

Le chat dans l'écosystème subantarctique

Les écosystèmes insulaires ont, plus que les écosystèmes continentaux, souffert des introductions d'espèces animales : depuis le début du XVII^e siècle, 93 pour cent des 176 espèces d'oiseaux éteintes vivaient sur des îles océaniques. De toutes les espèces de prédateurs introduites, le chat est souvent considéré comme l'espèce la plus nuisible pour les espèces natives. Pour évaluer précisément l'impact du chat sur la faune aviaire des îles, nous avons étudié le fonctionnement des populations de chats et leurs interactions avec l'ensemble des proies, natives (oiseaux) et introduites (lapins et rongeurs).

Le chat présent sur tous les continents, l'est aussi sur au moins 118 des 131 principaux groupes d'îles. Dans les milieux insulaires subantarctiques, le chat se nourrit exclusivement du produit de sa chasse. La disponibilité et la répartition spatiale des proies modifient la densité des chats, la structuration sociale, le système d'appariement, le succès de reproduction et la démographie. Ainsi, contrairement aux chats errants des villes qui vivent en grands groupes sociaux dans de petits domaines qui se chevauchent, les chats des îles subantarctiques vivent solitaires dans de vastes domaines séparés.

Plusieurs introductions ont eu lieu au XIX^e et au début du XX^e siècle, mais quatre chats seulement seraient à l'origine de la population actuelle de la grande île de l'archipel des Kerguelen. Deux chats furent débarqués en 1951 pour lutter contre les rongeurs et les lapins qui proliféraient. Ils disparurent rapidement de la station de Port-aux-Français et, sans savoir si l'espèce s'était éteinte, deux autres chats ont été introduits en 1956. Ces chats se sont parfaitement adaptés aux nouvelles conditions, et leurs descendants, d'abord cantonnés aux abords de Port-aux-Français, ont colonisé l'île en longeant les côtes. En 1974, le cinquième de l'île était envahi par les chats. L'effectif était estimé à 2 500 chats en 1974 et à 3 500 chats en 1977. La phase de croissance exponentielle est terminée. Aujourd'hui, nous estimons que la densité des chats sur les îles subantarctiques varie entre un et trois chats par kilomètre carré (cette densité atteint 1 000 chats par kilomètre carré dans certains jardins publics ou cimetières).

Le succès de la colonisation de Kerguelen tient à l'abondance des proies, à la possibilité d'utiliser des terriers qui protègent les chatons contre les variations des conditions climatiques et contre d'éventuels prédateurs aériens (les skuas), à l'absence d'autres prédateurs terrestres et à la quasi-absence de parasites du chat.

