

sont rares, et on les détecte indirectement en analysant les gerbes de particules qu'ils produisent par collision avec les atomes de la haute atmosphère. Depuis 1962, seulement douze gerbes correspondant à des particules d'énergie supérieure à 10^{20} électronvolts (soit 16 joules, du même ordre de grandeur que l'énergie d'un ballon de football lors d'un penalty) ont été enregistrées. Sur cette base, les astrophysiciens estiment que moins d'un rayon cosmique d'énergie supérieure à cette énergie pénètre dans un kilomètre carré d'atmosphère chaque siècle.

Ces rayons cosmiques de haute énergie sont peut-être des protons, mais on ignore leur nature. Proviennent-ils d'objets cosmiques lointains, tels les quasars et les galaxies radio ? Vraisemblablement pas : en raison des interactions (donc des pertes d'énergie) avec les photons du fond diffus cosmologique, l'Univers devient opaque aux rayons cosmiques de haute énergie à partir d'une distance de 300 millions d'années-lumière. Ainsi, ces rayons cosmiques doivent provenir d'une distance inférieure à 300 millions d'années-lumière. Or, aucune source plausible n'a été observée jusqu'à ces distances.

Pour contourner ce problème, les astrophysiciens ont imaginé que ces rayons cosmiques proviennent de la désintégration de particules massives proches, créées au début de l'Univers. À la fin de l'inflation, la période d'expansion très rapide qui a suivi le big-bang, des particules massives se sont formées. Prévues par la théorie des cordes, selon laquelle toutes les particules sont décrites comme des vibrations d'objets à une dimension, ces particules massives formeraient la plupart de la matière noire de l'Univers.

De la même manière que les quarks s'assemblent pour former les protons ou les neutrons, ces particules à la charge électrique fractionnaire s'assemblent pour former des cryptons, de charge entière. Il est difficile de prédire exactement combien de ces particules survivent depuis le big-bang, mais les théoriciens estiment que si leur masse est égale à environ 1 000 milliards de fois la masse du proton, leur désintégration expliquerait la répartition des rayons cosmiques de très haute énergie détectés sur Terre.

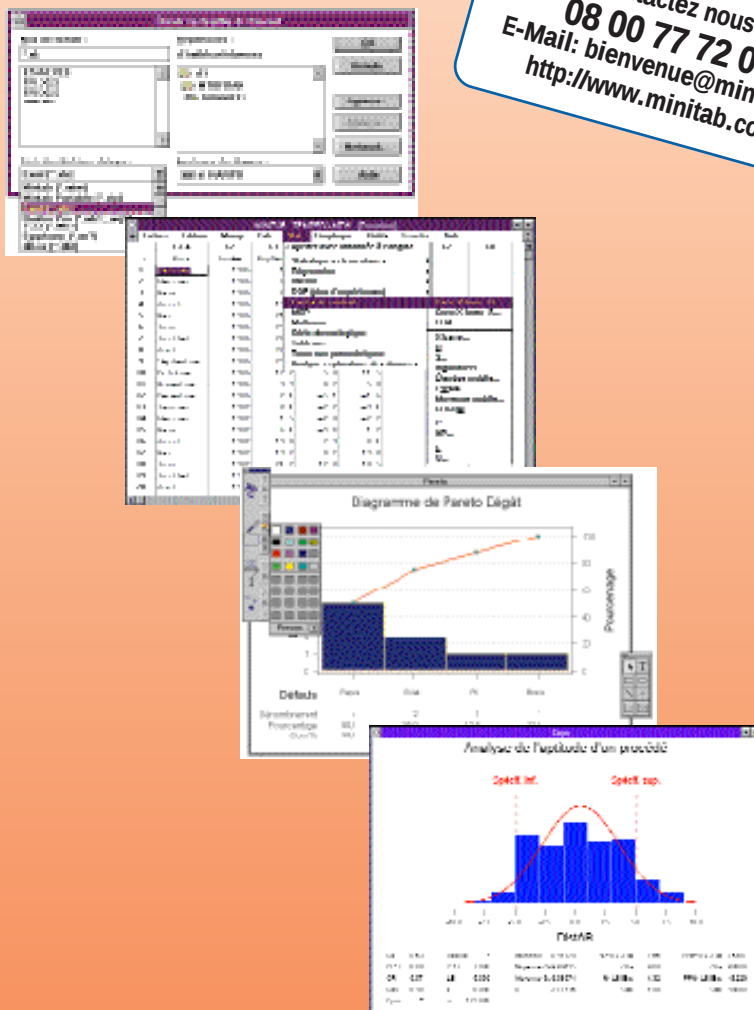
Depuis trois ans, de nombreux théoriciens cherchent à expliquer l'origine des rayons cosmiques de haute énergie par la désintégration de particules massives. Ces supputations de théoriciens subiront l'épreuve de l'expérience à l'aube du prochain millénaire : à l'aide de l'Observatoire international Auger, le gigantesque détecteur de rayons cosmiques en construction en Argentine et aux États-Unis, les astrophysiciens seront en mesure de tester leurs théories.

