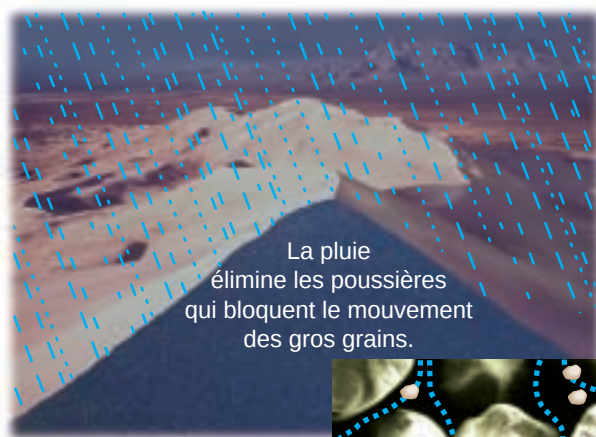




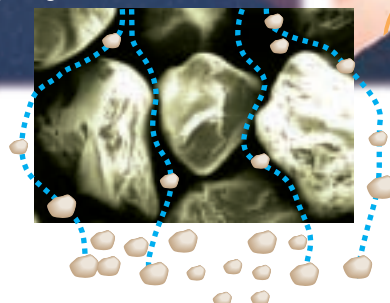
Le vent transporte le sable sur de longues distances ; il le polit et modèle les dunes.



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.



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.

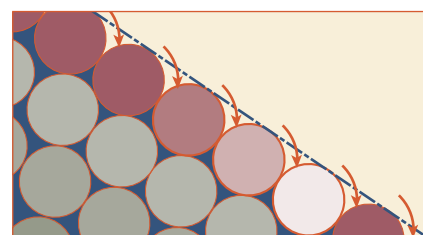
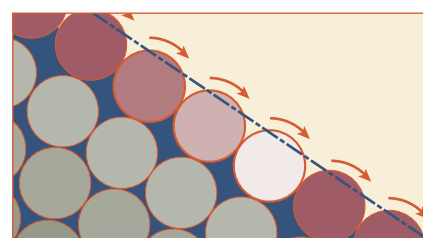
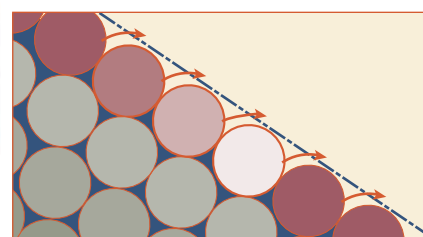
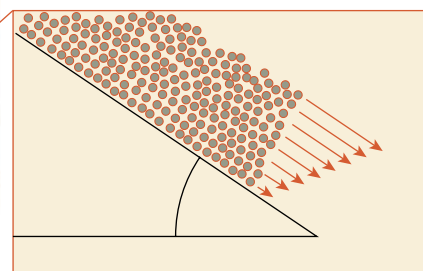
Au cours des années 1970, P. Haff réussit à produire des crissements de haute fréquence en utilisant des sables provenant des dunes mugissantes



Le soleil sèche les dunes pendant quelques semaines.



Quand la pente est inclinée à plus de 35°, une avalanche apparaît.



du Sud-Est de la Californie, confirmant la théorie de Bagnold : les seules différences entre les mugissements et les crissements résultent des mécanismes d'avalanche ou de compression qui les provoquent.

Il existe cependant des différences entre des sables mugissants que l'on peut faire crisser en laboratoire et les sables connus pour crisser dans leur milieu naturel : P. Haff a montré que les spectres des sables mugissants sont riches, tandis que ceux des crissements sont plus purs.

Quelques lois sont maintenant établies : tout d'abord, les dunes mugissantes sont éloignées de la source des sables ; les grains ont été ainsi transportés par le vent sur de longues distances, et ils ont été polis et triés avant d'être déposés au sommet des dunes. Les émissions ont lieu quand la pluie a chassé les poussières et les plus petites particules d'entre les grains : après un séchage d'une à deux semaines, le vent doit être suffisamment fort pour soulever le sable au-dessus de la crête de la dune et pour provoquer des avalanches.

Le paramètre le plus important pour l'émission sonore est la résistance du sable aux contraintes de cisaillement : un sable dont les grains sont trop serrés bouge difficilement, tandis qu'un sable aux grains plus espacés se comporte comme un fluide, qui transmet mal les contraintes de cisaillement. Si le mécanisme d'émission sonore reste insuffisamment connu dans le détail, on sait bien que les caractéristiques des grains déterminent les sons produits.

L'étude des sables d'Hawaii semble intéressante, car les dunes des îles de Kauai et de Niihau, en retrait des plages, sont les seuls exemples connus de dunes mugissantes qui

ne soient pas dans un désert. Leur sable, plus humide que celui des déserts, est composé de grains inhabituellement gros (de l'ordre de 0,46 millimètre de diamètre). En outre, la nature chimique des grains – du calcaire provenant de coquilles – est différente de celle des autres sables mugissants, tous composés de quartz. Comme l'exception permet de mieux comprendre la règle, l'étude de ces sables pourrait être très profitable. Les sons de ces sables peuvent être reproduits dans des récipients ou dans des sacs, mais, pour vraiment comprendre comment ils sont émis, un examen approfondi du processus de cisaillement est nécessaire. On pourrait notamment effectuer une analyse radiographique, afin de comprendre la propagation des contraintes de cisaillement.

La piézo-électricité des grains de sable doit également être explorée : lorsqu'un grain de silice est comprimé, des charges électriques de signes opposés apparaissent à ses extrémités. Ces charges peuvent contribuer à provoquer une attraction mutuelle des grains de sable. En 1936, Lewis a observé sur les glissements lents des sables mugissants du Kalahari que les grains se collaient les uns aux autres pour former des filaments de plusieurs centimètres. À l'aide d'électroscopes, on a vérifié que ces ensembles sont chargés électriquement, mais on ignore si la neutralisation des charges électriques dans le sable a une influence sur les sons émis. De même, on n'a pas établi que la présence d'effets électriques explique l'absence d'émissions sonores dans les sables humides.

L'analyse de la composition minérale des grains des sables constitue enfin une voie de recherche promet-

teuse pour mieux comprendre l'importance des phénomènes de cisaillement : connaissant cette composition, les chimistes pourront fabriquer des sables mugissants synthétiques, avec lesquels les physiciens essaieront de résoudre le mystère des sables qui chantent.

Franco NORI, Paul SHOLTZ et Michael BRETZ étudient les sables mugissants à l'Université d'Ann Arbor.

R.A. BAGNOLD, *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, Methuen, Londres, 1954.

J.F. LINDSAY, D.R. CRISWELL, T.L. CRISWELL et R.S. CRISWELL, *Sound-Producing Dune and Beach Sand*, in *Geological Society of America Bulletin*, vol. 87, pp. 463-473, 1976.

Paul SHOLTZ, Michael BRETZ et Franco NORI, *Sound-Producing Sand Avalanches*, à l'adresse : http://www-personal.engin.umich.edu/~nori/booming_sand.html du réseau Internet.