



HAL
open science

Analyse d'ouvrage/Book review: Tolkien et les sciences

Michel Laurin

► **To cite this version:**

Michel Laurin. Analyse d'ouvrage/Book review: Tolkien et les sciences. Bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse, 2023, 159, pp.159-170. hal-04521980v1

HAL Id: hal-04521980

<https://hal.science/hal-04521980v1>

Submitted on 26 Mar 2024 (v1), last revised 3 Apr 2024 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Analyse d'ouvrage/Book review

Tolkien et les sciences

par ROLAND LEHOUCQ, LOÏC MANGIN & JEAN-SEBASTIEN STEYER eds ;

illustrations d'ARNAUD RAFAELIAN 2019

Belin, Paris

384 pp. Prix : 35 Euros

Analyse par Michel Laurin

CR2P, CNRS/MNHN/Sorbonne Université, Centre de Recherches en Paléontologie - Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France.

E-Mail : michel.laurin@mnhn.fr

Ce livre, coordonné par trois scientifiques passionnés par la vision scientifique de TOLKIEN, présente cet univers à travers 40 chapitres organisés en six sections (Fig. 1). Il connut un tel succès qu'il fut traduit en anglais (LEHOUCQ *et al.* 2021) par TINA KOVER (Fig. 2) ; la version anglaise porte le même titre principal (hors sous-titre) que celui de GEE (2014), avec lequel il ne faut pas le confondre ! Les belles illustrations d'Arnaud Rafaelian, monochromes et en couleur dans la version

française électronique (pas en couleur dans la version anglaise imprimée) ont dû contribuer au succès du livre. L'analyse qui suit s'applique aux deux éditions du livre, mais la pagination réfère à l'édition française, sauf mention contraire.

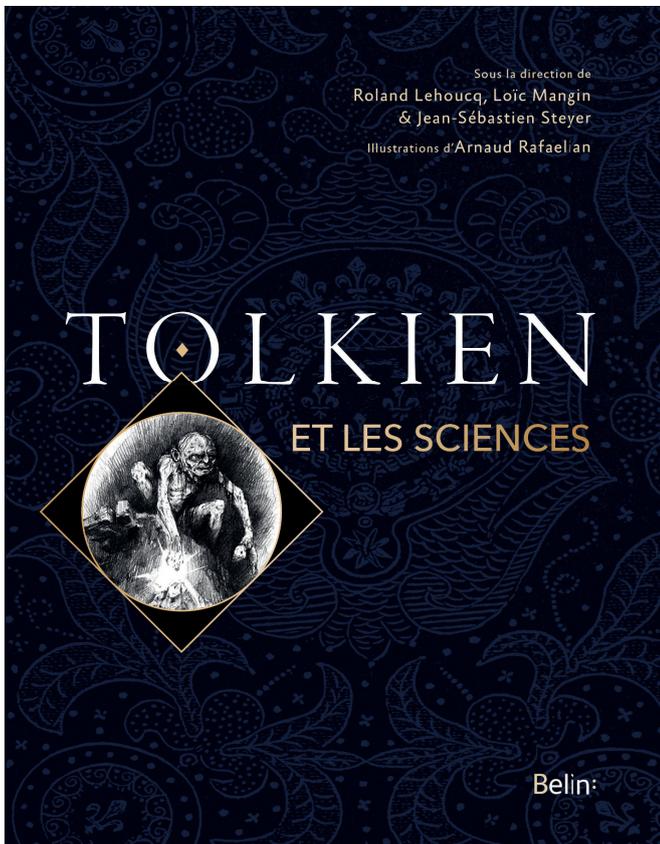


Fig. 1. Couverture de l'édition française

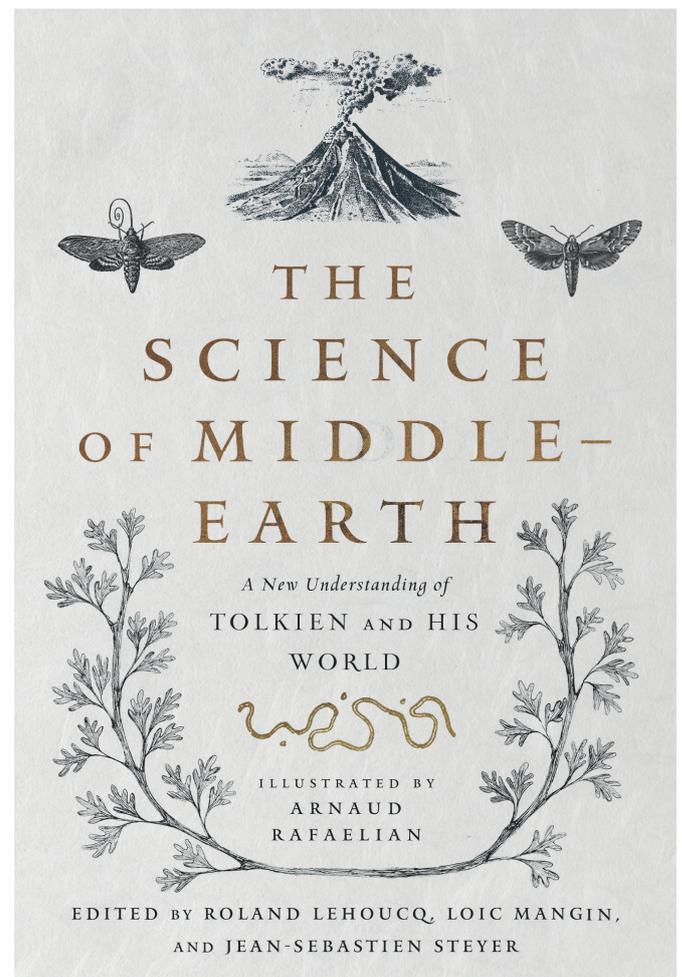


Fig. 2. Couverture de l'édition anglaise

Il peut paraître surprenant que des scientifiques aient coordonné un tel ouvrage. En effet, Roland Lehoucq est astrophysicien au CEA, Loïc Mangin est Rédacteur en Chef adjoint du magazine *Pour La Science*, alors que Jean-Sébastien Steyer est paléontologue, chercheur CNRS au CR2P. Cette surprise se dissipe rapidement à la lecture du livre, car le chapitre introductif, par Isabelle Pantin (historienne, Professeur émérite de l'ENS), souligne que TOLKIEN s'intéressa tôt dans sa vie à la paléontologie et à la zoologie (p. 14). Ceci explique peut-être que la 6^{ème} section du livre, intitulée « Un bestiaire fantastique », soit la plus développée, avec 11 chapitres. Cette analyse d'ouvrage mettra l'accent sur les aspects biologiques et paléontologiques que je maîtrise et qui sont particulièrement bien développés dans les sections 5 (« Des personnages étonnants ») et 6.

La première section du livre s'intitule « La construction d'un monde ». Elle comporte six chapitres qui traitent de la vie de TOLKIEN et de son impact sur son œuvre. Elle aborde la sociologie, la mythologie, la politique, les langues et la philosophie.