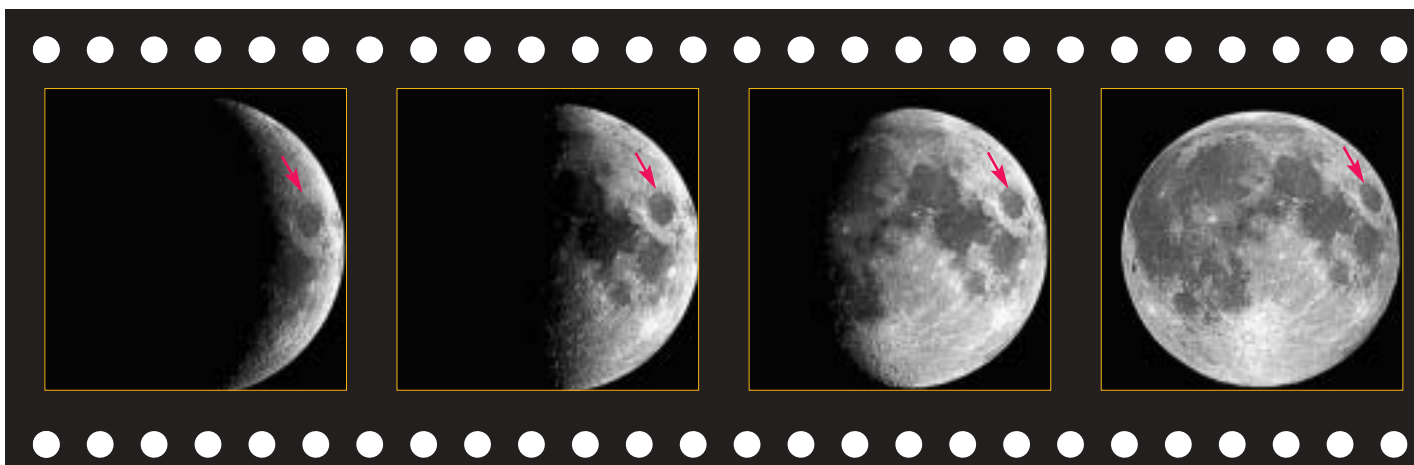
Le chat est un prédateur opportuniste et son régime alimentaire reflète la disponibilité des proies. Bien que le lapin constitue la principale ressource alimentaire du chat, on estime qu'en 1976, les quelque 3 500 chats présents sur l'île ont prélevé plus d'un million d'oiseaux. Huit espèces d'oiseaux surtout sont concernées par la prédation du chat : le pétrel bleu (*Halobaena caerulea*), le pétrel à tête blanche (*Pterodroma lessoni*), le pétrel noir (*Pterodroma macroptera*), le pétrel de Kerguelen (*Pterodroma brevirostris*), le pétrel à menton blanc (*Procellaria aequinoctialis*), le pétrel plongeur commun (*Pelecanoides urinator*), le pétrel de Wilson (*Oceanites oceanicus*) et le prion de la désolation (*Pachyptila desolata*). Toutes ces espèces ont évolué en l'absence de prédateurs mammaliens et n'ont développé aucun mécanisme de défense ou de fuite ; les espèces les plus menacées sont celles qui nichent dans des terriers comme le pétrel bleu et le prion de la désolation. Même si aucune extinction d'espèce d'oiseaux n'a été observée – les petites îles sont dépourvues de chats et servent de refuge aux oiseaux – la prédation du chat a certainement un impact notable sur les populations d'oiseaux, à Kerguelen. Les programmes de conservation sont de plus en plus ciblés sur le contrôle des effectifs de chats sur les îles.

Ni la chasse ni le piégeage ni l'utilisation d'appâts empoisonnés n'ont donné de résultats sur l'archipel des Kerguelen, parce qu'il est trop vaste et que le terrain est difficile d'accès. L'introduction d'un virus pathogène a été également envisagée. L'absence de pathogènes rend les chats des Kerguelen particulièrement vulnérables à l'introduction d'agents infectieux contre lesquels ils n'ont aucune défense immunitaire. Une telle introduction a été réalisée sur l'île Marion, où l'introduction du chat est en partie responsable de l'extinction locale du pétrel plongeur. Le virus choisi a été introduit en 1977 et a permis de réduire de 82 pour cent l'effectif de la population au bout de six ans. Nous avons confirmé à partir d'un modèle mathématique que le virus de la panleucopénie stabilise l'effectif de chats de l'île Marion autour de 300 au bout de dix ans. L'éradication du chat sur l'île Marion n'a été obtenue qu'en 1991, soit 15 ans après l'introduction du virus, en associant durant cinq ans, tir, empoisonnement et piégeage des chats survivants. Le succès reproducteur du pétrel noir, qui variait entre 0 à 20,5 pour cent durant la période où le chat était présent sur l'île, est remonté à 59,6 pour cent après son éradication. Cependant, l'introduction d'une infection virale ou bactérienne dans une population indemne peut être lourde de conséquences et une telle opération ne peut avoir lieu que si la spécificité de l'agent pathogène ne fait aucun doute. De plus, le succès obtenu à Marion ne garantit pas le même succès à Kerguelen.

