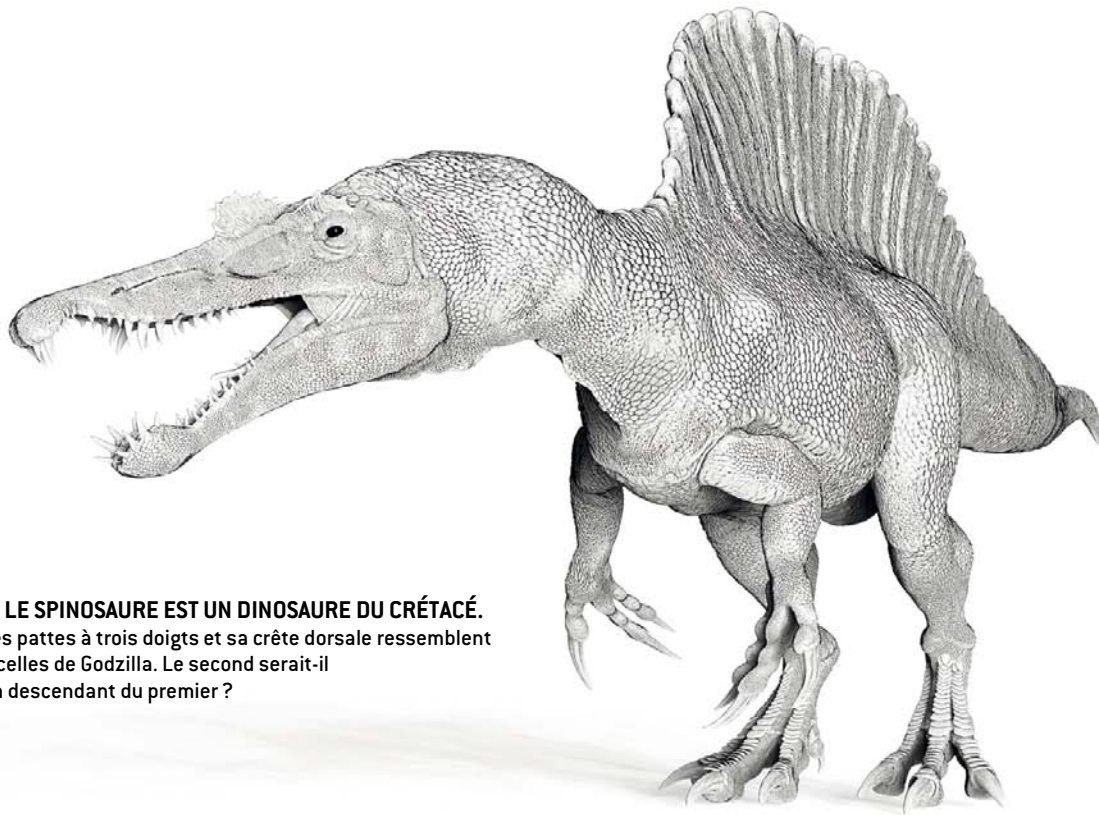




2. LE SPINOSAURE EST UN DINOSAURE DU CRÉTACÉ.

Ses pattes à trois doigts et sa crête dorsale ressemblent à celles de Godzilla. Le second serait-il un descendant du premier ?

américain de 1998 pour représenter l'origine reptilienne du dinosaure mutant. Bien qu'il affiche une origine marine, Godzilla est souvent considéré comme un dinosaure. Or les dinosaures n'étaient pas des animaux aquatiques, mais des reptiles essentiellement terrestres qui se déplaçaient à l'aide de leurs pattes situées sous le corps, comme les mammifères, et non sur le côté comme chez les autres reptiles « classiques ».

Néanmoins, les oiseaux sont des dinosaures à plumes et certains, tels les manchots, sont marins : il existe bien des dinosaures aquatiques. Admettons que les deux termes ne soient pas antinomiques et que Godzilla partage quelques caractères avec des dinosaures. Quels sont ces traits communs ? Dans les films, Godzilla semble être piscivore, ce qui le rapprocherait des spinosaures, groupe de théropodes (dinosaures bipèdes généralement prédateurs) à tête de crocodile et ayant vécu du Jurassique au Crétacé (il y a entre 155 et 85 millions d'années environ). Cette appartenance au groupe des théropodes est aussi cohérente avec le fait que Godzilla laisse dans certains films des traces tridactyles (à trois doigts) sur le sol. Cependant, dans le film de 1954, des traces de la plante du pied du monstre suggèrent une locomotion plantigrade alors que les théropodes étaient digitigrades.