La seconde section, composée de quatre chapitres, s'intitule « Un ancrage dans l'espace et le temps ». Elle porte sur l'archéologie, l'histoire, la linguistique et la mythologie de la corruption et de la dépendance. Le chapitre intitulé « Vestiges archéologiques et cités enfouies », par Vivien Stocker, une « spécialiste de TOLKIEN », relate l'influence de l'Égypte antique, et peut-être de la Mésopotamie, dans l'architecture de la ville de Minas Tirith (capitale de Gondor pendant le 3^{ème} âge, dans l'œuvre de TOLKIEN). Entre autres exemples, l'auteur cite le seul phare dans toute l'île de Númenor, qui rappelle le phare d'Alexandrie, ainsi que des mausolées où sont inhumés les souverains de Gondor, qui rappellent les sépultures des souverains ptolémaïques, censés être situés près du tombeau d'Alexandre le Grand (qui régna en 336-323 av. J.-C.). Ce tombeau disparut, selon Stocker, lors d'un tremblement de terre en 365 apr. J.-C., mais d'autres causes ont été invoquées dans la littérature, dont des dégradations commises, entre autres, par des chrétiens, un conflit armé en 272 apr. J.-C. (ERSKINE 2002 : 179), ainsi qu'un tsunami ayant détruit de nombreux bâtiments et monuments, à la suite desquels on aurait oublié l'emplacement du tombeau. En fait, tout ceci est assez hypothétique car on ignore même quand la localisation de ce tombeau fut oubliée (ERSKINE 2002 : 178). Ce passage fut mal traduit dans la version anglaise (p. 66), qui date ainsi malencontreusement ce tremblement de terre à... 365 av. J.-C., soit avant la naissance d'Alexandre ! Ce chapitre comporte aussi une confusion (très commune) entre archéologie et paléontologie, comme l'atteste cette phrase (p. 80) : « L'intérêt de TOLKIEN pour l'archéologie n'est pas qu'une supposition. Il est rapporté qu'enfant, il trouva un fossile de mâchoire (qu'il suppose alors provenir d'un dragon !) lors d'un séjour sur la côte de *Lyme Regis* ». Il faut préciser que Lyme Regis, située sur la côte sud de l'Angleterre, est un des premiers sites paléontologiques où des reptiles jurassiques furent trouvés, notamment par Mary Anning (1799-1847), qui y récolta des ichthyosaures, plésiosaures et ptérosaures, dont plusieurs furent étudiés par le fameux géologue et paléontologue William Buckland (e.g., BUCKLAND 1829).

La troisième section du livre, intitulée « Un environnement complexe », comporta quatre chapitres sur les paysages (approche géomorphologique), la géologie, les volcans, et le climat. Le chapitre sur la géomorphologie, par Stephen Giner, indique que TOLKIEN s'est clairement inspiré du mythe de l'Atlantide (qui remonte à Platon), dans l'histoire de l'engloutissement de Númenor.

Le chapitre sur la géologie, par Loïc Mangin, inclut une surprenante assertion (p. 127) ; dans une description d'une tentative antérieure de reconstitution géologique de la Terre du Milieu par Margaret Howes, Mangin déclare : « elle retrace l'évolution de la géographie de la Terre du Milieu depuis la chute de Morgoth, à la fin du Premier Âge, jusqu'aux dernières glaciations du Pléistocène, ce qui correspond à une période qui s'étend de 95 000 à 65 000 ans ». On peut donc en déduire que Howes plaçait la fin du Premier Âge avant les dernières glaciations du Pléistocène, ce qui ne colle pas avec les données archéologiques ; imaginez, une civilisation avec une métallurgie avancée ayant existé il y a plus de 65 ka (milliers d'années) ! Mais ça ne colle pas non plus aux données paléoclimatologiques, car la dernière glaciation du Pléistocène ne s'est pas terminée il y a 65 ka, mais plus proche de 12 ka environ (WAIS Divide Project Members 2015), et elle avait commencé bien avant, vers 115 ka (NEEM community members 2013). Par contre, la suggestion que la caverne du dragon à Erebor est un tunnel de lave (p. 129) est plausible. En effet, ces tunnels, connus entre autres à Hawaï (Fig. 3), aux Açores, aux Canaries, en Californie et à La Réunion, peuvent atteindre de grandes tailles. L'auteur conclut (p. 133) que « Si TOLKIEN ne s'est pas inspiré de la géographie terrestre, l'inverse est peut-être vrai ». Cette double assertion n'est que partiellement exacte. En effet, à l'ouest de l'Irlande, des structures géologiques sous-marines ont été officiellement nommées d'après l'œuvre de TOLKIEN ; l'auteur mentionne le monticule Lórien, les bancs Fangorn et Edoras, la crête Isengard et les monts Rohan, Gondor et Eriador. Par contre, TOLKIEN s'est effectivement inspiré de la géographie terrestre dans au moins deux cas : les grottes scintillantes d'Aglarond,



Fig. 3. Entrée d'un tube de lave dans le parc national Hawaï (la couleur orangée provient du ciel, la photo étant prise de l'intérieur du tube). Photo du domaine public, téléchargée de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Close-up_of_a_skylight_on_coastal_plain_with_lava_stalactites_forming_on_the_roof_of_the_tube.jpg

fondées sur les grottes des Gorges de Cheddar (Somerset, Angleterre) et les Montagnes brumeuses, inspirées des Alpes (LARSEN 2021 : 10).

Le chapitre sur les volcans, par Laurent Stieltjes, mentionne que la vallée de Tumladen, dans laquelle se trouve la cité de Gondolin, semble être une caldera (une dépression qui s'est formée par effondrement, suite à une éruption volcanique importante ; Fig. 4). Selon l'auteur, TOLKIEN s'est surtout inspiré de légendes vikings, dont la fameuse légende du Ragnarök, pour ses descriptions de volcans (p. 134). Le parallèle entre Sauron et le dieu Romain Vulcain, qui forgent tous les deux dans des volcans (même si les objets les plus connus ayant été forgés par Sauron sont les anneaux de pouvoir, plutôt que des armes), est intrigant (p. 135).