MINITAB®

Logiciel de Statistiques

Analysez facilement vos données.

Contactez nous:
08 00 77 72 00
E-Mail: bienvenue@minitab.fr
<http://www.minitab.com>



MINITAB SARL

L'analyse des données simplifiée

Minitab SARL, 1 Cité Paradis, 75010 Paris

Tél: 01 55 33 12 36 Fax: 01 55 33 12

Toutes les noms produits et les marques déposées sont de leurs compagnies respectives

© Minitab Inc., 1996 MINITAB est une marque déposée de Minitab Inc.

Les manchots

Coopération sous-marine?

Les manchots sont aussi populaires, que mal connus, même des naturalistes. Les explorateurs ont décrit les manchots comme des êtres hybrides, mi-poissons, mi-oiseaux, incapables de voler. Au début du XIX^e siècle, Jules Dumont d'Urville nous livre ses impressions : «Cet oiseau-poisson, [...] est organisé de façon à pouvoir plutôt nager que voler. Au lieu d'ailes, il a deux nageoires aplaties, et son corps est couvert d'un feutre serré, plutôt semblable à de la soie qu'à de la plume ; on dirait même que ses petites rames sont couvertes d'écailles.» L'étude des manchots a révélé un comportement de recherche de nourriture inattendu.

L'observation de ces oiseaux montre qu'il faut rapprocher les manchots non pas des Ratites (autruches, émeus...), comme leur inaptitude au vol l'inciterait à supposer, mais plutôt des Procellariiformes (albatros et pétrels), qui sont d'excellents voiliers. En effet, les manchots ne volent

pas dans l'air, mais dans l'eau : toutes leurs caractéristiques contribuent à leur adaptation à ce milieu : leur morphologie, musculature, ossature, plumage, vue, ainsi que leur physiologie. Les manchots ne sont plus envisagés comme des êtres hybrides, mais comme des spécialistes du milieu marin, issus de 50 millions d'années d'évolution.

Cette capacité à plonger leur offre la possibilité de rechercher leur nourriture (poissons, crustacés, calmars) là où les autres oiseaux ne vont pas. L'acquisition de nouvelles ressources a sans doute constitué une pression de sélection importante, probablement à l'origine de la divergence de ce groupe d'oiseaux par rapport à leurs cousins Procellariiformes.

Les manchots passent plus de 70 pour cent de leur temps en mer, ce qui rend leur étude très difficile. Depuis une décennie, la miniaturisation de l'électronique permet d'enregistrer les comportements à distance à l'aide de différents appareils électroniques miniaturisés (balises ARGOS, sondes stomacales, émetteurs VHF, capteurs de pression, enregistreurs d'activités...). Pour cette étude, nous avons utilisé des enregistreurs de plongée, dont nous récupérons les informations à l'aide d'un ordinateur. L'enregistreur est profilé et collé au bas du dos des animaux afin de minimiser les perturbations hydrodynamiques, puis il est délicatement récupéré, sans abîmer le plumage, lorsque l'oiseau regagne sa colonie. Nous avons ainsi équipé plusieurs femelles de gorfous sauteurs d'une même colonie à la veille de l'un de leurs départs en mer journaliers.

L'île d'Amsterdam (37°50' Sud, 77°31' Est – zone subtropicale de l'océan Indien) n'abrite qu'une seule espèce de manchots : le gorfou sauteur, *Eudyptes chrysocome moseleyi* (voir la photographie). C'est l'un des plus petits manchots (environ deux à trois kilogrammes pour 50 centimètres de hauteur). Après la ponte, lors de l'élevage des jeunes poussins, seules les femelles chassent pour les