Essayons tout de même de trouver des caractères dinosauriens au monstre : ses épines dorsales évoquent encore celles des spinosaures. Ces derniers arboraient une

crête sur le dos soutenue par des apophyses ou épines vertébrales (*spino* signifie épine en latin). Le problème est que les épines dorsales de Godzilla sont beaucoup plus crénelées et dentelées que celles des spinosaures.

Un géant hors normes

La taille de Godzilla en fait-elle alors un dinosaure ? Le squelette de *Spinosaurus aegyptiacus*, bien que fragmentaire (les fossiles originaux ont volé en éclats lors du bombardement de Munich par les Anglais en avril 1944), aurait atteint environ 14 mètres de longueur pour 6 mètres de hauteur, ce qui en ferait un des plus gros reptiles terrestres carnivores. Mais d'autres reptiles piscivores, tel l'ichtyosaure *Shastasaurus* du Trias, pouvaient dépasser 20 mètres de longueur. Ces records restent cependant ridicules par rapport à la taille de Godzilla qui augmente au cours de l'histoire du cinéma ! Dans la version japonaise de 1954, le monstre mesure environ 50 mètres alors qu'il atteint 150 mètres dans le dernier *remake*. Ces tailles démesurées correspondent à des masses corporelles estimées variant entre 6 000 et 150 000 tonnes : dans ce cas, on s'interroge sur la capacité du monstre à se déplacer sur la terre ferme sans s'effondrer sous son propre poids... Ses os sont-ils creux comme ceux des théropodes – oiseaux compris – ou des ptérosaures (reptiles volants du Mésozoïque) ? Le souci est que des os creux ne sont guère compatibles avec le

mode de vie amphibie ou aquatique de Godzilla : la plupart des reptiles et mammifères marins présentent au contraire des os souvent très denses, permettant de lester le corps pour optimiser le temps de plongée à grande profondeur. Godzilla serait-il alors doté de sacs aériens comme les oiseaux ou les insectes volants ? Hélas, les films ne nous renseignent pas sur le sujet.

Les différents films montrent d'ailleurs l'évolution de nos connaissances en paléontologie et en biologie de l'évolution. Ainsi, dans les années 1950, l'évolution était considérée comme une succession de « chaînons manquants » et non comme un processus buissonnant et aléatoire : Godzilla était alors une « créature intermédiaire » avec une mosaïque de caractères tels un buste de gorille et un museau d'ours. Le monstre pourrait donc se rapprocher des reptiles mammaliens plutôt que des dinosaures ! Rappelons que les reptiles mammaliens, apparus au Carbonifère – bien avant les dinosaures –, ont donné naissance aux mammifères. L'un des plus connus est le dimetrodon du Permien des États-Unis (âgé d'environ 270 millions d'années), féroce carnivore, quadrupède, souvent confondu avec un dinosaure. Il présente une belle crête dorsale composée de longues épines vertébrales. N'est-ce pas aussi le cas de Godzilla ? ■

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

ART & SCIENCE

Les folles créatures de la plage

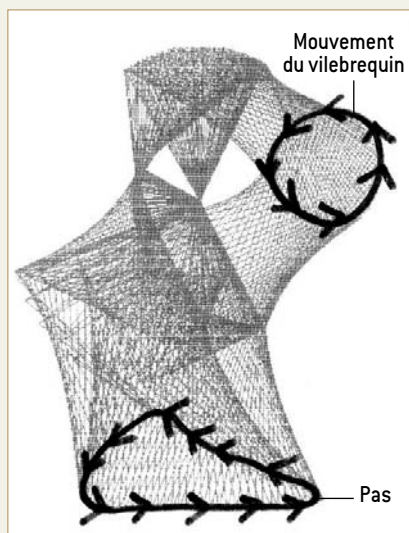
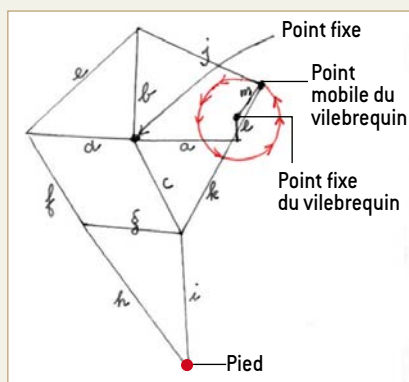
Des structures faites de tuyaux et de bouteilles en plastique arpentent les plages des Pays-Bas. Ces créatures ont été élaborées à partir d'algorithmes évolutionnistes qui imitent les principes de la sélection naturelle. Elles sont désormais exposées à Paris.

