaire. Les irrégularités de la surface des grains indiquent que ceux-ci ont été soumis à une faible érosion (voir page suivante).

Aussi, lorsque vaincu il est enfin du sable, l'eau n'y pénètre pas exactement comme à la poussière. Gardant alors toutes les traces, sauf justement celles du liquide, qui se borne à pouvoir effacer sur lui celles qu'y font les autres, il laisse à travers lui passer toute la mer, qui se perd en sa profondeur sans pouvoir en aucune façon faire avec lui de la boue.

Le sable qui recouvre les plages est le produit d'une longue transformation géologique. En examinant les particules de sable sous un microscope, nous reconstituons des millions d'années d'histoire, des roches au sable, en passant par les rochers et les galets.

La plupart des sables proviennent de régions montagneuses. Les roches continentales – principalement du quartz et du feldspath – sont fracturées en rochers et en galets par des contraintes mécaniques (mouvements des glaciers, cycles de gel et de dégel). Les attaques chimiques de la végétation et de la pluie réduisent aussi ces rochers et ces galets en grains. Les géologues nomment «sable» les fragments de roche dont le diamètre est compris entre 0,05 et 2 millimètres. Les particules les plus grosses sont les «graviers», les plus petites le «limon».

Le ruissellement entraîne les grains dans les cours d'eau, où ils roulent et rebondissent au fond, puis s'accumulent, dans une zone de tourbillons ou à l'abri d'un rocher. Ils y restent parfois plusieurs années avant de poursuivre leur voyage : charriés par la rivière, ils s'éloignent alors des mon-

Le galet, Le parti pris des choses Francis PONGE

tagnes. Une partie du sable atteint le littoral, l'autre partie se dépose sur le trajet. Il faut près d'un million d'années à une rivière de taille moyenne pour déplacer ses dépôts sablonneux de 100 kilomètres. Pendant tout ce temps, le courant et les éléments chimiques contenus dans l'eau polissent les grains et les rendent brillants.

Le vent aussi transporte le sable. Partout où la végétation est clairsemée, il déplace les particules, qui sautent et tourbillonnent, s'élevant parfois jusqu'à 30 centimètres du sol. Ces grains déplacés par le vent ne sont pas polis ; leur surface devient opaque et rugueuse.

Toutes les plages de sable ne se forment pas à partir de fragments de roches arrachés aux montagnes. Certaines sont composées de particules de calcaire, issues de la mer ou de la côte. Là où l'eau est chaude et l'activité biologique importante, des restes d'invertébrés marins, plus ou moins fragmentés, se déposent aussi sur les plages. Les grains de «sable» de ces plages sont de loin les plus intéressants à observer au microscope : ce sont quelques-unes des œuvres d'art les plus colorées et les plus délicates fabriquées par la nature.



DÉSERT DU SAHARA, ENTRE LE CAIRE ET ALEXANDRIE

Ce sable a été érodé par le vent. Les surfaces ternes et opaques des grains sont le produit de l'érosion que subissent ces derniers lorsque le vent les déplace. Les particules transportées par le vent sont plus rugueuses que celles transportées dans l'eau, qui les polit : elles frottent les unes sur les autres. Les chocs subis par les grains de sable sont aussi plus violents que dans l'eau. Autre différence manifeste : les tailles des grains de sable des déserts sont généralement plus variées. L'eau tamise les sédiments plus sélectivement que l'air, déposant les particules de taille proche les unes à côté des autres.



Walter N. Mack