Fig. 4. Caldera du volcan La Cumbre (Galapagos), photographiée de la station spatiale internationale. Cette caldera est relativement petite mais profonde ; certaines ont un diamètre bien plus important, comme celle de Yellowstone (Wyoming) ou du Ngorongoro (Tanzanie). Photo du domaine public, téléchargée de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_Cumbre_-_ISS.JPG

Le dernier chapitre de la troisième section est un essai de reconstitution du climat de la Terre du Milieu par Dan Lunt. L'auteur utilise les mêmes méthodes de simulation numérique pour reconstituer les climats de la Terre pré-industrielle (vers 1800-1850), la terre pendant la fin du Crétacé, et la Terre du Milieu, pour un total de trois mondes modélisés, mais seulement dans la version anglaise, car les deux éditions diffèrent, peut-être parce que l'auteur, un climatologue en poste à l'Université de Bristol, a dû rédiger sa contribution en anglais. Quoi qu'il en soit, la version française ne mentionne que la simulation du climat de la Terre du Milieu ; ce paragraphe discutera donc la version anglaise, plus étoffée, et se réfère à sa pagination. On y apprend que l'atmosphère pré-industrielle contenait environ 280 parts par million (ppm) de CO₂ mais que l'atmosphère actuelle en contient 397 ; c'est donc une augmentation de 42%, probablement due essentiellement aux effets anthropiques, dont bien sûr la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel), un sujet brûlant d'actualité ! Pire, si les rythmes de consommation d'hydrocarbures se maintiennent, la concentration de CO₂ pourrait monter à 560 ppm d'ici 2050 (p. 139). Lunt utilise malheureusement l'expression « Dinosaur Earth » et place la crise de la fin du Crétacé (K/Pg,

pour Crétacé/Paléogène, ou K/T, pour Crétacé/Tertiaire, dans les études plus anciennes) à -65 Ma ; il ajoute même que cet événement élimina les dinosaures (p. 128). Il commet ainsi une double maladresse, car d'une part, les dinosaures sont loin d'être éteints (LAURIN 1998), puisqu'ils sont représentés aujourd'hui par environ 10 900 espèces d'oiseaux (voir <https://birdsoftheworld.org/bow/home>, consulté le 26 janvier 2023), et parce que la fameuse crise K/Pg, probablement causée par la chute de la météorite de Chicxulub (Yucatan, Mexique, Fig. 5) et l'intense volcanisme des trapps du Deccan (Inde), a eu lieu il y a environ 66 Ma (BRUSATTE 2021). La simulation suggère que le climat du Comté (Shire, dans la version anglaise) était similaire à celui de la Biélorussie, alors que le climat de Mordor s'approcherait particulièrement de celui de Los Angeles et de l'ouest du Texas.

La quatrième section du livre, intitulée « Des milieux grandioses », comporte six chapitres, traitant de botanique, d'espaces souterrains (grottes et mines), de pierres précieuses, de métallurgie, d'invisibilité, et de la composition de l'Anneau Unique.

Les humanoïdes de TOLKIEN sont présentés dans la section 5, intitulée « Des personnages étonnants », qui comporte neuf chapitres. Le premier, par Luc Perino, porte sur la médecine en Terre du Milieu. Il mentionne (p. 205) que les elfes ne connaissent pas la sénescence. Ce phénomène surprenant est pourtant biologiquement plausible, mais pas forcément chez des hominidés ; on a longtemps cru que certains animaux actuels, comme les tortues, étaient exempts de sénescence, même si des travaux récents remettent cette hypothèse en question (WARNER *et al.* 2016). En fait, certains modèles suggèrent même qu'une « sénescence négative » puisse apparaître dans certaines circonstances. Une sénescence négative se définit par un taux de décès décroissant avec l'âge, après la maturité sexuelle et en général, une fécondité augmentant avec l'âge (à l'inverse de ce qui est observé chez les mammifères). Certaines études (e.g. VAUPEL *et al.* 2004) prétendent même que ce



Fig. 5. Reconstitution artistique de la chute de la météorite de Chicxulub, il y a 66 Ma. Peinture de Donald E. Davis. Image du domaine public téléchargée de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chicxulub_impact_-_artist_impression.jpg

phénomène pourrait être répandu ; des cas seraient connus chez les mollusques (gastéropodes marins et bivalves), oursins, et même parmi les vertébrés (myxines, certains téléostéens et squamates) ! Ceci s'explique, entre autres, par une taille et une vigueur augmentant avec le temps, ce qui protège, entre autres, des prédateurs. Ces conditions surviennent notamment chez des vertébrés ectothermes à croissance indéterminée, comme chez les squamates, crocodiliens et tortues. Chez ces taxons, la fécondité peut également augmenter avec le temps. Cependant, la tendance qu'ont les structures biologiques (donc, les organes) à se dégrader au fil du temps est peut-être universelle. Les meilleurs candidats pour une sénescence nulle ou négative sont donc les organismes qui peuvent réparer ou renouveler leurs organes. Ceci inclut, par exemple, les arbres qui renouvellent leurs feuilles et produisent de nouvelles branches et racines tout au long de leur vie (VAUPEL *et al.* 2004 :349). Donc, les elfes presque éternels de TOLKIEN ne sont que partiellement biologiquement plausibles.

Le second chapitre de cette section, par Jean-Sébastien Steyer, s'intitule « Pourquoi les hobbits ont-ils de gros pieds poilus ? » Steyer explique (p. 215) que puisque les mêmes gènes sont impliqués dans le développement des membres antérieurs et postérieurs, les hobbits devraient aussi avoir de grosses mains. C'est vrai, au moins considéré dans un temps évolutif court, et sans manipulations génétiques. Car chez les mammifères, des différences parfois très importantes existent entre la taille des mains et des pieds, par exemple chez les lièvres, les gerbilles et les kangourous, dont les métatarses (os de la plante du pied) sont bien plus longs que les métacarpes (os de la paume de la main). Des différences de tailles encore plus spectaculaires entre mains et pieds se trouvent dans d'autres taxons, dont le fameux dinosaure crétacé *Tyrannosaurus rex*, dont le membre antérieur était si petit qu'on se demande s'il avait encore une fonction (PADIAN 2022). Donc, une évolution différentielle des deux extrémités est possible, au moins avec assez de temps. François Marchal discute des vrais hobbits dans son chapitre « Quand un hobbit chamboule les paléo-anthropologues ». Ce chapitre a un riche contenu paléontologique, et de plus, il est un des seuls du livre qui n'ait pas d'équivalent dans celui de GEE (2014). En effet, les révisions depuis la 1^{ère} édition, datant de 2004, ont été minimales, comme GEE l'a expliqué dans la préface de la 2^{ème} édition, et les premiers articles (d'une longue série) sur ce sujet ne furent publiés qu'en 2004. Comme l'évolution des hominidés intéresse un grand nombre de lecteurs (en partie par anthropocentrisme), je n'ai pas pu résister à l'envie en faire une analyse bien plus approfondie que pour les autres chapitres du livre. J'en profite également pour fournir plusieurs références bibliographiques utiles (Marchal n'en a pas fourni pour ce chapitre).

Les petits hominidés (environ 1,06 m de haut, pour le premier individu découvert, une femelle adulte), dont la découverte est décrite au début de ce chapitre, sont souvent appelés *Homo floresiensis*. Ils diffèrent fortement de nous et pourraient être de petits *Homo erectus* (ZEITOUN *et al.* 2016), comme le mentionne Marchal (p. 219). Ils seraient alors les derniers représentants *H. erectus*, car jusqu'à la découverte de ce « hobbit », les *H. erectus* les plus récents connus dataient

d'entre 117 et 108 ka (RIZAL *et al.* 2020). Initialement le premier spécimen de *H. floresiensis* trouvé (LB1, l'holotype de ce taxon) avait été annoncé comme ayant pu remonter jusqu'à environ entre 18 ka avant le présent (BROWN *et al.* 2004). D'autres spécimens plus anciens avaient été datés à 38 ka et 74 ka (MORWOOD *et al.* 2004), ainsi qu'un spécimen plus récent, initialement daté à 12 ka (MORWOOD *et al.* 2005). Ces dates relativement récentes s'expliquent par la pratique australienne de la mise en œuvre de fouille hâtive mais peu soignée. Plus tard, SUTIKNA *et al.* (2016) révélèrent l'existence d'une discordance stratigraphique qui reculait la présence des restes attribuables à *H. floresiensis* et à son industrie lithique entre 190 et 50 ka. Marchal a bien intégré ces nouveaux âges corrigés (p. 219). Le schéma de coexistence théorique avec d'autres taxons humains dont l'homme moderne reste plausible mais pour une période plus ancienne. Cependant, l'île de Flores a été peuplée d'hominidés depuis au moins 840 ka (MOORE & BRUMM 2007); si seuls des outils attestaient de cette présence, en 2016, on mit au jour des restes humains sur le site de Soa qui pourraient être des ancêtres de *H. floresiensis* (VAN DEN BERGH *et al.* 2016).

