

chimique et pour reconstituer l'amas de gaz qui les a vus naître, indépendamment de leur position actuelle dans le ciel.

Fondée sur la seule composition chimique, la méthode de Kenneth Freeman et Joss Bland-Hawthorn n'est pas suffisante pour identifier des étoiles associées à une galaxie naine, car ces galaxies contiennent probablement des étoiles nées dans divers amas de compositions chimiques distinctes. Néanmoins, en complétant cette approche avec les connaissances sur la formation des galaxies et des étoiles, on détermine certains aspects de l'accrétion des galaxies naines par la Voie lactée.

Tout d'abord, les étoiles se formant plus tardivement au sein d'une galaxie donnée contiennent généralement plus d'éléments lourds que celles qui se sont formées au début, parce que le matériau qui les constitue a déjà été enrichi avec les restes des générations précédentes d'étoiles. Ensuite, le processus d'enrichissement dépend d'écoulements de gaz qui sont gouvernés en partie par l'influence gravitationnelle du halo de matière noire de la galaxie.

Ces deux effets suggèrent que des galaxies de masses proches happées et détruites à peu près en même temps devraient fournir une collection d'étoiles dont la distribution de composition chimique est similaire, c'est-à-dire ayant le même éventail d'abondances pour de nombreux éléments. À l'inverse, des différences sur la masse des galaxies naines ou sur l'époque d'accrétion vont conduire à des variations de distribution chimique des étoiles entrant dans leur composition. Par conséquent, la distribution globale de composition chimique des étoiles autour de la Voie lactée nous permettrait de définir des classes de galaxies de même masse et avalées en même temps, puis d'estimer la part des étoiles de la galaxie provenant de chaque classe, même si on ne pourra pas isoler une galaxie individuelle.

Duane Lee a exploré cette voie quand il était étudiant dans mon équipe à l'Université Columbia. Ses travaux préliminaires suggèrent que les marqueurs chimiques seraient assez sensibles pour que l'on retrouve les contributions des galaxies naines, même les

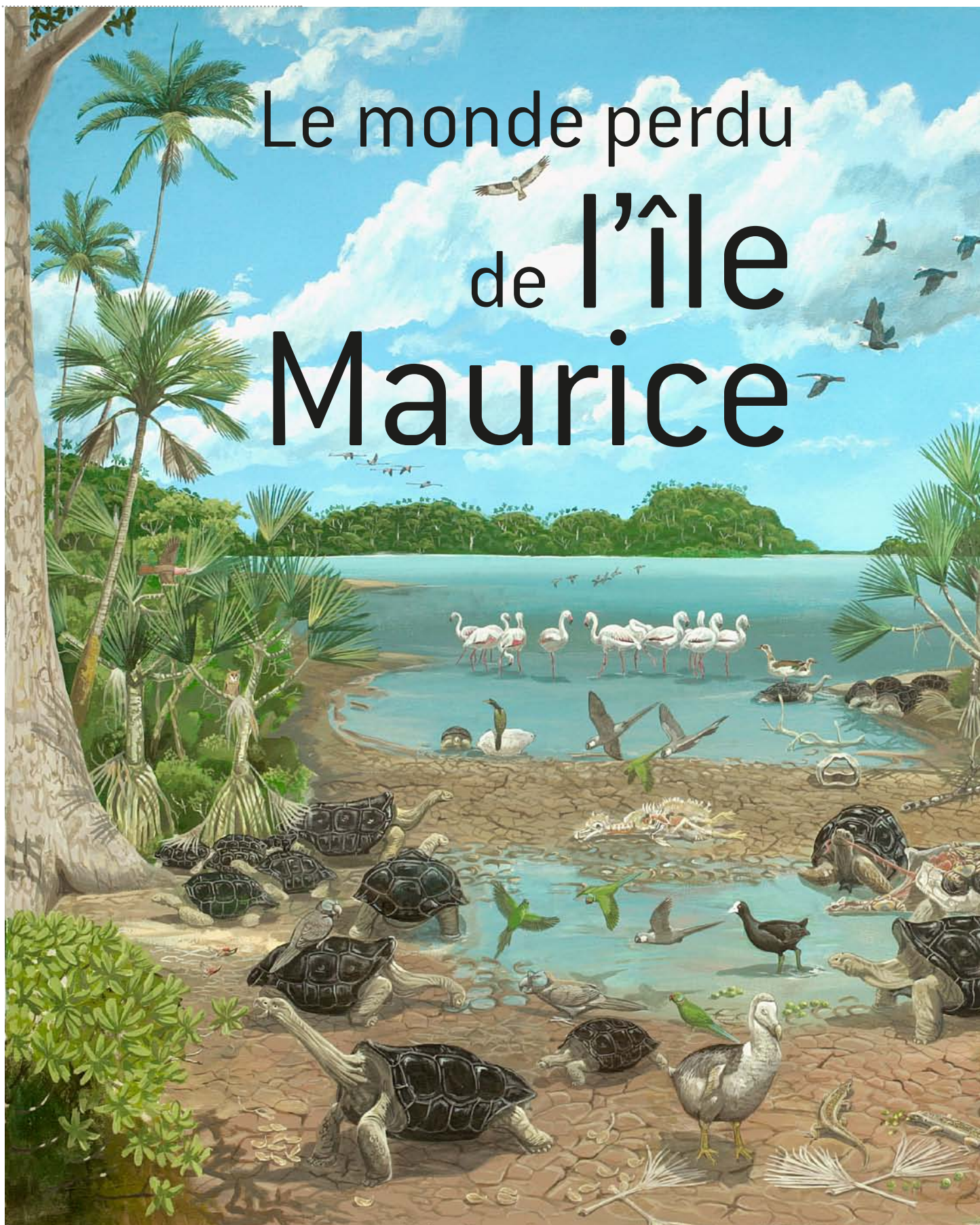
plus petites, détruites très tôt dans l'histoire de la galaxie. En sachant à quelle époque est arrivée chaque classe d'étoiles, nous pouvons commencer à esquisser une séquence de cannibalisations et à retracer l'histoire de l'accrétion de la Voie lactée, en remontant aux périodes les plus anciennes. Plusieurs équipes d'astronomes mesurent actuellement les compositions chimiques de millions d'étoiles. Le premier groupe est celui du relevé GALAH (*GALactic Archeology with HERMES*) dirigé par Kenneth Freeman et Joss Bland-Hawthorn. Un autre est APOGEE (*APO Galactic Evolution Experiment*), démarré en 2011 dans le cadre du relevé SDSS. Le projet *Gaia*-ESO de l'Observatoire européen austral étudiera plus de 100 000 étoiles et utilisera les données du satellite *Gaia*.