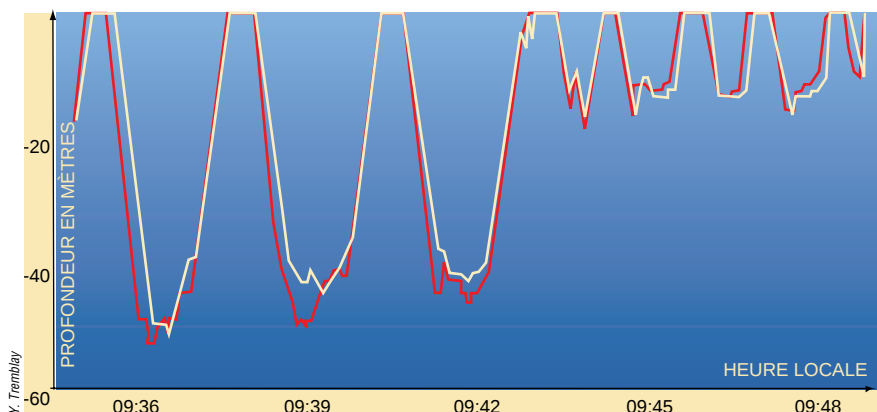
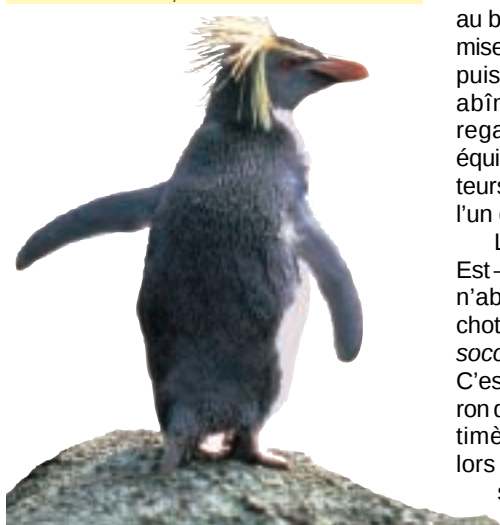
nourrir, les mâles restant sur la colonie pour les protéger. Les femelles se rassemblent le matin au lever du jour, partent en mer par petits groupes, et reviennent le soir pour régurgiter leur pêche à leur progéniture.

Sur cinq femelles que nous avons équipées en même temps d'enregistreurs de plongée, deux ont effectué ensemble près de 300 plongées. Elles ne sont pas partie de la colonie en même temps, mais elles se sont rejointes en mer après une heure de déplacement et ont alors plongé ensemble pendant sept heures (60 pour cent du temps passé en mer). L'écart entre deux plongées synchrones était rarement supérieur à quatre secondes, et la différence de profondeur qui les séparait était souvent inférieure à un mètre, qu'elles plongent à 10 mètres ou à 50. Elles sont donc restées en contact visuel sous l'eau tout au long de leur période de chasse, et lors de la plongée, leurs positions respectives étaient intangibles. L'une d'elles plongeait la première et se trouvait quasi systématiquement au-dessous de l'autre au-delà de 25 mètres. Ainsi, les manchots sont très coordonnés et coopèrent quand ils plongent pour chasser ; les deux femelles se nourrissent des mêmes types de proies, essentiellement des crustacés de petite taille (du krill) et quelques petits poissons et calmars.

Ces expériences montrent pour la première fois que certains manchots se comportent collectivement sous l'eau, probablement pour déjouer les tactiques antiprédatrices de leurs principales proies. Celles-ci échappent à leurs prédateurs en se sauvant brusquement et de façon imprévisible, créant une confusion chez le prédateur. La coopération augmente probablement l'efficacité individuelle de capture des manchots en maintenant, par leur présence concertée, la cohésion des proies au sein d'un banc (cette tactique a été observée chez les orques).

Ces résultats complètent les observations de manchots à la surface de l'eau, où ils sont souvent observés en petits groupes. Le coût des enregistreurs diminuant, il sera bientôt possible d'équiper tous les membres d'une petite colonies de manchots et de compléter cette étude afin d'approfondir notre connaissance des comportements coopératifs et de leur évolution dans le monde animal. En effet, ces comportements ne se rencontrent pas seulement chez l'homme ou les mammifères ; ils ont été observés aussi chez des oiseaux, des insectes, des poissons, des batraciens et même des crustacés terrestres (cloportes) qui n'ont pourtant que quelques centaines de cellules nerveuses dans leurs ganglions cérébraux !

Yann TREMBLAY et Yves CHEREL
Centre d'études biologiques de Chizé



Les plongées de deux femelles gorfous sont synchrones (en bas). En haut, un Gorfou sauteur (océan Indien).