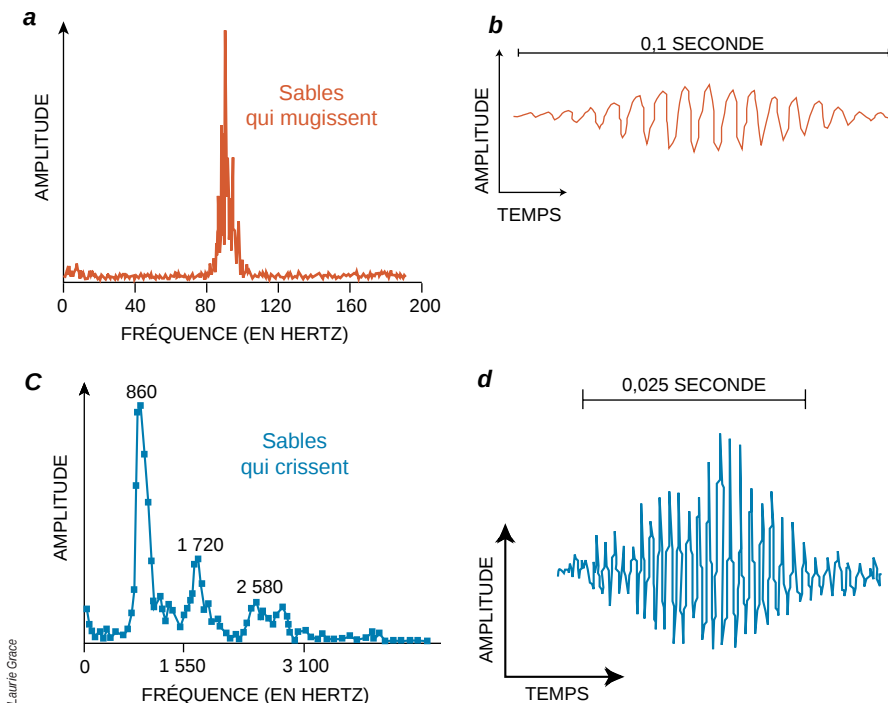




2. LES SONS ÉMIS PAR LES SABLES MUGISSANTS ont des fréquences proches d'une fréquence centrale (a) et ils durent longtemps (b). Les crissements, au contraire, contiennent des harmoniques d'une fréquence fondamentale (c), mais ils sont très brefs (d).

dues aux divers modes de vibrations lors du mouvement des plaques de sable, sont rarement harmonieuses. Causées par le frottement de grandes quantités de sable, elles sont sourdes, voire assourdissantes, et les vibrations qui les accompagnent peuvent être si fortes qu'elles renversent un individu.

Examinons les phénomènes agissant sur les grains. La taille moyenne de ces derniers, qu'ils produisent des sons ou non, est de l'ordre de 0,3 millimètre. Habituellement les grains des dunes mugissantes sont de tailles très homogènes, en particulier au sommet de la crête, d'où le son est généralement émis. Une telle homogénéité favorise le glissement des couches de sables : si des grains de différentes tailles étaient mélangés, les petits grains viendraient entraver le mouvement des plus gros.

Toutefois, cette seule homogénéité n'explique pas toutes les émissions sonores. En Libye, dans le Korizo ou dans le Gelf Kebib, la règle semble même violée : les grains sont de tailles exceptionnellement variées. De surcroît, des dunes parfaitement silencieuses contiennent quelquefois des grains similaires aux grains de dunes sonores.

En revanche, les grains de sable des dunes mugissantes ont souvent

des surfaces inhabituellement régulières, avec des défauts de taille inférieure à quelques micromètres. Ces dunes, aux confins de grandes étendues de sable, sont composées de grains qui se sont usés en roulant dans le désert sur de longues distances. De même, les grains remaniés pendant très longtemps au cours des mouvements des dunes sont érodés. Les sables qui crissent, également, sont généralement très lisses.

Un examen attentif des sables des dunes mugissantes des Montagnes de sable ou du Kalahari montre pourtant que les grains ne sont pas tous sphériques ou fortement usés. En 1936, à Pretoria, A.D. Lewis obtint des émissions sonores à partir de grains de sel de forme cubique. Inversement, on n'a pas obtenu de sons avec des billes de verre : si la régularité de la surface des grains est une condition nécessaire à l'émission de sons, une rugosité minimale demeure indispensable.

En outre, l'humidité du sable peut modifier les frottements entre les grains ou provoquer des agrégations qui bloquent les mouvements de cisaillement. Les émissions de sons se produisent dans la partie des dunes qui sèche le plus vite : bien que les précipitations soient rares dans le désert, les dunes retiennent bien l'eau,

mais le sable sèche rapidement près de la surface et, notamment, près de la crête des dunes.

Dans la partie de la crête située sous le vent, la régularité des grains et l'absence d'humidité favorisent la production de sons au cours des mouvements du sable : comme le vent dépose préférentiellement ce dernier près du sommet, sur le bord versant de la dune, la pente augmente lentement jusqu'à ce qu'une avalanche se produise.

Généralement les avalanches se manifestent sous la forme du glissement de grandes plaques, qui se détachent du sommet des dunes. Dans les dunes mugissantes, ces plaques ne ralentissent pas lorsqu'elles glissent sur des pentes plus faibles, mais leur partie supérieure s'effondre et percute leur partie inférieure, comme une vague qui déferle. La rupture finale de la plaque de sable est inhabituellement turbulente.