Les archéologues galactiques commencent seulement à réaliser qu'étudier la Voie lactée revient en quelque sorte à étudier un millier de galaxies – tous ces objets plus petits qui se sont combinés pour former notre grande galaxie. Les fossiles de ces galaxies disparues ne nous renseignent pas seulement sur l'histoire de la Voie lactée, mais aussi sur celle de toutes les petites galaxies qu'elle a incorporées. Nous devrions bientôt être en mesure d'étudier comment les galaxies de différentes tailles se sont formées à différentes époques. Dans la prochaine décennie, ces analyses contribueront autant à notre compréhension de la Galaxie que la découverte de courants stellaires autour de la Voie lactée durant la décennie passée.

À terme, nous aimerions savoir comment se sont formées les toutes premières galaxies de l'Univers. Les premiers ancêtres de galaxies semblables à la nôtre sont trop petits et lointains pour être directement détectables, mais l'archéologie galactique pourrait révéler les vestiges de ces premiers germes : les étoiles très anciennes qui portent encore la marque de leur origine sont dispersées ici même, dans la Voie lactée. Ainsi, ce n'est pas en cherchant plus loin, mais en creusant dans notre propre jardin, que nous pourrions enfin accéder à l'Univers primordial et aux premières étapes de la formation des galaxies. ■

Le programme
Gaia
consacrera
les prochaines années
à mesurer les positions et
les mouvements de plus
d'un milliard d'étoiles

Le monde perdu de l'île Maurice





Avant l'arrivée des humains au XVI^e siècle, l'île Maurice était peuplée d'une faune particulière qui avait évolué dans l'isolement. Depuis le XIX^e siècle, une ancienne mare révèle la richesse de ce monde perdu.