Le chat a incontestablement des effets négatifs... mais il en a aussi de positifs. Sur les îles Kerguelen ou sur l'île Amsterdam, rongeurs et lapins abondent et ont des effets néfastes sur les populations d'oiseaux endémiques soit directement par la prédation (c'est le cas des rongeurs) ou indirectement par la destruction de l'habitat (les lapins). Les tentatives de réduction de la population de chats sur l'île Amsterdam y auraient favorisé l'augmentation du nombre de surmulots *Rattus norvegicus* et de souris *Mus musculus* : sur cette île, les chats se nourrissent essentiellement de souris et de surmulots. La modélisation des interactions des oiseaux insulaires et des mammifères introduits (rat et chat) a montré que l'explosion démographique de la population de prédateurs intermédiaires (les rats) consécutive à l'élimination brutale du chat aboutirait à une extinction rapide des proies communes aux deux prédateurs, les oiseaux. Une population limitée de chats maintient les populations de rongeurs et de lapins à des niveaux suffisamment bas pour que leur impact soit réduit.

La protection des espèces menacées passe par un contrôle des effectifs de chats. L'éradication des chats à Kerguelen, difficilement envisageable, n'est pas souhaitable si elle n'est pas accompagnée de l'élimination des lapins qui constituent la principale source de nourriture des chats, surtout l'hiver, lorsque la plupart des oiseaux sont en mer. De surcroît, en fonction de la démographie des proies, les effets de la prédation peuvent être plus ou moins dramatiques selon que les prédateurs tuent les jeunes (œufs, poussins, juvéniles) ou les adultes, ou encore selon que le prélèvement est occasionnel ou systématique. On a montré que les effectifs des populations d'oiseaux à courte durée de vie sont très sensibles à la prédation des jeunes, tandis que, pour les espèces d'oiseaux qui vivent longtemps, les effectifs des populations diminuent quand les prédateurs s'attaquent aux adultes. Aujourd'hui, nous suivons la population de chats des îles Kerguelen afin de préciser ses comportements de prédation et afin de déterminer les espèces les plus exposées, qui devront être protégées en priorité.

Dominique PONTIER, Emmanuelle FROMONT, Ludovic SAY
UMR-CNRS 5558, Université Claude Bernard-Lyon 1



Les danses spatiales de la Lune

ÉRIC BOIS

La Lune est soumise à des balancements réguliers autour d'une configuration d'équilibre stable. On connaît aujourd'hui avec précision les origines de ces balancements, nommés «librations».

Fidèle depuis quelques milliards d'années, la Lune tourne autour de la Terre. Son mouvement ne se limite pas à cette simple révolution : elle tourne aussi sur elle-même et nous montre ainsi toujours la même face. Outre l'attraction de la Terre, elle subit d'importantes perturbations de la part du Soleil et des autres planètes du Système solaire, ce qui engendre de nombreuses complications. Le mouvement de la Lune est si complexe que Newton lui-même disait qu'il lui donnait mal à la tête ! Toutefois, aujourd'hui, les mouvements les plus fins de la rotation de la Lune sont connus avec une si grande précision, que la Lune pourrait servir de «détecteur» des moindres interactions entre la Terre et la Lune, et même au sein du Système solaire.

Les premières mesures de la distance entre la Terre et la Lune apparaissent au III^e siècle avant notre ère.

L'astronome grec Aristarque de Samos estime la distance entre la Terre et la Lune à 121 000 kilomètres (au lieu de 384 400 kilomètres en moyenne). Environ 200 ans plus tard, l'astronome et mathématicien grec Hipparque réduit l'erreur à dix pour cent, puis Ptolémée la réduit à un pour cent, au II^e siècle de notre ère. Au XVIII^e siècle, les astronomes français Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande et Nicolas Louis de La Caille obtiennent une distance moyenne à 0,2 pour cent près, en observant la Lune simultanément sur un même méridien terrestre (Lalande se tenait à Berlin et La Caille au Cap).

