



TRANTOR DESERT est le titre de cette autre œuvre de Jérémie Brunet. Trantor désigne la planète capitale de l'Empire galactique, dans les romans d'Isaac Asimov (*Cycle de l'Empire* et *Cycle de Fondation*).

fonctionnent, comment elles se combinent est une activité de nature mathématique.

La répugnance des mathématiciens à sortir du schéma axiomatique a déjà eu comme conséquence que les probabilités (domaine où la modélisation est importante et n'est pas une activité de type définition-théorème-démonstration) et la logique mathématique (où les aspects philosophiques des problèmes organisent une part importante du travail) n'ont été acceptées que tardivement.

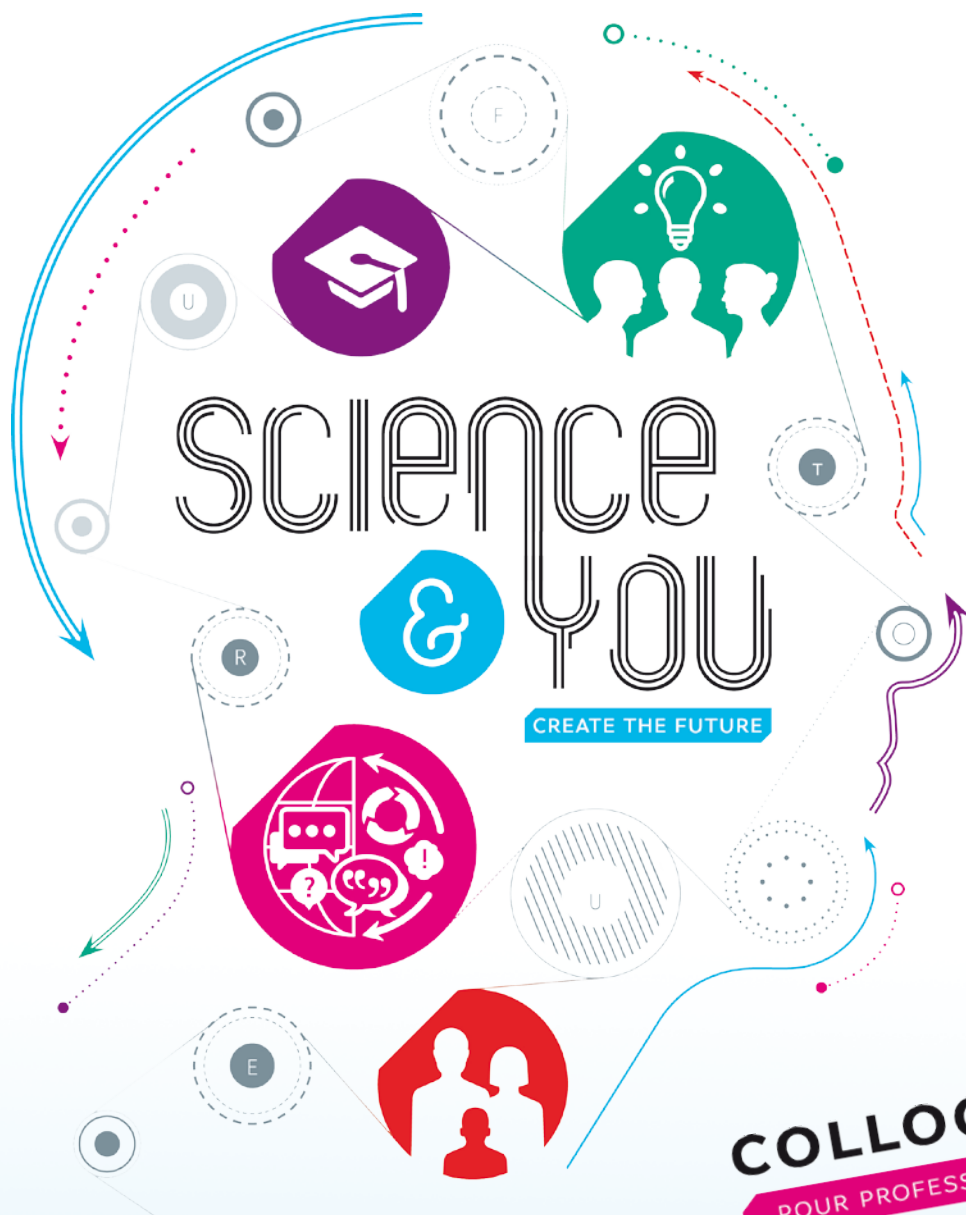
Vers la reconnaissance ?