Eric Buffetaut et Delphine Angst

À l'île Maurice comme ailleurs dans le monde, au XIX^e siècle, le progrès technique se matérialise par la construction de voies de chemin de fer. En octobre 1865, un jeune ingénieur britannique du nom de Harry Higginson supervisait les travaux d'une ligne en cours de construction dans la partie sud de l'île. Il nota dans son journal : « Je marchais un matin le long du talus lorsque je remarquai quelques coolies qui extrayaient de la tourbe d'un petit marécage. Ils séparaient et entassaient un certain nombre d'os divers parmi les débris. Je m'arrêtai pour les examiner, car ils paraissaient appartenir à des oiseaux et des reptiles, et nous avions toujours été à l'affût d'os du dodo, alors considéré comme mythique. » Ses poches remplies d'os, Higginson se rendit chez George Clark, instituteur à la ville voisine de Mahébourg, qui lui-même était sur la piste du dodo et possédait un livre à son sujet. Une comparaison avec les illustrations montra vite que certains os récoltés par Higginson appartenaient bien à cet oiseau.

Ainsi eut lieu, il y a 150 ans, la découverte de la Mare aux Songes. Le nom de ce marécage n'a d'ailleurs rien à voir avec les rêves que le dodo a pu susciter. Les songes sont le nom local

IL Y A 4 000 ANS, la Mare aux Songes, au sud-est de l'île Maurice, ressemblait sans doute à cette reconstitution récente peinte d'après les restes de faune et de flore exhumés dans le marécage, due au paléontologue et artiste anglais Julian Hume.

© Julian Pender Hume



© Julian Pender Hume



© Julian Pender Hume

LE MARÉCAGE DE LA MARE AUX SONGES
(à droite, une vue du site actuel) regorge encore de fossiles, comme le montre ce bloc exhumé récemment (à gauche).

L'ESSENTIEL

- En 1865, un ingénieur ferroviaire découvre un important gisement d'ossements au sud-est de l'île Maurice, dans un marécage nommé la Mare aux Songes.
- La mare recèle les restes de nombreux vertébrés disparus, notamment le mythique dodo.
- Immédiatement, les paléontologues se passionnent pour cette fenêtre unique sur le monde perdu de l'île.
- L'étude du gisement se poursuit de nos jours, avec la redécouverte de collections oubliées.

d'une plante des marais. Ayant obtenu l'autorisation du propriétaire du terrain, Clark entreprit des recherches dans la mare à l'aide d'une technique de fouille pour le moins originale : les hommes affectés à cette tâche palpaient la tourbe au fond du marécage avec leurs pieds nus pour repérer les ossements. Clark constitua ainsi une collection importante qu'il envoya en Angleterre, où elle fit le bonheur des spécialistes – au premier rang desquels l'anatomiste et paléontologue Richard Owen, qui publia dès 1866 un mémoire sur le dodo. La Mare aux Songes devint dès lors la source principale d'information sur la faune éteinte de l'île Maurice.

Dodos, poules rouges et tortues géantes

Aujourd'hui, loin d'être tombée dans l'oubli, et en dépit de quelques vicissitudes qui auraient pu conduire à sa disparition par comblement (lors de campagnes antipaludéennes), la Mare aux Songes demeure un site-clé pour les paléontologues. Non seulement des fouilles systématiques y sont menées depuis 2005, mais les spécimens récoltés par le passé suscitent un nouvel engouement, avec la redécouverte des collections d'un des protagonistes du lieu, le naturaliste franco-mauricien Paul Carié (1876-1930).

Si la découverte de Higgsinson et Clark eut un tel retentissement en 1865, c'est

parce que l'on savait très peu de choses sur les animaux qui peuplaient l'île lors de l'arrivée des premiers voyageurs, et dont beaucoup avaient ensuite vite disparu. Jusque-là inhabitée par l'homme, l'île Maurice avait été découverte à la fin du XVI^e siècle par des navigateurs portugais. Au début du XVII^e siècle, les Hollandais l'avaient colonisée, puis les Français les avaient remplacés au XVIII^e siècle, avant de céder l'île à la Grande-Bretagne en 1815, lors du congrès de Vienne.

Lorsque les Européens avaient découvert l'île Maurice, elle était peuplée d'une faune très particulière, qui avait évolué dans l'isolement sur cette terre volcanique sortie des eaux de l'océan Indien il y a une dizaine de millions d'années. En l'absence de mammifères terrestres, des tortues géantes et des oiseaux incapables de voler (tel le dodo, *Raphus cucullatus*, mais aussi la « poule rouge », *Aphanapteryx bonasia*), s'y étaient développés. Mais cette faune endémique, peu habituée aux prédateurs, était vulnérable et nombre d'espèces ont disparu, victimes à la fois de la chasse et des animaux introduits par l'homme, tels les chiens, les chats, les cochons, les rats et même les singes, qui s'attaquaient soit aux adultes, soit aux jeunes ou aux œufs. Ainsi, il semble que le dodo ait disparu dès la fin du XVII^e siècle, même si les discussions vont encore bon train au sujet de la date exacte de son extinction.



