

les forces de frottement tendent à empêcher l'oscillation. Ainsi, une rotation dans un sens initial permet aux oscillations autour de l'axe b de s'amplifier rapidement. Ensuite, les forces de frottement qui accompagnent ces oscillations inversent le sens de rotation.

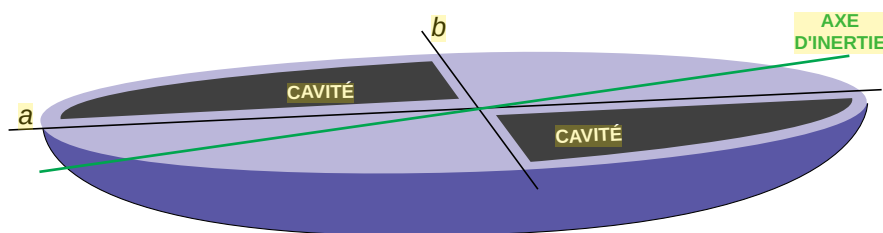
Si la pierre est lancée initialement dans le sens inverse (ou si l'on retourne l'anagyre et qu'on le lance dans le même sens, ce qui revient au même), c'est une autre instabilité qui est favorisée : celle qui accroît les oscillations autour de l'autre axe principal, l'axe a . Cette fois encore, en raison de la répartition des masses, l'amplitude de cette instabilité croît rapidement, et les forces de frottement qui agissent pendant ces oscillations arrêtent le mouvement giratoire et l'inversent. Si cette inversion est moins marquée que l'inversion précédente, c'est que le moment d'inertie associé à l'oscillation de roulis est inférieur.

Ainsi, l'énergie cinétique de rotation de départ diminue au profit de l'énergie potentielle d'oscillation, qui est ensuite convertie à nouveau en énergie cinétique de rotation. Théoriquement, si l'énergie n'était pas dissipée, on pourrait observer une infinité de rotations. En pratique, il existe des anagyres en forme de demi-œuf qui effectuent plus d'une dizaine d'inversions avant de s'arrêter.

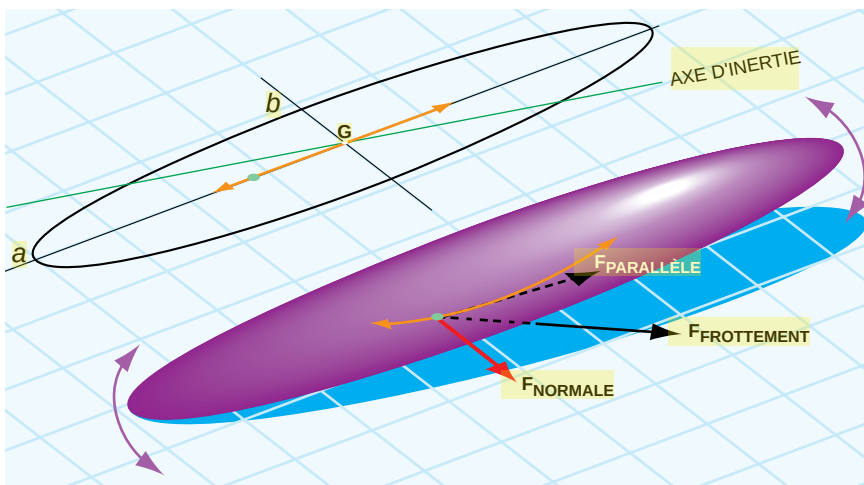
Une autre manière de comprendre l'inversion est de considérer les forces de frottement. Partons de l'oscillation principale d'avant en arrière qui fait suite à une rotation (voir la figure 3). Lorsque l'anagyre oscille de bas en haut, le point de contact entre l'anagyre et la table se déplace sur un segment. En chaque point du segment, la table exerce sur l'anagyre une force de frottement (une réaction) qui prévient le glissement. L'une des composantes de cette force tend à faire tourner l'anagyre autour de son axe vertical dans un sens donné : on dit que cette force engendre un moment par rapport au centre de gravité.

Pour compliquer le tout, le point de contact se déplace. La force change en permanence et le moment exercé par cette force change également. Le moment résultant qui s'exerce sur l'objet durant une oscillation est la moyenne des moments qui s'exercent au cours de l'oscillation. Lorsque l'on calcule cette moyenne, on obtient un moment résultant. Ainsi, par impulsions successives, l'anagyre se met à tourner dans le sens dicté par ce moment. Pour le vérifier, il suffit d'appuyer sur un bout de l'anagyre et de relâcher rapidement, sans lui donner de rotation.

Pour se procurer un anagyre ellipsoïdal, voir la page 33.