Il est peu probable que la communauté mathématique soit prête à englober l'activité d'élaboration de méthodes nouvelles pour étendre le domaine des fractales et en maîtriser mieux la production et l'exploration. Mais gageons qu'à long terme, il est inévitable que cette reconnaissance se produise.

Le travail de pionnier de Benoît Mandelbrot sur les fractales a lui aussi été hors norme et hors circuit. Se moquant un peu des usages et de la frontière des disciplines, il a été un moteur essentiel au développement d'une multitude de travaux utilisant l'idée des fractales. Ces travaux ont touché les mathématiques, la physique, la biologie, l'astrophysique, l'économie et l'art. Aujourd'hui, des dizaines de livres et des milliers d'articles ont été écrits sur les fractales, qui sont un sujet transversal concernant toutes les sciences et bien au-delà. Leur existence, comme l'émergence d'un authentique art fractal, perturbe nos certitudes sur les frontières entre la science et l'art. ■



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr



2 AU 6 JUIN 2015
NANCY | FRANCE
CENTRE PROUVÉ

UN ÉVÉNEMENT CULTUREL ET SCIENTIFIQUE
D'ENVERGURE INTERNATIONALE
4 JOURS DE CONFÉRENCES, D'ATELIERS ET D'ANIMATIONS !

COLLOQUE
POUR PROFESSIONNELS
FORMATION
POUR DOCTORANTS
FORUM
SCIENCES & CULTURES
**ÉVÉNEMENTS
CULTURELS**
SUR LES SCIENCES

    science-and-you.com
[#SciYou2015](https://twitter.com/SciYou2015)

SCIENCE & FICTION

Tempête de sable sur Dune

Balayée par le vent, la planète Dune, au cœur d'une tragédie grecque futuriste, est recouverte d'un désert de sable. Ce paysage est-il réaliste ?

Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

S'il est une planète imaginaire célèbre, c'est bien Arrakis, plus connue sous le nom de Dune. Ce corps céleste est le principal lieu d'action du roman éponyme de Frank Herbert, publié en 1965 et devenu une œuvre incontournable de la science-fiction. Dans ce splendide *space opera*, l'univers connu est gouverné par un tyran, l'empereur Shaddam IV, qui sera renversé par la révolte des natifs de Dune (les *Fremens*) guidés par leur nouveau chef, Paul Atréides. Au cours des nombreux opus de la saga, l'auteur prend un soin particulier à décrire le monde où se déroulent les diverses intrigues et autres complots. Aussi fictive soit-elle, Arrakis soulève des questions en matière de géologie et de planétologie. Sans équivalent dans le Système solaire, un tel corps est-il plausible dans d'autres systèmes planétaires ?

Dune, comme Tatouine dans la saga *Star Wars*, est une planète tellurique et désertique, une «*exo-Terre*» au climat très aride. Mais si Tatouine présente de nombreux canyons, montagnes et vallées, Dune est principalement recouverte de sable, à l'exception de quelques rochers, d'une grande falaise et d'une calotte glaciaire très réduite au Nord — elle n'apparaît d'ailleurs pas dans l'adaptation du roman au cinéma par David Lynch (1984). Les précipitations y sont quasi nulles et sa surface est balayée en permanence par de violentes tempêtes de sable dont les vents peuvent atteindre plusieurs centaines de kilomètres par heure.



LA SAGA DUNE de Frank Herbert a été enrichie par de nombreux ouvrages de son fils Brian Herbert et du romancier Kevin Anderson, tel *La Maison des Atréides* (ci-dessus), qui trace la jeunesse du duc Leto Atréides.

Du vent, du sable, des dunes : sur Terre, un tel paysage évoque le désert ou la plage (on parle alors de dunes littorales). À l'intérieur des continents, il est souvent le résultat de l'aridification et de la dégradation des sols, processus mieux connu sous le terme de désertification. Ce phénomène, amplifié par le réchauffement climatique, symbolise la mort environnementale d'une région, voire d'une planète tout entière à la suite d'une catastrophe écologique majeure. Ce n'est pas pour rien que les déserts servent aussi de décors aux œuvres dites «*post-apocalyptiques*» comme *Mad Max* (dont un nouvel opus réalisé par George Miller sortira en mai 2015).