Qui plus est, tous ces animaux ont été exterminés avant d'avoir pu faire l'objet d'études scientifiques. Les navigateurs et les colons qui les ont rencontrés sur place au XVII^e siècle n'étaient nullement des naturalistes et, d'ailleurs, les sciences naturelles n'en étaient alors qu'à leurs balbutiements. On dispose donc de récits anciens assez nombreux au sujet de la faune endémique de l'île Maurice ou, du moins, de ses éléments les plus remarquables, tel le dodo, mais les descriptions y sont souvent vagues ou contradictoires.

Certes, quelques dodos vivants furent amenés en Europe (et en Inde), mais s'ils suscitèrent la curiosité, celle-ci se manifesta surtout par de nombreuses représentations plus ou moins fidèles sous forme de peintures et gravures, et non par des études scientifiques. Au milieu du XIX^e siècle, les naturalistes ne disposaient au sujet du dodo que de quelques rares ossements provenant de ces individus « importés ». Le spécimen potentiellement le plus intéressant, un dodo naturalisé qui se trouvait au musée d'Oxford, avait dû être mis au rebut en 1755, car il était dans un piteux état : seule la tête et un pied furent conservés (ils sont aujourd'hui un des trésors du musée d'histoire naturelle de l'Université d'Oxford – et ont donné à Lewis Carroll l'idée du dodo dans *Alice au pays des merveilles*, qui, par une curieuse coïncidence, parut l'année de la découverte de la Mare aux Songes).

Au début du XIX^e siècle, le dodo, comme les autres espèces éteintes de l'île Maurice, était bien oublié. La plupart des habitants de l'île Maurice n'en avaient plus aucun souvenir. Certains se demandaient même si le dodo avait existé. D'autres, cependant, avaient bien compris que cet oiseau avait disparu du fait de l'action de l'homme. En 1848, les naturalistes anglais Hugh Strickland et Alexander Melville publièrent une monographie sur le dodo qui faisait le point sur la question et confirmait l'opinion du zoologue danois Johannes Reinhardt, lequel voyait dans le dodo un pigeon géant. L'hypothèse fut confortée bien plus tard par des études sur l'ADN : le plus proche parent encore vivant du dodo serait le pigeon de Nicobar, *Caloenas nicobarica*, qui vit sur certaines îles du Sud-Est asiatique, et c'est sans doute de cette région que provenaient les ancêtres de *Raphus cucullatus*, encore capables de voler.

Mais le matériel ostéologique dont disposaient Strickland et Melville demeurait limité. C'est pourquoi la découverte à la Mare aux Songes d'une accumulation d'ossements de dodos et d'autres animaux endémiques disparus fit sensation dans les milieux scientifiques. Il devenait possible d'étudier en détail l'ostéologie non seulement de *Raphus cucullatus*, mais aussi de nombreuses autres créatures peu ou pas connues qui avaient vécu à l'île Maurice avant l'arrivée des humains, et de reconstituer ainsi toute une faune disparue.

La Mare aux Songes, source d'os inépuisable

À la suite de Clark, d'autres naturalistes vinrent collecter des spécimens à la Mare aux Songes pour en faire bénéficier diverses institutions scientifiques – ainsi Théodore Sauzier, président d'une commission du gouvernement mauricien chargée d'étudier les « souvenirs historiques » de l'île, qui reprit les fouilles dans le marécage en 1889. Les ossements d'oiseaux qu'il découvrit firent l'objet d'études par les Britanniques Edward Newton et Hans Gadow et le Français Alphonse Milne-Edwards, révélant une diversité ornithologique qui allait bien au-delà du célèbre dodo, avec la « poule rouge » (un membre du groupe des râles, qui, en fait, avec son long bec courbé, ne ressemblait pas du tout à une poule), mais aussi des perroquets, des hérons, des hiboux, des canards...

■ LES AUTEURS



Eric BUFFETAUT est paléontologue au Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure, à Paris (CNRS, UMR 8538).



Delphine ANGST effectue un postdoctorat au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), à Saclay.



Avec l'aimable autorisation des descendants de Paul Carié

LE NATURALISTE PAUL CARIÉ
(ici en uniforme de l'armée française durant la Première Guerre mondiale) a beaucoup contribué à l'étude des fossiles de la Mare aux Songes en constituant d'importantes collections de spécimens que l'on redécouvre aujourd'hui.



