

à-dire du volume relatif que les grains occupent. Bien que la fourchette de compacité d'un milieu du type du sable du désert soit restreinte (entre 58 et 63 pour cent), un tel milieu se comporte très différemment selon sa compacité : en réaction à une perturbation, des grains peu tassés s'écoulent comme un liquide, tandis que des grains très tassés s'écoulent par à-coups quand un objet se fraye un passage entre eux.

La modélisation d'un tel comportement constitue un défi, car on ne connaît pas de loi physique décrivant un écoulement où coexistent un état solide et un état liquide. Une méthode fructueuse – la dynamique moléculaire – consiste à suivre par ordinateur le mouvement et les interactions de millions de grains individuels soumis aux lois de la collision et de la gravité. Une fois validés, ces modèles donnent une idée des écoulements de particules, fonctionnant comme un microscope virtuel à l'intérieur du matériau.

Sans les pattes

Comment un poisson des sables se déplace-t-il dans son milieu ? L'animal utilise-t-il ses membres pour pagayer ou frétille-t-il comme une anguille ? Comment se comporte le sable quand la tête y a pénétré ? Reste-t-il fluide ou se solidifie-t-il sous la perturbation ? Quelle fluidité présente-t-il lorsque la suite du corps s'enfouit ? Des changements de compacité du matériau modifient-ils le mouvement du poisson des sables ? Pour étudier ces questions, l'un de nos doctorants, Ryan Maladen, a utilisé une combinaison de techniques d'imagerie à rayons X pour visualiser les mouvements du reptile sous le sable.

Pour contrôler la compacité du sable, les grains sont placés dans un bac à fond poreux. Un flux d'air traversant ce fond les pousse vers le haut. Lorsque son intensité est suffisante, les grains s'agitent comme un fluide et, une fois le flux d'air arrêté, s'arrangent dans un état de faible compacité. Différents degrés de compacité sont ensuite provoqués par des jets d'air ou des vibrations contrôlées. Le poisson des sables est placé dans un enclos relié au bac. Quand on soulève la porte de l'enclos, l'animal se précipite vers le sable, le dos raide, en utilisant ses membres pour se propulser. Une caméra rapide révèle qu'il s'y enfouit en combinant les mouvements de son corps et la poussée



4. UN SERPENT DES BLÉS glissant sur de la gélatine photo-élastique illuminée par dessous et filmé entre des filtres à polarisation croisée. Initialement, l'orientation des filtres empêche la lumière polarisée de parvenir à la caméra, mais quand le serpent appuie sur la gélatine, il y a rotation de la polarisation de la lumière, ce qui permet à la caméra de la détecter (les zones lumineuses sous le serpent). Cette technique visualise les points de contact du serpent avec le sol.



5. LE POISSON DES SABLES, qui vit dans les déserts d'Afrique du Nord, utilise son groin en forme de pelle (a), sa peau lisse et son puissant corps se tortillant dans le sable. Il avance ainsi à une vitesse atteignant deux longueurs de corps par seconde. Le reptile, long de dix centimètres, peut s'enfouir en moins d'une seconde (b). En surface, il utilise ses membres pour se déplacer, mais sous le sable, il se déplace uniquement en propageant une onde sinusoïdale le long de son corps (c, observé aux rayons X).

de ses membres. Très bref, le temps d'enfouissement ne dépend pas de la compacité du sable.

Le déplacement du reptile dans le matériau est suivi à l'aide d'une caméra rapide à rayons X. Le sable (et le lézard) est placé entre une source de rayons X et une matière scintillante qui convertit les photons X en électrons ; ces derniers frappent une autre surface qui émet alors de la lumière visible, laquelle est ensuite captée par une caméra conventionnelle à grande vitesse.

La première fois que nous avons observé le déplacement du poisson des sables sous la surface, nous avons constaté qu'il avançait à une vitesse d'environ deux longueurs de corps par seconde, en se tortillant et sans se servir de ses pattes, se déplaçant plus vite que des serpents de lait sur un sol plat. Le lézard nageait jusqu'à une profondeur d'environ quatre centimètres, puis s'arrêtait, se sentant probablement en sécurité. Il avançait en propageant une onde sinusoïdale de déplacement de la tête vers la queue à une fréquence donnée (plus la fréquence était élevée, plus il allait vite). Dans un milieu très compacté, l'animal utilisait des fréquences allant jusqu'à quatre ondulations par seconde.

En augmentant la compacité, nous nous attendions à ce que l'animal ralentisse. Des mesures effectuées sur de petites tiges dans des milieux granulaires avaient montré que la force de traînée (la composante du frottement qui s'oppose au mouvement) dans du sable très tassé est presque le double de celle mesurée dans un sable peu compact (voir l'encadré page 73). À notre grande surprise, la compacité n'avait aucun