Dans son roman, Herbert nous explique que la désertification de Dune a été causée non pas par la folie des hommes, mais par l'introduction d'une espèce exotique, le ver géant des sables, dont les larves (nommées «*truites des sables*» par les *Fremens*) ont besoin de beaucoup d'eau pour atteindre leur taille adulte — estimée à près de 400 mètres de long ! Ces vers géants, qui ne supportent plus l'eau une fois arrivés à maturité, secrètent l'Épice, une drogue psychoactive très prisée dans la Galaxie car elle prolonge la vie et permet de courber l'espace pour voyager d'une étoile à une autre.

En géomorphologie, il existe plusieurs types de déserts. Le paysage rencontré sur la planète Dune se rapproche de ce que l'on nomme sur Terre un *erg*. Dérivé de l'arabe «*irq*», ce terme désigne un désert de dunes,



COUVERTE DE SABLE, LA PLANÈTE DUNE présente aussi une falaise dans l'hémisphère Sud. Celle-ci empêche les vers géants d'envahir le reste de l'astre. Sa forme en marches d'escalier (ou « grabens ») trahit une intense activité tectonique.

c'est-à-dire une zone où le sable est déposé par le vent – on parle de sédimentation éolienne. Il se distingue du reg, désert de pierre correspondant à une zone caillouteuse où les fines particules sont arrachées par le vent – on parle cette fois d'érosion éolienne. Notons que ces particules peuvent être transportées sur de grandes distances. Ainsi, le sirocco, vent saharien très sec, traverse la mer Méditerranée et peut déposer du sable jusqu'au cœur des Alpes !

Reg et erg sont donc intimement liés, le premier fournissant une grande partie de la matière première – le sable – au second. Dans le Sahara par exemple, les dunes représentent seulement 20 % de la superficie totale du désert. Ce n'est pas le cas sur Arrakis, dont la surface ne présente aucun reg... Mais alors d'où vient le sable de Dune ?

Sur Terre, le sable naturel est un matériau très particulier et de plus en plus rare, notamment à cause de son exploitation : environ 15 milliards de tonnes sont consommées chaque année surtout pour la maçonnerie et la fabrication du verre. Sédiment détritique, il peut avoir une origine minérale (il résulte de l'érosion de roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques) ou organique (il est alors composé de débris de coquilles, corail, etc.). Sa composition varie donc en fonction de son origine, celle-ci pouvant être renseignée par la couleur dominante : un sable blanc est souvent coquillier (c'est-à-dire calcaire), parfois gypseux. Noir, il est plutôt volcanique, tan-

dis que rouge, comme sur Mars, il témoigne de la présence d'oxydes de fer. Le sable de Dune est jaune, ce qui suggère une composition plutôt à base de silice, comme c'est le cas de la majorité des sables terriens. L'adaptation de David Lynch a d'ailleurs été réalisée dans le désert du Mexique : le tournage a duré un an et s'est effectué dans des conditions très difficiles, car d'authentiques tempêtes de sable ont régulièrement causé des dégâts.

Mer, vent et vers : aux origines du sable

Sur Dune, la présence d'une telle quantité de sable siliceux implique l'existence d'une croûte de roches silicatées en profondeur. Cette hypothèse est confirmée par le mode de vie des Fremens décrit dans le roman : ils vivent en sous-sol, dans des anfractuosités et des grottes, et récupèrent l'eau dans des réserves souterraines. Cette croûte de roches pourrait s'éroder en formant du sable en surface. Les vents violents qui fouettent la surface de Dune ne sont pas les seuls agents érosifs qui donnent du sable. La tectonique des plaques formant des reliefs qui s'érodent et se transforment en sable est une possibilité. La présence d'une énorme falaise – qui cantonne les vers dans la partie Sud de la planète – est un signe d'une tectonique des plaques active. La mer est aussi une source d'érosion. Herbert mentionne la présence de

grandes étendues de sable salé qui témoigneraient de la présence ancienne d'une mer sur Dune. Enfin, les vers géants eux-mêmes peuvent participer à la formation du sable car ils sont psammivores, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent des matières organiques contenues dans les sédiments (un peu comme les arénicoles ou « vers de vase » qui existent réellement).