Mais la faune éteinte de l'île Maurice ne se composait pas uniquement d'oiseaux. Elle comprenait aussi des reptiles, dont des lézards et des serpents, et deux espèces de tortues géantes appartenant au genre *Cylindraspis*, dont l'une possédait une étrange carapace en forme de selle. Les uniques mammifères présents étaient des chauves-souris : seuls des mammifères volants avaient pu coloniser l'île Maurice avant l'arrivée de l'homme.

La Mare aux Songes apparaissait donc comme une source inépuisable de spécimens subfossiles (c'est-à-dire un peu trop récents pour être considérés comme fossiles au sens propre du terme) représentatifs de la faune qui avait peuplé l'île Maurice avant l'arrivée des humains. Hors de ce marécage, quelques rares sites en ont livré des restes. Il s'agit essentiellement de fissures et de grottes (à proprement parler des tunnels de lave) dans les montagnes volcaniques du nord de l'île.

Leur principal explorateur fut Louis Thirioux (1846-1917), un coiffeur français de la ville de Port-Louis. Il parcourut inlassablement la région et y fit des découvertes remarquables, avec notamment des squelettes articulés plus ou moins complets, alors que la Mare aux Songes livre principalement des os isolés, les squelettes ayant été désarticulés lors de leur enfouissement dans les sédiments tourbeux peu compacts. Mais en ce qui concerne le nombre de spécimens recueillis et la diversité faunique qu'ils révèlent, ce site reste inégalé, un siècle et demi après sa découverte.

PARMI LES SPÉCIMENS de la collection de Paul Carié récemment redécouverte, on trouve de nombreux ossements de dodo (*en haut*) et des crânes de tortue géante *Cylindraspis* (*en bas*).

Longtemps, la Mare aux Songes fut considérée surtout comme une source de spécimens destinés à être envoyés dans des musées européens où des spécialistes les décriraient, fournissant ainsi une image de plus en plus complète de la faune disparue de l'île Maurice. Mais depuis quelques années, des études plus précises sont menées pour mieux comprendre dans quelles conditions géologiques et sédimentologiques ce remarquable gisement fossilifère s'est formé. Depuis 2005, une équipe internationale y mène des fouilles systématiques dans ce but.

Ainsi, il s'avère que le marécage est en fait constitué de trois bassins formés lors de l'effondrement d'un tunnel de lave, à peu de distance de la mer. Au-dessus du basalte se sont d'abord déposées des argiles, puis un sable corallien apporté par le vent.

Ensuite, il y a environ 5000 ans, un lac s'est installé dans les bassins, au fond duquel s'est formé un dépôt de marne.

Par-dessus, vient la couche fossilifère proprement dite, qui est une sorte de tourbe de couleur marron déposée dans un milieu marécageux en bordure de lac et extrêmement riche en restes de végétaux (trunks d'arbres, branches, feuilles, graines, racines, grains de pollen) et d'animaux (ossements, mais aussi coquilles d'escargots et restes d'insectes).

Paul Carié, héritier de la Mare aux Songes

Comment cette accumulation s'est-elle formée ? La région sud-est de l'île Maurice est particulièrement sèche à cause d'une forte évaporation, et l'était plus encore il y a environ 4000 ans, lorsque s'est constitué le niveau fossilifère d'après les datations au carbone 14. Le lac marécageux de la Mare aux Songes constituait apparemment une sorte d'oasis qui attirait de nombreux animaux à la recherche d'eau douce. Beaucoup d'entre eux semblent s'être enlisés dans la tourbe sans pouvoir s'en extraire, et leurs débris se sont accumulés au cours du temps. La rareté des restes squelettiques articulés s'explique sans doute par des mouvements de l'eau et par le piétinement de certains animaux, telles les tortues.

L'étude de la Mare aux Songes se poursuit aussi grâce aux spécimens qui y ont été récoltés depuis 150 ans, notamment avec la « redécouverte » de nombreux vestiges collectés il y a un peu plus d'un siècle par

■ BIBLIOGRAPHIE

J. P. Hume *et al.*, *Rediscovery of a lost Lagerstätte : a comparative analysis of the historical and recent Mare aux Songes dodo excavations on Mauritius*, *Historical Biology*, doi : 10.1080/08912963.2014.945927, 2014.

D. Angst *et al.*, *The end of the fat dodo ? A new mass estimate for *Raphus cucullatus**, *Naturwissenschaften*, vol. 98, pp. 233-236, 2011.