2. Des cavités percées de part et d'autre des axes de l'ellipsoïde engendrent une répartition asymétrique de la masse. Ainsi, l'axe d'inertie principal (l'axe autour duquel se répartit la masse) est décalé par rapport à l'axe de symétrie de l'ellipsoïde.



3. Lorsque l'on fait osciller l'anagyre de bas en haut (flèches violettes), le point de contact se déplace sur un segment (en orange). En raison de la répartition des masses, la table exerce sur l'anagyre, en chaque point du segment, une force de réaction qui s'oppose au glissement ($F_{\text{FROTTEMENT}}$). L'une des composantes de cette force (F_{NORMALE}) tend à faire tourner l'anagyre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

L'oscillation de roulis entraîne une rotation en sens inverse de celle engendrée par l'oscillation de bas en haut. Toutefois, le moment résultant est de moindre amplitude, ce qui explique pourquoi un sens de rotation est privilégié.

Le couplage entre la rotation et les modes d'oscillation varie avec le frottement. Un frottement trop important dissipe si vite la rotation de l'anagyre que celui-ci ne dispose pas d'assez d'énergie pour repartir en sens inverse. Un frottement trop faible limite la réaction, et le moment n'est pas suffisant pour inverser la rotation. Sur du verre, l'effet peut être moindre que sur du formica ou sur du marbre.

L'explication de cette énigme fait apparaître qu'il n'est pas nécessaire de disposer de deux points de contacts pour transmettre un mouvement de rotation à un mobile. Les sports de balles avec effet le montrent aussi (tennis, football). Pourtant, l'explication quantitative du comportement des anagyres, par exemple le calcul du nombre de tours avant l'inversion, nécessite la prise en compte de la dissipation par le frottement solide ainsi que le glissement, voire le frottement aérodynamique.

Si vous voulez construire vous-même votre anagyre, vous pouvez

utiliser du bois ou du plâtre, ou même une demi-coquille d'œuf. Deux ingrédients sont requis. Premièrement, la base tournante doit posséder deux rayons de courbure. Deuxièmement, la répartition des masses doit être décalée par rapport aux axes de symétrie ; pour cela, on peut soit évider des parties, comme pour l'anagyre décrit dans l'article, soit ajouter des masses décalées par rapport à l'axe de symétrie principal. Pour la coquille d'œuf, il suffit de coller des morceaux de chewing-gum de manière asymétrique. Une théorie complète reste à faire et nous publierons les analyses des lecteurs qui étudieront ce problème délicat.

Janick SIMERAY est l'inventeur du modèle d'anagyre à la forme symétrique.

A. GARCIA et M. HUBBARD, *Spin reversal of the rattleback : theory and experiment*, in *Proc. R. Soc. Lond.*, vol. A 418, pp 165-197, 1988.

J. WALKER, *Expérience d'amateur*, in *Pour la Science*, décembre 1979.

G.T. WALKER, *Q. Journal of pure and appl. Math.*, vol. 28, pp. 175-184, 1896.

Évolution

Oiseaux, merveilleux oiseaux. Les dialogues du ciel et de la vie

Hubert Reeves. Éditions du Seuil, 1998.

Un astrophysicien célèbre se penche sur notre planète Terre pour admirer le spectacle de sa vie et en sonder l'histoire ? Je suis d'emblée sous le charme, prêt à emprunter ses brisées. Pourtant les premières pages me déçoivent. En attendais-je trop ? Je poursuis la lecture ; parfois, mais parfois seulement, je suis séduit. Hubert Reeves aurait-il Janus dans sa parenté pour m'infliger ainsi la douche écossaise ? Ou bien l'accès à une vision sereine de ce monde flou et mou qu'est le vivant est-il plus difficile que ne le croient ceux qui ont l'habitude de la froide rigueur des chiffres et des lois de la physique céleste ?

Il est vrai que l'auteur a de l'ambition : il se donne 200 pages pour faire partager l'émerveillement qu'il éprouve au spectacle de la croissance de la complexité à l'échelle cosmique, et pour proposer quelques explications scientifiques de cette complexité. Chemin faisant, il ne refuse pas non plus l'interrogation métaphysique, filigrane de ses rationalisations. Il n'est pas étonnant qu'il ait ainsi trébuché parfois : ne fait-il pas appel aux résultats et aux conclusions de nombreuses disciplines éloignées les unes des autres – et par les méthodes et, surtout, par les vocabulaires ?