Par ailleurs, un ver géant d'environ 400 mètres de long et 80 mètres de diamètre, même s'il est en partie creux, a une masse considérable que nous estimons à plus de 800 000 tonnes. Pour que de tels animaux puissent évoluer sans trop de peine sur et dans le sable, il faut aussi que la gravité de Dune soit assez faible. Ainsi, la planète Mars, notre voisine, a de nombreux points communs avec Arrakis : une gravité faible, un environnement désertique rocheux qui présente aussi des champs dunaires de formes très variées. La différence entre les deux planètes est peut-être dans l'atmosphère ténue de Mars. L'érosion y est peu intense et les dunes s'y forment et se modifient lentement. Si l'atmosphère était plus épaisse, l'érosion aurait remodelé la surface de la planète à l'image d'Arrakis. Ainsi, on peut penser que, quelque part dans la Galaxie, il existe une exoplanète ressemblant à Dune. ■

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

ART & SCIENCE

Artistes et climat : des relations qui se réchauffent

Les artistes s'emparent de plus en plus des questions climatiques. Par exemple, l'Argentin Tomás Saraceno nous invite à envisager des modes de vie différents en prévision des bouleversements à venir.

Loïc MANGIN

Vendredi 13 février, à Genève, s'est achevée la première session préparatoire de la Conférence mondiale sur le climat (la COP21) qui aura lieu à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015. Après une semaine de tractations, 195 États sont tombés d'accord sur un texte sur lequel s'appuieront les futures négociations visant à maintenir le réchauffement sous la barre des deux degrés. Ce premier

« succès » encourageant coïncide avec le dixième anniversaire du protocole de Kyoto, entré en vigueur le 16 février 2005. C'était le premier traité mondial de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le climat va ainsi occuper le devant de la scène au cours des prochains mois, au moins jusqu'au début de 2016. Il sera au cœur des préoccupations des diplomates, des gouvernements, des délégués... Mais ces personnages officiels ne sont pas les

seuls à s'emparer du sujet. Depuis quelques années, on doit aussi compter avec des artistes, de plus en nombreux à faire des enjeux planétaires un thème central de leurs œuvres. Et ils s'organisent !

Par exemple, *Art of Change 21* est une association créée en 2014 en vue de la COP21. Elle réunit artistes, entrepreneurs sociaux et personnalités engagées contre le réchauffement climatique. Son ambition est de peser suffisamment sur la conférence. Parmi les artistes acteurs du projet, figurent Olafur Eliasson, l'un des parrains de l'initiative, le photographe Pierre de Vallombreuse, Liao Wenfeng, Nathalie Jeremijenko, etc. *Art of Change 21* est labellisé « Agenda Positif » par le comité de pilotage ministériel de la COP21.

Attardons-nous sur un artiste qui est lui aussi concerné par les risques liés au changement climatique. L'Argentin Tomás Saraceno était l'un des invités de l'exposition *Rethink – Contemporary Art & Climate Change* présentée dans quatre lieux culturels de Copenhague. C'était en décembre 2009, quand la capitale danoise accueillait la... COP15 !

L'artiste y présentait ses *Biosphères* (photographie page ci-contre, lors d'une exposition à Berlin). Ce sont des bulles de



Kunstsammlung Nordrhein-Westfalen

In Orbit est une toile d'araignée géante ponctuée de sphères transparentes. Elle est visible et praticable jusqu'à la fin de l'année 2015 au Kunstsammlung Nordrhein-Westfalen, à Düsseldorf, en Allemagne.

© Hamburger Bahnhof, Berlin

plastique suspendues, le public pouvant pénétrer dans deux d'entre elles. D'autres contiennent de l'eau, d'autres encore abritent des plantes. On peut voir dans ces bulles une métaphore de ce que pourrait être le destin de nos descendants : vivre reclus dans des milieux confinés, coupés du reste de la planète devenu inhospitalier. Selon Tomás Saraceno, c'est bien le rôle de l'art : « nous faire réfléchir à des choses que l'on pensait établies. »

Ses œuvres, inspirées par des bulles de savon, les toiles d'araignées (*voir sa dernière installation page ci-contre*), les réseaux de neurones, la forme des nuages... invitent à

poser un regard différent sur l'environnement et à imaginer des modes de vie alternatifs.

On a longtemps reproché aux artistes de ne pas s'intéresser au changement climatique et à ses conséquences. Cette époque semble aujourd'hui révolue. L'art joue désormais un rôle dans l'ancrage de la question climatique dans le monde réel, ancrage qu'appellent de leurs vœux le sociologue Stefan Aykut et l'historienne des sciences Amy Dahan dans *Gouverner le climat ?*, leur dernier ouvrage. ■

Tomás Saraceno : www.tomassaraceno.com
Art of Change 21 : <http://artofchange21.com>

Les *Biosphères* de Tomás Saraceno exposées en 2011 et 2012 au Musée d'Art contemporain de Berlin, situé dans l'ancienne gare de Hambourg.