D. Angst et E. Buffetaut, *Un dodo en Normandie*, *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences Naturelles d'Elbeuf*, vol. 2010, pp. 9-16, 2010.

A. Cheke et J. P. Hume, *Lost Land of the Dodo*, T. and A.D. Poyser, 2008.

Paul Carié. Issu d'une famille d'origine française installée à Maurice depuis le XVIII^e siècle, le naturaliste milita sans succès pour la rétrocession à la France de son île natale. Ses compétences lui valurent d'être nommé correspondant du Muséum de Paris, qui lui confia des missions scientifiques dans l'océan Indien. Il fut président de la Société zoologique de France en 1923, et c'est à Paris qu'il mourut en 1930. Devenu par héritage propriétaire de la Mare aux Songes, il y fit effectuer des campagnes de fouilles dans les premières années du XX^e siècle. Par ailleurs, il acheta à Thirioux des spécimens que ce dernier avait récoltés dans les grottes mauriciennes.

Carié fit don d'importantes collections de vertébrés subfossiles, dont le dodo, à divers musées européens, dont le Muséum de Paris, le musée cantonal de géologie de Lausanne et le musée d'Elbeuf-sur-Seine. Ces spécimens furent étudiés, souvent après le décès de Carié, par divers spécialistes. Les restes de lézards et de serpents conservés à Paris permirent notamment au paléontologue Robert Hoffstetter, dans

les années 1940, de faire mieux connaître l'herpétofaune disparue de l'île Maurice. En 2011, les ossements de dodo du musée d'Elbeuf ont servi de point de départ à une étude plus vaste qui permit de conclure que cet oiseau était sensiblement moins lourd (une dizaine de kilogrammes en moyenne) qu'on ne l'avait souvent pensé.

Des trésors subfossiles en cours d'étude

Les descendants de Paul Carié ont généreusement fait don au musée d'Elbeuf d'une importante collection d'histoire naturelle constituée par leur aïeul. Outre d'intéressants documents écrits, elle comprend des insectes, des coquillages, des œufs d'oiseaux, des éléments squelettiques de vertébrés actuels, provenant pour l'essentiel de l'île Maurice. Mais les spécimens les plus significatifs sont sans nul doute les nombreux ossements de vertébrés subfossiles issus pour la plupart de la Mare aux Songes. Leur inventaire est en cours, mais on peut d'ores et déjà affirmer que

la collection comprend une importante série d'os de dodo, ainsi que de nombreux restes de la tortue *Cylindraspis*, dont une cinquantaine de crânes. Diverses autres espèces sont représentées et restent à identifier avec précision.

À côté d'os très bien conservés, d'autres sont beaucoup plus fragmentaires. C'était rarement le cas dans les collections plus anciennes. Celles-ci comprenaient surtout des spécimens sélectionnés pour leur bon état de conservation, et les conservateurs de musées répugnaient à les mettre à disposition pour des prélèvements à des fins d'analyse scientifique. Les os incomplets que Paul Carié a conservés se prêteront plus facilement à des études géochimiques et histologiques, lesquelles aideront à mieux comprendre certains aspects de la biologie des animaux endémiques de la Mare aux Songes. Cent cinquante ans après la découverte de ce site remarquable, il reste en effet encore beaucoup à découvrir du monde perdu dont il témoigne – et les efforts de Paul Carié n'ont pas fini de porter leurs fruits. ■



Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

une collection complète d'instruments de travail pour la recherche en sciences humaines



Produire et échanger au Néolithique

Vincent Ard

393 pages
21 x 27 cm
br.
45 €



Ethnographies plurielles

Sous la direction de Tiphaine Barthélemy, Philippe Combessie, Laurent Sébastien Fournier et Anne Monjaret

304 pages
17 x 22 cm
br.
26 €

Éclairez votre été !

Abonnez-vous à **POUR LA SCIENCE**



+ En CADEAU de bienvenue :

Une lampe torche solaire* pour vous accompagner cet été dans toutes vos excursions, randonnées, balades...

Un objet malin et écologique qui fonctionne **sans piles ni manivelle**. Grâce à ses capteurs solaires, cette lampe de poche pourra vous fournir plusieurs heures d'éclairage.

Modèle Medium NEST en aluminium et plastique - Fourni avec 5 Led lumen 30 - Dimension : longueur 12,5 m / diamètre 10 mm - Poids : 87 gr - Valeur : 14 €