Une des principales hypothèses est que la petite taille de cet hominidé est liée au nanisme insulaire (BROWN *et al.* 2004), car il a été trouvé sur l'île de Flores, qui couvre environ 14 000 km², dans l'est de l'Indonésie (Fig. 6), et qui n'a probablement jamais été reliée aux plus grandes îles qui l'entourent (LAHR & FOLEY 2004). L'homme de Flores possédait-il déjà des embarcations rudimentaires, ou serait-il arrivé par hasard sur un radeau naturel, comme cela arrive régulièrement (EGERTON 2012) ? En tous cas, l'explication d'un nanisme insulaire, évoquée par Marchal (p. 219), est d'autant plus

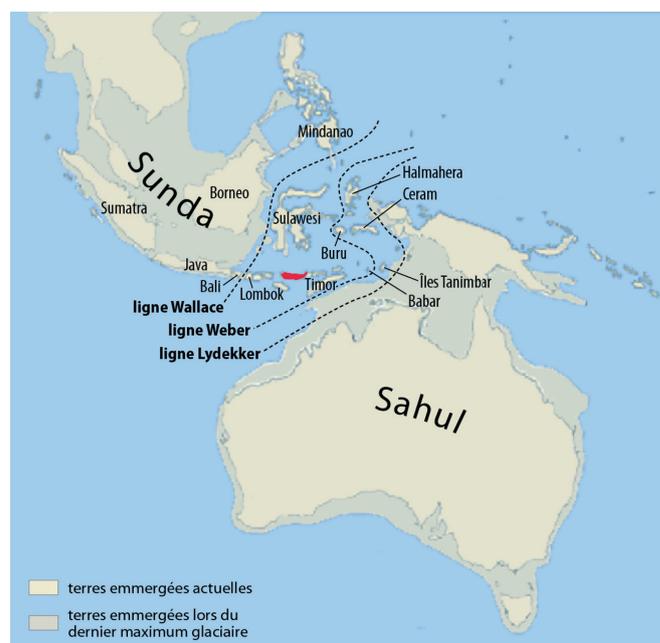


Fig. 6. Carte montrant la Ligne de Wallace qui sépare à peu près (mais moins bien que la Ligne de Lydekker), les zones biogéographiques Indomalaise et Australasienne. L'île de Flores est surlignée en rouge. Image publiée sous la licence « Attribution-ShareAlike 3.0 », modifiée (surlignage de l'île de Flores) de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carte_de_Sunda_et_Sahul.png

plausible que l'île de Flores était alors aussi habitée par des éléphants nains (*Stegodon florensis insularis*), dont on connaît les prédécesseurs bien plus grands (VAN DEN BERGH *et al.* 2008). L'histoire de *Stegodon* sur l'île de Flores n'est pas détaillée par Marchal, qui mentionne ce taxon brièvement (pp. 219, 222). Elle est pourtant fort complexe et intéressante, car elle permet de mieux comprendre l'évolution de la taille corporelle du « hobbit » et de son arrivée sur cette île. En effet, pour atteindre cette île, les hominidés et les éléphants durent franchir la fameuse ligne de Wallace (Fig. 6), nommée d'après le fameux co-découvreur de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle, qui séparait, selon lui, deux grandes zones biogéographiques, qu'on appelle souvent « Orientale » et « Australienne » (CECCA & ZARAGÜETA I BAGILS 2015 : fig. 5.1) ou encore « Indomalaise » et « Australasienne ». En fait, Wallace avait mal placé cette ligne, qui devrait être à l'est de Flores (Weber et Lydekker proposèrent ultérieurement des lignes alternatives ; Fig. 6), mais cette île est néanmoins difficile à atteindre pour des vertébrés terrestres (MAYR 1944). Une fois sur place ces vertébrés se trouvent donc à peu près coupés des populations continentales ou vivant sur d'autres îles et leur évolution est influencée par l'environnement insulaire, qui peut conduire soit au nanisme, soit au gigantisme, comme on l'observe chez les dragons de Komodo (*Varanus komodoensis*, Fig. 7), qui vivaient aussi sur Flores au Pléistocène. Selon VAN DEN BERGH *et al.* (2008), *Stegodon* serait arrivé au moins deux fois sur l'île de Flores. La première immigration a donné naissance à *Stegodon sondaari*, dont la présence est attestée à Flores il y a 900 ka (VAN DEN BERGH *et al.* 2008 : 16), peu avant son extinction, mais la venue de *S. sondaari* sur cette île doit être bien plus ancienne, car la taille de ce taxon était alors déjà fortement réduite il y a 900 ka, avec seulement 300 kg (pour un adulte). Une seconde immigration de *Stegodon* survint peu après, car la présence de *Stegodon florensis florensis*, nettement plus grand (850 kg),

est attestée sur l'île entre 850 et 700 ka (VAN DEN BERGH *et al.* 2008 : 31). *S. florensis florensis* serait l'ancêtre direct de *Stegodon florensis insularis*, dont la présence est attestée sur Flores entre 190 et 50 ka, selon les datations corrigées des dépôts de la grotte de Liang Bua par SUTIKNA *et al.* (2016). Selon VAN DEN BERGH *et al.* (2008 : 31), il s'agit de deux chrono-sous-espèces. *S. florensis insularis* avait une taille comparable à celle de *S. sondaari*, ce qui montre une seconde réduction de taille importante en moins de 1 Ma. Si de telles pressions sélectives se sont exercées aussi sur les hominidés de Flores, on comprend mieux la petite taille du « hobbit ». Selon Marchal, le « hobbit » chassait probablement des jeunes individus de ces éléphants nains pour s'en nourrir mais d'autres études n'excluent pas un simple charognage de la part de *H. floresiensis*. En tous cas, l'accumulation de squelettes de jeunes individus de *S. florensis insularis* dans des couches ayant fourni de nombreux outils de pierre (MOORE *et al.* 2009) et des traces laissées sur les os par de tels outils suggèrent fortement que le « hobbit » se soit nourri de ce petit éléphant.