Dans les années 1950, l'exactitude fait un bond grâce aux premiers échos radar sur la Lune : l'erreur est de l'ordre du kilomètre. En 1969, Neil Armstrong marche sur la Lune et, lors de ce vol *Apollo XI*, le premier panneau réflecteur est déposé : l'ère de la télémétrie laser commence pour

la Lune. Trois stations terrestres mesurent la distance de la Terre à la Lune par cette technique : au Texas, à Grasse, en France, et à Hawaï. Le principe est simple : un laser de forte puissance émet une séquence d'impulsions en direction d'un réflecteur déposé à la surface de la Lune. Le faisceau laser est émis par un télescope qui, en retour, recueille la lumière réfléchie par le réflecteur lunaire. Une horloge atomique mesure le temps mis par les photons pour effectuer l'aller-retour (environ 2,5 secondes). Connaissant la vitesse de la lumière, on déduit la distance entre la Terre et la Lune au moment du tir laser. Ainsi, dans les années 1990, l'incertitude sur la mesure passe à quelques centimètres.

Aujourd'hui, à peine deux centimètres d'incertitude limitent l'exactitude sur la mesure obtenue par la station française, seule sur la Terre à



1. LEVER DE LUNE SUR LA TERRE. Notre satellite a un mouvement très complexe : outre sa révolution et sa rotation, il effectue de légers balancements nommés «librations». Certaines de ces librations sont visibles de la Terre : en suivant l'évolution d'un cratère (par exemple, celui marqué d'une flèche rouge) (*en haut, à gauche*), on voit qu'il se décale et qu'il se rapproche du bord supérieur de la Lune. Les librations sont si importantes qu'elles découvrent des régions normalement hors de notre vue : nous voyons 59 pour cent de la surface totale de la Lune, au lieu de 50 pour cent si les librations n'existaient pas.

NASA

poursuivre les records de précision. Cette incertitude est surtout due aux perturbations atmosphériques subies par le faisceau laser. Des réflecteurs ont été déposés sur le sol lunaire à des endroits différents en longitude et en latitude, de sorte que l'on mesure également la rotation de la Lune sur elle-même avec une précision angulaire voisine d'une milliseconde. La télémétrie laser-Lune a stimulé des progrès importants dans les théories sur les mouvements de la Lune.

La Lune, en tournant sur elle-même, effectue de nombreux balancements, des «librations» provoquées par des mécanismes physiques, gravitationnels ou non, internes ou externes à la Lune. La plupart des librations sont imperceptibles, mais d'autres sont visibles à l'œil nu. Quand on suit la position d'un cratère visible de la Lune, il se trouve plus ou moins près du bord de la Lune, signe que celle-ci «libre» (voir la figure 1). D'où viennent les librations? Elles ont des origines variées, et il aura fallu trois siècles pour qu'elles soient identifiées, comprises et classées.

Pour comprendre les librations de la Lune, décrivons son mouvement. Comme pour toute planète, le mouvement global de la Lune se décompose en deux modes : un mouvement de translation curviligne ou «mouvement orbital» (la révolution autour de la Terre), et un mouvement de rotation autour de son centre de masse, mouvement dit «spin».

Au XVII^e siècle, grâce à Isaac Newton, intégrant les travaux de Johannes Kepler et ceux d'Edmond Halley, la description des orbites célestes passe d'un statut géométrique et ciné-

matique à un statut dynamique. Ainsi, la deuxième loi de Newton relie le mouvement d'un corps céleste aux forces qui le produisent et le perturbent au cours du temps. D'après les lois de Kepler, une planète décrit une trajectoire elliptique. S'il n'y avait pas de perturbations liées aux autres planètes du Système solaire, l'orbite de la planète serait une ellipse parfaite, fixe et invariable. À cause des autres planètes, l'astre dévie de son orbite keplerienne et décrit des trajectoires variables, mais qui restent confinées dans une couronne (voir la figure 2).

La Lune : une exception !