Un siècle d'études

L'étude des sables mugissants a été compliquée par la rareté du phénomène et par la difficulté de reproduire des mugissements au laboratoire. De surcroît, la confusion qui a régné pendant des années entre les crissements et les autres émissions sonores gêne la lecture des articles scientifiques anciens.

Le géologue américain Carrington Bolton publia l'une des premières études consacrées à ce phénomène en 1889 : il proposa que les émissions sonores soient dues à un mince film d'impuretés qui auraient été progressivement déposées par l'évaporation de l'eau. Les vibrations de l'air, entre les plans de cisaillement, auraient été à l'origine des émissions sonores. L'intensité et la hauteur des sons auraient été déterminés par les caractéristiques des grains. Bien qu'il se soit plus particulièrement intéressé aux crissements, C. Bolton utilisa le même modèle pour expliquer les émissions sonores des dunes mugissantes.

À la même époque, le Britannique Cecil Carus-Wilson proposa que les crissements soient dus aux frottements entre les grains. Il fut le premier à établir de manière crédible que les grains des sables mugissants étaient habituellement sphériques, très érodés et de tailles homogènes. Ces idées furent



Laurie Grace



Montagnes de sable, Nevada

Avec l'autorisation de Michael Bratz



Dunes de Kelso, Californie

Terrence Moore



Dunhuang, Chine

Douglas Vaughn, Peter Arnold, Inc.



Dunes de Namid, Namibie

Jim Brandenburg, Minden Pictures

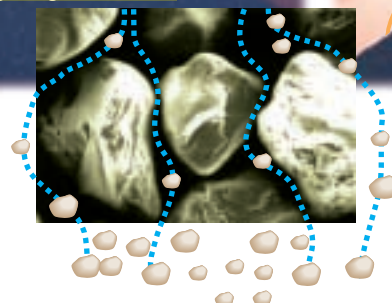
2. DES SABLES MUGISSANTS ont été entendus dans l'ensemble du monde (*points rouges*). Quelques dunes mugissantes sont représentées dans la partie inférieure de l'image.



Le vent transporte le sable sur de longues distances ; il le polit et modèle les dunes.



La pluie élimine les poussières qui bloquent le mouvement des gros grains.



3. LES DUNES émettent des sons lorsque plusieurs conditions sont réunies. D'abord, des grains propres, secs et polis doivent être rassemblés au sommet de la dune. Une avalanche peut alors se produire lorsque la dune fait un angle de plus de 35 degrés environ. Les couches supérieures de sable se déplacent alors plus rapidement que les couches inférieures (schéma a, page ci-contre), se décalant alternativement vers le haut et vers le bas entre les grains (b, c, d). Ces mouvements répétitifs et organisés provoquent l'émission de sons.



Avec l'autorisation de F. Nori, P. Schultz et M. Bretz



4. LES GRAINS du sable recueilli sur une plage du lac Huron, dans le Michigan, sont anguleux (micrographie électronique de gauche). Les grains du sable crisseur des plages du lac Michigan

sont plus lisses (au milieu), tandis que le sable mugissant des Montagnes de sable (Nevada) présente des grains encore plus réguliers (à droite).

a posteriori quantifiées par D. Criswell et ses collaborateurs.

Puis, en 1966, l'ingénieur britannique R.A. Bagnold publia, dans les *Comptes rendus de l'académie royale des sciences britannique*, un article sur les contraintes dans les sables secs, les mécanismes de déplacement des grains et leurs relations avec l'émission sonore. Bagnold proposa que les crissements et les autres émissions sonores aient la même cause : la «dilatance» (voir la figure 3, à droite). Cette dilatance correspond à l'augmentation de volume qui résulte du glissement des grains, qui doivent se soulever un peu pour changer de position, en descendant d'un tas. De ce fait, lors du glissement d'une plaque, le volume d'air compris dans un tas (ou dans une dune) augmente et diminue alternativement, à mesure que les grains en mouvement se logent entre les grains inférieurs, puis se soulèvent.

Dans cette hypothèse d'un son dû à la dilatance, les fréquences des

sons produits par la vibration collective des grains varient comme l'inverse de la racine carrée de la taille moyenne des grains. Bien qu'élégant, le mécanisme ne permet pas de décrire complètement le phénomène des mugissements. Il n'explique pas, par exemple, comment quatre ou cinq modes de vibration sont engendrés à partir d'une seule avalanche de grains, et il n'explique pas non plus les sons graves et isolés qui accompagnent ce type d'événements.

Les théories de Bagnold s'appliquent mieux aux crissements : selon les contraintes appliquées, différents types de cisaillements se produisent sur des plans, de manière analogue à ce qui se passe lors des avalanches. Seule l'amplitude de la force appliquée est différente. Là où le simple poids du sable provoque l'avalanche et induit des résonances, la pression sous le pied provoque des contraintes qui se traduisent par des crissements et des craquements ; les fréquences des sons émis

dans ce cas sont mieux en accord avec la théorie de Bagnold que dans le cas des émissions sonores des dunes mugissantes.

Crissements dans les chants

Les sables des dunes mugissantes crissent-ils également ? Cette idée fut avancée dès 1889 : Bolton écrivit que les sables d'Hawaii possédaient à la fois les propriétés sonores de ceux des plages et des déserts. Pendant les avalanches, ils produisent des sons analogues à ceux d'une dune égyptienne – le Jebel Nagous – et des ululements analogues à ceux produits par des sables de plages comme les sables d'Eigg, en Écosse, ou ceux de Manchester, dans le Massachusetts, quand ils sont secoués dans un sac.

Au cours des années 1970, P. Haff réussit à produire des crissements de haute fréquence en utilisant des sables provenant des dunes mugissantes