H. floresiensis semble disparaître vers 50 ka. On ignore si *Homo sapiens* a côtoyé *H. floresiensis* sur Flores, car plus haut dans la séquence de la grotte, on ne retrouve des hominidés (attribuables à *H. sapiens*) que dans l'Holocène (MORWOOD *et al.* 2005, SUTIKNA *et al.* 2016). Cependant, *H. sapiens* était déjà présent à Sumatra entre 73 et 63 ka (WESTAWAY *et al.* 2017). Ce dernier aurait-il exterminé *H. floresiensis* ? Il faudra plus de données pour résoudre cette question.

Pourquoi a-t-on surnommé cet hominidé « hobbit » ? A l'époque de sa découverte (en 2003), TOLKIEN était très populaire car la trilogie « Le Seigneur des Anneaux » avait été diffusée dans les cinémas en 2001, 2002 et 2003 ; Mike Morwood, un des découvreurs du fossile et co-auteur de l'étude n'hésita donc pas longtemps pour surnommer ce petit hominidé « hobbit » (p. 219). De plus, les pieds de *H. floresiensis* sont plats (ce qui est signalé dans le chapitre de



Fig. 7. Dragon de Komodo (*Varanus komodoensis*). Individu du jardin zoologique Ragunan (Jakarta, Indonésie). Image publiée sous la license « Attribution-ShareAlike 2.1 », téléchargée de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Komodo_dragon_Varanus_komodoensis_Ragunan_Zoo_2b.jpg

Steyer) et grands (JUNGERS *et al.* 2009), particulièrement si on les compare à la longueur du fémur et du tibia (très courts). Ces caractéristiques rappellent aussi le « Hobbit » de TOLKIEN (p. 221). Ce vrai « hobbit » diffère cependant substantiellement de celui de TOLKIEN, car les proportions de ses pieds, avec d'assez grands orteils rappellent, par certains points de vue, plus ceux des chimpanzés (*Pan troglodytes*) que ceux d'un *H. sapiens*. De tels pieds sont moins performants que les nôtres pour la marche ou la course, mais pourraient être plus efficaces pour grimper. En fait, ces pieds sont tellement primitifs que JUNGERS *et al.* (2009 : 81) suggérèrent que *H. floresiensis* ne dérive pas de *H. erectus* (ce qui est surprenant car on ne connaît pas de pied attribué de façon certaine à *H. erectus* !), mais plutôt d'un taxon « plus primitif », ce qui suggère un australopithèque, ou une espèce plus ancienne d'*Homo*, comme *Homo habilis*. Cette hypothèse, également suggérée par des caractères visibles dans d'autres parties du squelette, est évoquée brièvement par MARCHAL (p. 223-224). De plus, ce « hobbit » avait une petite tête (Fig. 8), qui renfermait un des plus petits cerveaux de tous les hominidés connus, à peine 380 cm³ (selon certaines estimations), à comparer avec environ 1500 cm³ pour notre espèce (BROWN *et al.* 2004). Ce petit cerveau est très surprenant car on pensait, jusqu'à cette découverte, que l'évolution des hominidés se caractérisait

par une augmentation progressive de la taille du cerveau, augmentation particulièrement évidente dans le taxon *Homo*. Or, *Homo habilis*, bien plus ancien (environ 2 Ma), avait un cerveau plus grand (près de 600 cm³), comme le souligne MARCHAL (p 221). Cependant, la découverte de l'humain de Naledi (BERGER *et al.* 2015) en Afrique du Sud révèle la présence d'autres hominidés avec un petit crâne (dont l'âge géologique est malheureusement inconnu).

Certains des travaux évoqués ci-dessus, et particulièrement celui de ZEITOUN *et al.* (2016), ainsi que la présence avérée de *H. erectus* dans le Sud-est asiatique dans le dernier million d'années, suggèrent la paraphylie d'*H. erectus* si on en exclut *H. floresiensis* (BROWN *et al.* 2004). Cette paraphylie (exclusion de certains descendants du dernier ancêtre commun des membres d'un taxon) potentielle d'*H. erectus* ne semble pas susciter beaucoup d'émoi parmi les paléoanthropologues, à l'exception de ZEITOUN *et al.* (2016 : 563), qui recommandent de traiter *H. floresiensis* comme un synonyme d'*Homo erectus*. Cette nomenclature non-phylogénétique, apparemment encore commune parmi les paléoanthropologues, peut être illustrée par une citation d'une des premières études des restes du « hobbit » (MORWOOD *et al.* 2005 : 1016) : « La morphologie crânienne, les proportions du squelette et l'endocrâne de LB1, ainsi que la combinaison de caractéristiques primitives et dérivées évidentes dans les deux mandibules excavées, confirment que cette population d'hominines ne peut être rattachée ni à *H. sapiens* ni à *H. erectus* ». (ma traduction.) MORWOOD *et al.* (2005 : 1016) utilisent donc un concept d'espèce purement phénotypique, auquel Marchal semble également adhérer. En fait, la première analyse phylogénétique qui ait inclut le « hobbit » (ARGUE *et al.* 2009) ne fut publiée que cinq ans après l'étude ayant érigé le taxon *H. floresiensis* (BROWN *et al.* 2004). Par comparaison, en paléontologie des vertébrés, lorsqu'un nouveau taxon intéressant est découvert, l'étude où le taxon est érigé inclut typiquement une analyse phylogénétique pour déterminer ses affinités (e.g., JALIL & JANVIER 2005 : fig. 49), ce qui révèle l'ampleur des différences culturelles entre paléoanthropologie et le reste de la paléontologie des vertébrés (ZEITOUN 2015). L'analyse de ARGUE *et al.* (2009) présente deux arbres équiparcimonieux, dans lesquels *H. floresiensis* est dans une position relativement basale dans le clade *Homo*, avec *H. habilis* et *Homo rudolfensis*, mais autrement, les deux arbres diffèrent fortement l'un de l'autre. Cette analyse ne soutient pas de filiation étroite entre *H. erectus* et *H. floresiensis*. Cependant la phylogénie, fondée sur 60 caractères, est peu robuste, comme en témoigne l'absence de résolution dans l'arbre de bootstrap qui ne retient que les clades présents dans au moins 50% des arbres de bootstrap (ARGUE *et al.* 2009 : fig. 2). Les arbres de bootstrap résultent d'un échantillonnage de caractères avec remplacement et permet de juger du soutien relatif des clades (FELSENSTEIN 1985) et sont devenus un standard établi en phylogénétique (HOANG *et al.* 2018). ARGUE *et al.* 2009 : 628) admettent que le bootstrap de leurs données « ne soutient aucun clade », ce qui montre que leur étude était loin de résoudre le problème, mais probablement que celle de ZEITOUN *et al.* (2016) n'est pas non plus le mot final de l'histoire.