Loïc MANGIN

Jusqu'au 4 janvier 2015, les robots investissent la Cité des sciences et de l'industrie, à Paris, à l'occasion d'une exposition consacrée à l'art robotique. L'idée est de montrer des œuvres qui n'auraient jamais pu voir le jour sans un robot. Certaines sont constituées du robot lui-même, d'autres ont été créées grâce à l'intervention d'un robot qui n'apparaît pas.

Parmi les artistes invités, le sculpteur hollandais Theo Jansen est venu avec trois immenses créatures qu'il laisse d'ordinaire baguenauder en liberté sur les grandes plages de la mer du Nord : *Animaris Umerus*, *Animaris Ordis* et *Animaris Adulari* sont des sortes d'insectes géants, de plusieurs mètres de longueur, élaborés avec des tubes et des bouteilles en plastique fixés par du ruban adhésif (voir la photographie page ci-contre). Animés par le vent, ils se déplacent sur le sable à l'aide de leurs multiples pattes (voir la vidéo en lien avec le QR-code page suivante).

L'histoire de ces machines commence il y a plus de 25 ans quand T. Jansen, physicien de formation, s'intéresse à la théorie de l'évolution et au processus de sélection naturelle. Il applique ce dernier à des machines, d'abord virtuelles, qu'il met en compétition dans son ordinateur : seules celles qui se déplacent le mieux sont retenues pour subir une étape de modifications aléatoires (l'équivalent de mutations). La nouvelle population est à son tour testée, et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'« individus » performants. Les vainqueurs ont ensuite été construits avec



LES CRÉATURES se déplacent grâce aux mouvements de vilebrequins reliés aux pattes de la créature par plusieurs tiges en plastique (en haut). Ainsi, le mouvement circulaire est converti en un pas (en bas).

du matériel bon marché et « lâchés » dans la nature. Détaillons quelques-unes de leurs caractéristiques.

Certaines de ces créatures, qui se déplacent de façon autonome, ont en guise de poumons des bouteilles en plastique, où de l'air peut être comprimé grâce à des pompes actionnées par le vent via des ailettes en plastique. De la sorte, la machine dispose d'une réserve d'énergie pour mettre en branle ses membres, équipés de pistons qui font office de muscles. Ces pistons sont actionnés par l'air qui sort des bouteilles à travers de petits tuyaux.

Le déplacement des pattes commence par la rotation de vilebrequins (qui transforment le mouvement linéaire des pistons en un mouvement circulaire) disposés le long de l'ossature de la créature. Ce mouvement circulaire est converti en un mouvement triangulaire du pied correspondant grâce à 11 tiges en plastique (voir les figures ci-contre). Chaque fois que le pied touche le sol, il décrit une ligne horizontale et tire la structure. À l'extrémité de cette ligne, le pied se soulève pour parcourir le reste du triangle arrondi, tandis que d'autres pieds prennent la relève.

L'algorithmique évolutionniste s'est ici révélée précieuse pour déterminer les longueurs de chacune des 11 tiges (de a à k sur la figure ci-contre en haut, la tige m correspondant au vilebrequin et la tige l étant accessoire). En effet, le mouvement du pied dépend beaucoup des proportions de ces

éléments. Or le nombre de combinaisons possibles est immense, même pour un ordinateur : il est impossible de les tester toutes.

L'artiste est parti d'une population de 1 500 pattes aléatoires qu'il a soumises au processus de mutations et de sélection. Seuls les 100 meilleurs membres (qui s'approchaient le plus du pas idéal, c'est-à-dire le triangle arrondi) étaient conservés, les autres étant éliminés. L'étape de reproduction correspondait à un mélange des tiges sélectionnées de façon à confectionner une nouvelle population (les « parents » compris) de 1 500 pattes, celles-ci étant à

nouveau mises en compétition. Au terme de quelques mois de ce processus, l'ordinateur a livré les 11 longueurs optimales pour une marche performante.