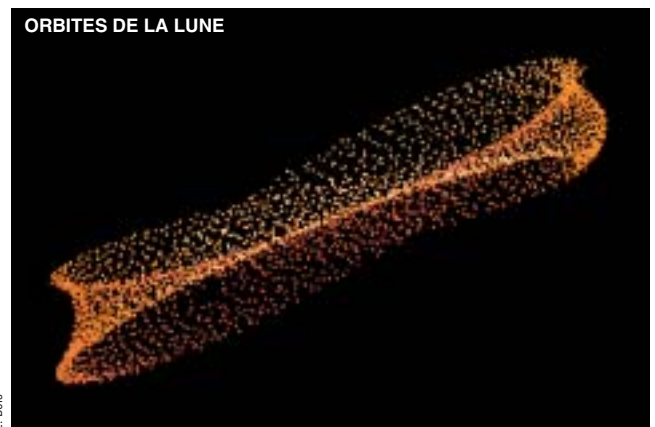
L'orbite keplerienne décrit correctement l'orbite moyenne d'une planète du Système solaire. Ceci n'est plus vrai dans le cas de la Lune. La présence du Soleil rompt en effet la simplicité keplerienne prévue pour le problème des deux corps : le mouvement orbital de la Lune relève du problème des trois corps. Ses trajectoires consécutives prennent une forme de couronne torsadée très complexe, surtout quand on prend en compte toutes les perturbations pour calculer son mouvement avec une grande précision (voir la figure 2). On considère que le plan de l'orbite de la Lune est incliné de cinq degrés en moyenne par rapport à l'écliptique (l'écliptique est le plan qui contient le Soleil et le plan orbital moyen de la Terre).

L'orbite de la Lune est complexe, mais sa rotation sur elle-même ne l'est pas moins. Elle tourne sur elle-même dans la même période de temps qu'elle effectue une révolution autour

de la Terre, soit 27 jours, 7 heures, 43 minutes et 11,5 secondes. En bref, elle tourne sur elle-même et autour de la Terre en même temps, c'est pourquoi elle présente toujours la même face à la Terre. Son axe de rotation polaire fait un angle moyen de un degré et 35 minutes avec le pôle de l'écliptique, c'est-à-dire l'axe perpendiculaire au plan de l'écliptique (voir la figure 3). La Lune est également soumise à un mouvement de précession, telle une toupie : son axe de rotation décrit un cône autour du pôle de l'écliptique, dans le sens inverse de celui de sa rotation (voir la figure 4).

Le mouvement de la Lune présente une particularité : il réalise un double synchronisme. Premièrement, la Lune décrit une révolution autour de la Terre dans le même temps qu'une rotation sur elle-même. Ce mouvement synchrone de la rotation et du mouvement orbital moyen, ou encore «résonance spin-orbite», a une période de 27,3 jours. Le deuxième synchronisme se produit entre la précession de l'axe de rotation lunaire et une seconde précession, celle du plan de l'orbite lunaire par rapport au plan de l'écliptique (voir la figure 4). Ces deux précessions ont une période de 18,6 ans. Ce double synchronisme engendre deux fréquences supplémentaires, dites «fréquences de résonance», de 2,9 ans et de 80,1 ans. Toutes les perturbations de la rotation de la Lune reviennent selon quatre fréquences : 27, 3 jours, 18,6 ans, et les deux fréquences de résonance de 2,9 ans et 80,1 ans.

La rotation complète de la Lune (sa rotation moyenne et ses librations)



2. LES ORBITES DE LA TERRE ET DE LA LUNE ont des formes géométriques très différentes. Les orbites consécutives de la Terre (ici, une centaine sont représentées) sont contenues dans une couronne elliptique, tandis que celles de la Lune forment une couronne torsadée

complexe (vue ici par la tranche). Les orbites de la Lune ne relèvent pas du problème des deux corps (la Terre et la Lune), mais des trois corps, en raison de la proximité du Soleil, dont la masse est plus de 330 000 fois plus élevée que celle de la Terre.