Fig. 8. Crâne de l'homme de Flores, le « hobbit ». Photo par Rama d'un moulage de LB1 exposé au musée cantonal des sciences naturelles (Lausanne). Image publiée sous la licence « Attribution-ShareAlike 3.0 France », téléchargée de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Homo_Florensiensis-MGL_95216-P5030051-white.jpg

En effet, certains auteurs, surtout des pathologistes, ont suggéré que le « hobbit » de Flores était plutôt un *Homo sapiens* pathologique. HENNEBERG *et al.* (2014) prétendent que les estimations de la capacité cérébrale (380 ml) et de taille corporelle (1,06 m) sont biaisées et trop faibles et estiment plutôt ces valeurs à 430 ml et 1,20–1,38 m. Ils contestent également la thèse de MORWOOD *et al.* (2005 : 1016) selon laquelle la microcéphalie et le nanisme causé par diverses pathologies connues résultent en des proportions des membres normales, assez différentes de celles de *H. floresiensis*. Au contraire, selon HENNEBERG *et al.* (2014), les caractères de LB1 sont caractéristiques de la trisomie 21 (syndrome de Down). Ils concluent donc que « les nombreux signes pathologiques qui marquent la morphologie crânienne et postcrânienne de l'individu LB1 établissent une très forte probabilité que ce spécimen manifeste un syndrome de Down. ... Les individus tératologiques étant exclus des spécimens types par le Code international de nomenclature zoologique, la documentation d'anomalies graves chez LB1 laisse *Homo floresiensis* comme un *nomen nudum* ». Marchal mentionne brièvement cette hypothèse (p. 220). De bons arguments ont été présentés de part et d'autre du débat. Néanmoins, la découverte d'autres restes d'un petit hominidé (apparemment encore plus petit que *H. floresiensis*) à Mata Menge datant de 700 ka sur l'île de Flores à Sao (VAN DEN BERGH *et al.* 2016) associé à des outils affaiblit la thèse d'un *H. sapiens* pathologique. Ceci suggère également que la réduction de taille dans cette lignée (si cet hominidé est l'ancêtre de *H. floresiensis*) est survenue très tôt. Notons finalement que le lien entre la petite taille du « hobbit » de Flores (visible aussi bien dans les os appendiculaires des quelques spécimens connus que dans le seul crâne récolté) et le nanisme insulaire reste valable, que cet hominidé représente un *H. erectus* ou un *H. sapiens*.

Ce chapitre est agrémenté d'une figure intitulée « Un panorama de l'évolution humaine », qui montre la répartition stratigraphique et la taille du cerveau de 26 taxons d'hominidés. Cette figure inclut des reconstitutions de huit de ces hominidés. On regrette seulement que Marchal n'ait pas osé relier ces taxons par des liens de parenté, ce qui aurait transformé les étendues stratigraphiques en un arbre évolutif, mais on comprend qu'il ait pu hésiter à franchir ce pas, étant donné les nombreuses controverses sur la phylogénie des hominidés.

Le chapitre suivant de la section 5, par Jean-Sébastien Steyer, s'intitule « Gollum, la métamorphose du hobbit ». Steyer compare la lente transformation du hobbit Sméagol en Gollum, ainsi que celles d'autres animaux relatée par des contes populaires (comme les loups-garous ou la grenouille qui se change en prince charmant) à la métamorphose des amphibiens et des insectes. Ces métamorphoses avérées dans le monde animal pourraient, selon Steyer, être la source d'inspiration des mythes populaires et de TOLKIEN. C'est possible, mais il faut néanmoins souligner une importante différence (mentionnée par Steyer) : les métamorphoses observées chez divers animaux font partie du cycle de vie normal et s'effectuent bien plus vite que celle de Sméagol en Gollum, mais bien plus lente que celle d'un humain en loup-garou ! Et ces dernières sont des événements anormaux et

pathologiques, bien que parfois réversibles (les loups-garous alternent entre la phase humaine et loup). Steyer se demande également si Gollum pouvait respirer par la peau (p. 230). Bien qu'une peau humide telle que celle de Gollum (comme elle est représentée dans les films) devrait permettre des échanges gazeux, vue la taille de Gollum et le taux métabolique des mammifères en général, la peau ne pourrait subvenir qu'à une infime proportion de ses besoins d'échanges gazeux. Les urodèles, qui sont parmi les champions de la respiration cutanée parmi les vertébrés (REAGAN & VERRELL 1991), ont un taux métabolique spécialement faible (GARDNER *et al.* 2020 : fig. 1).

Roland Lehoucq et Jean-Sébastien Steyer traitent ensuite de « La vision des elfes », puis Sidney Delgado et Virginie Delgado Bréüs se demandent « Les nains sont-ils des hyènes ? » Ce chapitre, qui cite de nombreuses sources scientifiques, attire l'attention sur les caractères masculins (comme la présence de barbe) des femmes des nains dans l'œuvre de TOLKIEN, qui rappellent ceux des hyènes femelles, dans la mesure où celles-ci ont une vulve très développée qui rappelle un pénis. Les auteurs discutent aussi la surprenante rareté des naines. En effet, comme les auteurs le soulignent, dans la nature, le rapport du nombre d'individus des deux sexes est d'environ 1:1, alors que chez les nains, les femmes sont réputées être bien plus rares que les hommes.

On s'interroge ensuite sur « La possibilité d'un ent » (chapitre de Bruno Corbara). L'auteur soulève la question de la nature de l'ent, qui semble « être à la fois une plante et un animal » (p. 249). En fait, cette question peut avoir du sens d'un point de vue écologique (et c'est effectivement la spécialité de Corbara), mais d'un point de vue évolutif, c'est une mauvaise formulation. En fait, l'ancienne division du monde vivant entre les règnes « animal » et « végétal » est périmée. On a réalisé depuis longtemps qu'une division entre eukaryotes (organismes avec noyau cellulaire) et prokaryotes (sans noyaux cellulaires) était plus fondamentale, et même le groupe des prokaryotes a ensuite été démantelé car il regroupait deux taxons bien distincts, les bactéries à proprement parler, et les archées. Or, les plantes et animaux ne constituent qu'une petite partie des eukaryotes, et ils ne sont même pas étroitement apparentés les uns aux autres. Ainsi, les champignons sont plus proches des animaux que des plantes. Et ce qu'on appelle communément « plante » est un groupe polyphylétique (constitué de plusieurs clades qui ne sont pas étroitement apparentés les uns aux autres) d'organismes photosynthétiques. En effet, divers groupes d'eukaryotes (algues rouges, brunes, et vertes) ont acquis en parallèle des chloroplastes (organelles cellulaires où la photosynthèse a lieu), qui proviennent de l'endosymbiose de cyanobactéries (le groupe de bactéries photosynthétiques). En terminologie contemporaine on tend à désigner les seules embryophytes (plantes terrestres) par le mot « plante ». Corbara mentionne que selon l'œuvre de TOLKIEN les ents semblent avoir été créés (p. 253), mais il cherche néanmoins leur origine évolutive. L'auteur souligne le caractère intermédiaire (d'un point de vue écologique) de certains groupes, comme les plantes insectivores (qui rappellent les animaux de par leur régime alimentaire) et les coraux (qui rappellent les plantes