Les créatures ainsi obtenues sont d'abord testées dans un bac à sable d'environ 500 mètres carrés avant d'être mises en conditions réelles sur une plage balayée par les vents. Les espèces se succèdent et les nouvelles remplacent les anciennes, celles-ci étant alors reléguées dans un « cimetière » où, le soleil et le vent aidant, le plastique prend progressivement l'apparence de vrais fossiles.

L'adaptation est parfois déroutante. Par exemple, dès que le vent souffle trop fort, la créature *Animaris Sabulosa* se fixe au sol en plantant un piquet avec un marteau, les deux éléments faisant partie de son anatomie ! Autre cas, *Animaris Rhinoceros* peut transporter un individu. T. Jansen espère qu'un jour ses créatures seront suffisamment indépendantes pour vivre leur vie, seules sur la plage, en toute autonomie... ■

J.-A. Meyer et A. Guillot, *Vers une robotique animale*, *Pour la Science*, n° 300, 2002.

Exposition à la Cité des sciences et de l'industrie : <http://bit.ly/1k1YbQ3>



Retrouvez ces créatures en mouvement
en flashant ce QR-code ou à l'adresse :
www.strandbeest.com



IDÉES DE PHYSIQUE

Charges en stock

Les supercondensateurs permettent d'emmagasinier ou de libérer rapidement de l'énergie électrique. Ils constituent des alternatives intéressantes aux batteries.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Recharger un véhicule électrique en seulement quelques minutes ? Si l'énergie est stockée dans des batteries, cela reste irréaliste. Mais de nouveaux types d'accumulateurs électriques, les supercondensateurs, le rendent possible. Ces dispositifs, dont la capacité est un millier de fois supérieure à celle des condensateurs classiques, deviennent incontournables dès qu'une application requiert une puissance instantanée très élevée ou répétée, de l'ouverture d'urgence des portes de l'Airbus A380 à l'alimentation d'une perceuse électrique. À quoi tiennent leur capacité décuplée et leur rapidité d'action ?

Une bouteille difficile à remplir

Un condensateur est un dispositif permettant de stocker des charges électriques. Son ancêtre, la bouteille de Leyde, inventée en 1745, va nous permettre d'en saisir le principe. Dans sa forme initiale, il s'agit d'une bouteille de verre emplies de feuilles d'étain chiffonnées et recouverte d'une feuille métallique à l'intérieur et à l'extérieur

1. LA BOUTEILLE DE LEYDE est l'ancêtre du condensateur électrique. Ses deux pôles sont constitués par ses surfaces métalliques interne et externe, isolées l'une de l'autre par la paroi de verre. En les reliant avec un conducteur électrique, le manipulateur crée un court-circuit et décharge le condensateur.

(voir la figure 1). Comment fonctionne-t-elle ? Imaginons qu'à l'aide d'un générateur, nous recueillons à l'intérieur de la bouteille le « fluide électrique », des électrons par exemple. Ces charges négatives, qui circulent au sein de l'étain, un très bon conducteur, se repoussent mutuellement jusqu'à atteindre la paroi métallique interne.

Quelle charge électrique totale la bouteille peut-elle contenir ? Elle est proportionnelle au potentiel électrique du générateur, et le coefficient de proportionnalité est la « capacité » du condensateur. En l'absence de feuille métallique extérieure, on constate que la capacité ne dépend essentiellement que du diamètre de la bouteille, et non de son volume. Avec une capacité de l'ordre d'un centième de nanofarad pour une dimension de dix centimètres, on ne stocke que 10^{-11} coulomb sous une tension de un

volt, c'est-à-dire 60 millions d'électrons ! Pourquoi aussi peu ?

Les charges de même signe se repoussant, il est difficile de les amasser. C'est pourquoi on recouvre la bouteille d'une feuille métallique. Cette dernière est reliée à la masse (il suffit de la tenir à la main !) lors de la charge. Soumise au champ électrique des charges à l'intérieur de la bouteille, la surface au contact du verre se couvre de charges opposées, jusqu'à ce que les charges en vis-à-vis se compensent. Cette astuce permet d'augmenter sensiblement la capacité, typiquement d'un facteur 100.

En pratique, pour réaliser un condensateur, nul besoin de bouteille : il suffit de disposer face à face deux conducteurs électriques, séparés par de l'air ou un autre isolant électrique. La capacité est alors proportionnelle à l'aire en vis-à-vis