Selon le cas, ces faux pas sont des dérives, des boulettes ou des analogies outrées. Par exemple, il qualifie les dinosaures de « monstres » : pourtant, des bêtes qui, des millions d'années durant, ont arpenté le Globe n'ont rien de mythique ni de fantastique. Plus loin, il utilise le terme « faille » pour désigner les rifts africains, fossés d'effondrement qui parcourent le continent et témoignent d'une histoire complexe. Dernier exemple, on ne peut tout de même pas comparer une rencontre sexuelle à celle d'un proton et d'un électron... Parfois on se demande aussi s'il feint ou s'il croit vraiment que certains animaux ont découvert l'écholocation (le système de localisation des proies à l'aide d'échos ultrasonores) ou les

vertus de l'orientation par le champ magnétique terrestre bien avant que nous n'inventions le sonar et que les Chinois ne découvrent la boussole.

Cependant il ne tombe pas dans cet excès d'optimisme qui avait conduit un célèbre spécialiste des tortues à envisager que ces animaux ont une mémoire à la dimension des continents : alors que venait de naître la tectonique des plaques et la dérive des continents, ce zoologiste publia un article sur les migrations de certaines tortues marines qui, parties des côtes brésiliennes, vont pondre sur l'île d'Ascension, à 2 000 kilomètres de là, dans l'Atlantique. Le miracle est bis-annuel, et l'on se demande quelle obscure raison pousse cette gent reptilienne à risquer sa vie pour trouver un havre de paix où engendrer sa progéniture. Laquelle, d'ailleurs, à peine éclos, se jette à l'eau et regagne le Brésil, mais largement plus au Sud du point de départ des parents. En 1974, le zoologiste américain Archie Carr apportait une réponse géologique à la question : voici une centaine de millions d'années, les dames tortues auraient pris l'habitude d'aller pondre de l'autre côté du bras de mer qui les séparait alors de l'Afrique ; dérive des continents aidant, le fossé s'était creusé jusqu'à devenir abyssal, ce qui pour autant ne les avait pas découragées.

C'est là sans doute une de ces belles théories qui peuvent séduire jusqu'aux plus aguerris – Stephen Jay Gould faillit tomber dans le piège ! – et auxquelles apparemment aucun bouton de guêtre ne fait défaut. Cependant, à partir du moment où une théorie est irréfutable, on se doit de douter, et il vaut mieux la livrer à un scénariste hollywoodien afin que celui-ci en fasse un usage approprié à sa profession... Dans le cas des populations de *Chelonia*

mydas, tortues marines connues dans toutes les mers du Globe, le scénario est d'autant plus improbable qu'au bout du compte, si les populations brésiliennes avaient montré une telle constance et si elles ne s'étaient jamais mêlées aux autres, cet isolement génétique aurait débouché sur la formation de nouvelles espèces bien différentes de leurs congénères.

Quant aux chauves-souris émettrices d'ultrasons qui situent obstacles et proies par les échos que leur système auditif analyse, et possèdent donc des sonars, mais beaucoup plus performants que ceux que nous fabriquons, on peut affirmer sans risque que ce sont des Monsieur Jourdain de l'écholocation.

Poursuivant la lecture, on sera séduit par le chapitre que H. Reeves consacre aux « ferments de la complexité biologique » ; la discussion qu'il engage à ce propos est intéressante à plus d'un titre. Après tout, rares sont les faits très concrets qui indiquent que le vivant se complexifie au cours du temps. Bien sûr, il est patent que les types de cellules des organismes supérieurs sont bien différents et beaucoup plus nombreux que chez les algues, par exemple, mais l'évaluation pour comparaison de ce nombre chez deux organismes supérieurs relève du défi. Il semble exister une corrélation quasi mécanique entre la taille des organismes et le nombre et la diversité des cellules qu'ils sont susceptibles d'abriter. Aussi doit-on prêter une attention particulière au récent travail de mon collègue paléontologue John Alroy, qui s'est avancé sur le sentier rebattu de la célèbre loi de Cope. Pionnier de l'étude des mammifères du Tertiaire Nord-américain, grand nom de la paléontologie, Edward Drinker Cope avait constaté que les lignées de chevaux et de rhinocéros augmentaient de taille au cours de leur histoire. Depuis lors, nombreux sont les paléontologues qui, étudiant d'autres types de fossiles, ont fait le même constat et usent de cette loi de Cope comme d'un postulat.

Sporadiquement toutefois, des contre-exemples viennent l'ébranler. Est-ce là une tendance évolutive majeure ? N'y a-t-il aucun artefact dans les preuves fossiles qui l'illustrent ? J. Alroy, sans pour autant expliquer le phénomène, vient d'en affirmer la pertinence en montrant qu'au cours des derniers 60 millions d'années la loi de Cope s'appliquait à toutes les lignées mammaliennes Nord-américaines : en moyenne, les espèces filles sont dix pour cent plus grandes que leurs ancêtres. On dira peut-être que



Les oiseaux sont-ils devenus plus complexes depuis l'archéoptéryx ?