par leur mode de vie fixé, au moins pendant le stade polype). Le cas des coraux est particulièrement pertinent car ils ont des endosymbiotes photosynthétiques, ce qui leur confère un certain caractère végétal (d'un point de vue écologique uniquement) et explique leur vulnérabilité à la pollution marine ; une diminution importante de la clarté de l'eau réduit l'énergie solaire disponible pour leurs endosymbiotes. La section finale du chapitre tente de déterminer si les ents sont des plantes qui ont acquis des caractéristiques qui rappellent celles des animaux, ou des animaux qui ressemblent à des plantes. Il conclut que la seconde alternative est plus plausible. Le cas des ents qui se transforment lentement en arbres, évoqué dans l'œuvre de TOLKIEN, suggère que les ents peuvent devenir complètement autotrophes ou saprotrophes. Dans ce cas, il faut supposer un métabolisme très lent. Or, Corbara indique (p. 252) que « des ents retournés à l'état sauvage (faut-il comprendre proches de l'état d'arbres ?) qui peuvent se réveiller, les huorns participent avec succès à la bataille décisive contre Sauron ». D'un point de vue biologique, c'est peu plausible. De tels ents, à métabolisme très lent, bougeraient au mieux très lentement, comme d'énormes paresseux ; difficile de les imaginer combattant efficacement les armées de Sauron ! À moins, bien sûr, de supposer que les ents possèdent une impressionnante capacité de ralentir ou accélérer leur métabolisme, comme certains organismes qui peuvent suspendre leur activité. Les tardigrades, qui peuvent perdre jusqu'à 97% de leur eau corporelle et être réanimés après réhydratation, et survivre à 20 mois de congélation à -200 °C (MILLER 2011) en sont un exemple spectaculaire (mais microscopique).

Sidney Delgado et Virginie Delgado Bréus discutent ensuite d'orques génétiquement modifiés. Ces modifications peuvent impliquer des croisements avec des humains, ou des manipulations génétiques de l'ADN telles que celles qui nous a donné divers OGMs (organismes génétiquement modifiés). Les auteurs expliquent (p. 260) que pour qu'un croisement réussisse, il faut qu'il implique des individus appartenant au même genre (comme *Homo*, *Equus*, *Panthera* ou *Ursus*). En fait, c'est une simplification. On a bien proposé de définir les genres ainsi (DUBOIS 1981), mais en pratique, la capacité d'hybridation persiste pendant l'évolution pendant des temps très variables selon les taxons, environ 2 ou 3 Ma chez les mammifères, mais plus de 20 Ma chez les oiseaux et anoures (DUBOIS 1982 : tableau 2), et le genre en tant que niveau taxonomique, n'a aucune réalité (LAURIN 2010). On peut donc penser qu'un humain pourrait être croisé avec un australopithèque ou... un orc ! Mais dans la plupart des cas, les hybrides entre taxons relativement éloignés (incluant entre espèces au sein d'un taxon considéré comme genre) sont stériles, ce qui pose le problème du maintien d'une telle population.

Jean-Philippe Colin tente d'étudier la phylogénie des peuples de la Terre du Milieu. Comme la phylogénétique est ma spécialité, je n'ai pas résisté à l'envie d'analyser ce chapitre en profondeur, et comme Colin n'a pas fourni de bibliographie, j'en profite également pour fournir des références sur la paléogénomique et la phylogénie du taxon *Homo*, qui sont pertinentes à l'analyse de ce chapitre, comme

on le verra. Cette contribution originale inclut un cladogramme (figure 2 du chapitre) produit à partir de divers caractères et du principe de parcimonie (HENNIG 1965), qui est mal traduit, dans la version anglaise (p. 269), par le mot « sparse », au lieu de « parsimony ». On considère généralement que cette méthode s'applique à des entités résultant d'une évolution. Ce chapitre pose donc un problème de cohérence avec la contribution de Christine Argot et Luc Vivès sur « Langage et évolution chez TOLKIEN » (dans première section du livre), car on y lit (p. 65) : « Il n'y a pas d'ancêtre commun non plus aux elfes et aux hommes, qui sont des actes de création distincts ». Pour réconcilier les deux chapitres, il faudrait considérer que ces créations distinctes réfèrent à la mythologie de la Terre du Milieu, mais que comme notre Terre, sa biosphère est le résultat d'une évolution biologique.

Un problème plus sérieux est soulevé par l'assertion de LARSEN (2021 : 15) que les humains et les elfes ne forment qu'une espèce, assertion fondée sur une lettre assez largement commentée de TOLKIEN à Peter Hastings datant de 1954 (CARPENTER 2000). Dans cette lettre, TOLKIEN affirme « Les Elfes et les Hommes sont manifestement une seule et même race sur le plan biologique, sinon ils ne pourraient pas se reproduire et produire une progéniture fertile – même si c'est un événement rare ». Comme le mentionne LARSEN (2017 : 10), TOLKIEN confond ici race et espèce, car la race est un rang inférieur à la sous-espèce, et les individus appartenant à des races distinctes (ou même à des sous-espèces distinctes) d'une même espèce donnent normalement une descendance féconde (LHERMINIER & SOLIGNAC 2005). Mais considérons, comme LARSEN (2017), que TOLKIEN ne confond ici que deux termes, et que son raisonnement biologique est autrement correct. L'œuvre de TOLKIEN mentionne quatre cas d'union entre elfe et humain, et toutes ont donné une descendance fertile, dont des mâles fertiles. On peut donc conclure que selon une certaine vision du concept biologique de l'espèce, les elfes et les humains ne forment qu'une espèce.

LARSEN (2017 : 12) va bien plus loin dans son analyse et conclut même que les humains sont plus proches des elfes que des néanderthaliens, qui sont souvent considérés comme une espèce distincte (*Homo neanderthalensis*), mais parfois (e.g., ANDREEVA *et al.* 2022) comme seulement une sous-espèce distincte (*Homo sapiens neanderthalensis*) au sein de notre espèce (*Homo sapiens sapiens*). Les incertitudes sur l'étendue du flux génique entre Néandertaliens et nos ancêtres et le flou entourant la définition de l'espèce (ERESHEFSKY 2002, LAURIN 2023) expliquent sans doute que cette question nomenclaturale ne soit pas réglée.

Mais revenons à la surprenante assertion de LARSEN (2017) concernant la proximité entre humains, elfes et Néandertaliens. On a vu que les humains et elfes donnent une descendance mâle féconde, mais il semble que les hybrides entre humains et Néandertaliens n'aient pas produit de mâles féconds. En effet, des analyses de paléogénétique ont conclu que le chromosome Y des Néandertaliens est éteint, malgré un flux génétique ancien et limité entre Néandertaliens et nos ancêtres (MENDEZ *et al.* 2016). Ceci est conforme à la règle du fameux généticien HALDANE (1922) selon laquelle « lorsque, dans la progéniture F₁ [de la première génération] de deux

rares [taxons] animales différentes, un sexe est absent, rare ou stérile, ce sexe est le sexe [hétérogame] ». En effet, les hommes ont un caryotype XY alors que les femmes sont XX. Les hybrides néandertalien/« homme anatomiquement moderne » auraient donc comporté uniquement des femmes, ou les hommes hybrides, s'ils ont existé, auraient été stériles. Ceci semble conforme aux autres résultats sur la paléogénétique concernant le flux génique entre Néandertaliens, Dénisoviens (hominidés plus proches des Néandertaliens que de nous) et humains (PRÜFER *et al.* 2014, SANKARARAMAN *et al.* 2014 et 2016, MEYER *et al.* 2016, SLON *et al.*, 2018, ROGERS *et al.* 2020).