IDÉES DE PHYSIQUE

Le tireur embusqué des mangroves

Le poisson-archer projette sur ses proies un puissant jet d'eau. Une technique de chasse dont l'efficacité repose sur un contrôle hydrodynamique précis.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Tout fut tellement rapide que Dédée l'araignée n'a pas compris ce qui lui arrivait. Accrochée sous une feuille, elle ne vit pas le projectile liquide monter vers elle à plus de 20 kilomètres à l'heure. Le choc fut violent : trou noir, chute et fin de vie dans le gosier de Toxote, le tueur des mangroves, un des membres du gang des poissons-archers. Comment opère ce tueur en série, du clan *Toxotes jaculatrix* ? Nos limiers physiiciens mènent l'enquête.

Nous nous renseignons auprès d'un de nos indicateurs, Léon le Caméléon, un expert

dans l'attaque à distance. « Dégommer les insectes, ce n'est pas pour les bleus », nous explique-t-il. « Araignées, lucioles et autres friandises sont solidement accrochées à leur végétal, avec une force de 20 à 40 millinewtons. Si vous voulez les atteindre à distance et les décrocher, il faut asséner un coup puissant. »

Léon nous révèle que, pour projeter sa langue à 20 kilomètres par heure, il stocke progressivement l'énergie dans des fibres élastiques de collagène. Il relâche alors ses muscles, qui agissent comme une gâchette libérant un ressort : la langue se détend en

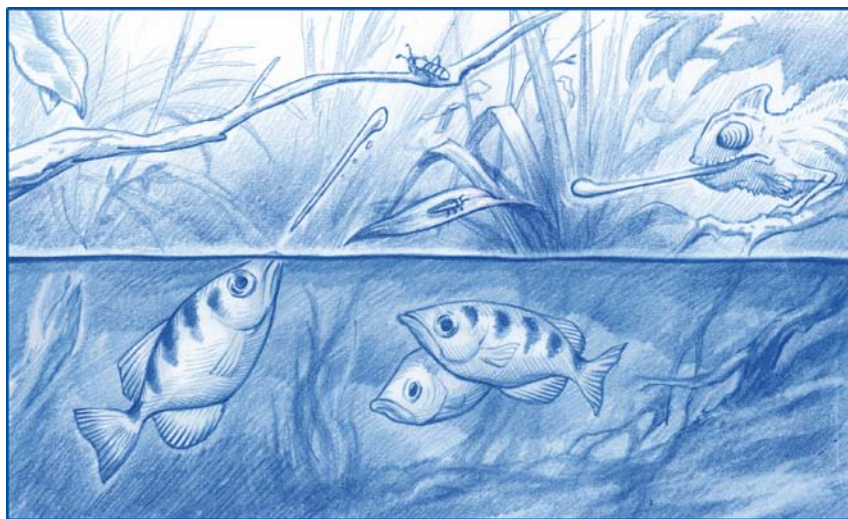
1/25^e de seconde avec une puissance de 3 000 watts par kilogramme, six fois plus que celle atteinte par un muscle de vertébré. Et Toxote, notre suspect, comment fait-il pour concentrer la puissance ?

La puissance concentrée à l'avant du jet

Nous commençons donc à examiner en détail le poisson-archer. L'anatomie et la physiologie de sa bouche ne montrent hélas aucune trace de mécanisme amplificateur ou de stockage d'énergie. On voit juste que sa langue peut s'appuyer contre un sillon tracé dans son palais et former comme un canon de fusil où l'eau s'engouffre lorsque le poisson referme ses branchies. Ferions-nous fausse route ? Une planque s'impose afin d'observer le mode opératoire du poisson.

Toxote ne perd pas de temps : il s'approche de la surface et émet un jet qui atteint sa proie, située 60 centimètres plus haut, en moins de 0,2 seconde. Décrochée, elle tombe à l'eau et le poisson-archer l'avale sur-le-champ. Mais comment parvient-il à concentrer assez d'énergie dans son projectile liquide ? L'analyse au ralenti de son forfait va nous renseigner.

Grâce à nos experts de l'Université de Bayreuth, le biophysicien Stefan Schuster et sa doctorante Peggy Gerullis, on constate que durant son avancée vers la cible, la tête du jet d'eau grossit et gagne en vitesse, passant de trois mètres par seconde en début



Dessins de Bruno Vacaro

LES POISSONS-ARCHERS, appartenant au genre *Toxotes*, vivent dans les estuaires et mangroves du Sud de l'Asie. Ils émettent un jet d'eau suffisamment précis et puissant pour faire tomber une proie perchée au-dessus de l'eau, à des hauteurs pouvant aller jusqu'à trois mètres.