Retournons maintenant à l'analyse phylogénétique de Colin. Le problème est que son cladogramme (figure 2 du chapitre) place humains et elfes de part et d'autre de la dichotomie basale, ce qui signifie que le cladogramme s'applique à l'intérieur d'une seule espèce. Ceci est possible sous certains concepts d'espèces, d'autant plus que le flux génique entre ces diverses races d'hominidés semble être minime, mais les cladogrammes s'appliquent généralement à des taxons distincts (typiquement, au minimum, plusieurs espèces). Colin semble d'ailleurs considérer qu'il analyse des espèces distinctes, car pour introduire son analyse, il écrit (p. 263) « tentons de résoudre, d'une manière scientifique, les relations de parenté des **espèces** de la Terre du Milieu ! » (mon emphase). Cette position, au moins concernant les elfes et humains, est clairement contraire à la pensée de TOLKIEN.

Cependant, l'analyse n'est pas dénuée d'intérêt, au moins si on la prend comme un exercice intellectuel. Par exemple, Colin regroupe les « taxons » Elf et Ent dans le clade des Pérenosylvains, « eu égard à la pérennité de ces peuples habitant les forêts » (p. 269). Ce résultat est surprenant, car les ents sont peut-être les plus différents de tous ces peuples, de par leur aspect végétal, mais l'extrême longévité des individus de ces deux taxons semble bien être une synapomorphie valable, car ce caractère, inconnu chez les mammifères, ne peut être que dérivé. Or, la cladistique groupe bien par des caractères dérivés, tout en ignorant la similitude globale. Mais on peut s'interroger sur la capacité des ents à s'hybrider avec les elfes !

La dernière section du livre, « Un bestiaire fantastique », comporte 11 chapitres, dont seule une sélection sera commentée ici. Le premier, par Luc Vivès et Christine Argot, « Mythotypie des origines », suggère (entre autres) que les « créatures ailées chevauchées par les Nazgûl ... semblent liées à des espèces reptiliennes fossiles, par exemple des ptérosaures, dont elles apparaissent comme une sorte de combinaison tératologique » (p. 278). C'est possible, mais il faut signaler que les ptérosaures étaient très légers, avec des os creux traversés par des sacs aériens, comme les oiseaux, et que seuls les plus grands ptérosaures connus, avec une envergure de 10–11 m et une masse estimée, selon les auteurs, entre 70 et 250 kg (WITTON & HABIB 2010, PADIAN *et al.* 2021 : 245), auraient peut-être été en mesure de soulever un humain adulte, si leur masse était plus proche de 250 kg que de 70 kg.

Le chapitre « Les wargs, des chiens de guerre d'origine scandinave ? » par Vincent Dupret et Romaric Hainez, mentionne des légendes scandinaves selon lesquelles des

personnages mythiques auraient chevauché des loups. Ces légendes ont pu influencer TOLKIEN, car en tous cas, le nom « warg » est dérivé du mot « loup » dans diverses langues germaniques (LARSEN 2021 : 16). Par contre, l'argument que les wargs pourraient être inspirés de *Canis dirus*, un loup qui s'est éteint il y a 9500 ans, est fragile. En effet, ce loup était environ de la taille des plus grands loups actuels (ANYONGE & ROMAN 2006), donc bien plus petits que ceux montrés dans les films inspirés de l'œuvre de TOLKIEN. Les films ne traduisent pas toujours fidèlement l'œuvre de TOLKIEN ; LARSEN (2021 : 16) mentionne que Peter Jackson « prend souvent des libertés artistiques avec les aspects visuels de la Terre du Milieu ». Mais il est difficile d'envisager des orques chevauchant en armure sur des animaux de la taille d'un gros loup.

Stéphane Jouve a contribué deux chapitres successifs thématiquement liés. Le premier, intitulé « Smaug, Glaurung... des monstres pour les biologistes aussi », mentionne (p. 330) « Il aurait été biologiquement plus acceptable que les ailes de Smaug soient des membres antérieurs transformés, mais des schémas de TOLKIEN lui-même figurant Smaug le montrent clairement avec quatre pattes en plus de deux ailes ». En effet, chez les vertébrés volants (ptérosaures, oiseaux, et chauve-souris), l'aile est toujours une modification du membre antérieur (comme Jouve l'évoque p. 338), et aucun vertébré non-tératologique n'a plus de deux paires de membres. Quelques vertébrés planeurs ont bien des ailes plus deux paires de membres, mais leur aile est alors fixe (incapable de vol battu) et est alors constituée soit de côtes allongées qui peuvent se déployer, comme chez le squamate actuel *Draco* (RUSSELL & DIJKSTRA 2001) ou les kuehneosauridés triasiques (STEIN *et al.* 2008), soit des baguettes d'os (probablement dermique) fixées dans le derme, comme chez les weigeltisauridés permien (BUFFA *et al.* 2022). Vue la persistance (irritante, pour les biologistes) de dragons à quatre pattes plus une paire d'ailes (donc, trois paires de membres) dans la culture populaire, ce point méritait en effet largement d'être traité. Mais ceci est peut-être en train de changer. Dans l'adaptation de Peter Jackson du film « hobbit », Smaug n'a que deux paires de membres, dont l'antérieure est constituée d'ailes servant aussi à marcher, comme chez les chauve-souris et, à en juger par les traces de pas fossilisées du site de Crayssac, les ptérosaures (MAZIN *et al.* 1997, 2003).

Le second chapitre de Jouve aborde deux questions liées aux dragons, comme indiqué par le titre : « Des flammes et des ailes... est-ce bien raisonnable ? » Il argumente que le feu des dragons serait alimenté par du méthane et de l'hydrogène, car ils sont « produits par des bactéries dans les intestins et sont aussi présents dans l'estomac ». Dans une analyse antérieure (LAURIN 2019), j'avais brièvement mentionné l'hydrogène, comme carburant potentiel et pour alléger les dragons et leur permettre de voler. Ceci était pour fournir une alternative à l'hélium, qui avait été proposé par un collègue ; l'hélium est certes léger, mais incombustible. Cependant, l'hydrogène moléculaire (H₂), ainsi que sa forme ionisée (H⁺) sont très réactifs, et au cours de la digestion, une bonne partie de ces substances sont converties en méthane (CH₄), qui est produit en bien plus grandes quantités par la digestion, notamment des bovins d'élevage. Ce phénomène a été étudié

car le méthane est un puissant gaz à effet de serre (MOSS *et al.* 2000). Jouve soulève avec raison le mécanisme permettant aux dragons de d'allumer le feu et celui de leur vol. Ce dernier est encore plus problématique qu'il ne le démontre, car il s'appuie sur une comparaison avec le dragon de Komodo (Fig. 7) qui comporte une erreur. En effet, Jouve prétend que si les dragons imaginés par TOLKIEN ont des proportions similaires à celles de *V. komodoensis* (ce qui est plausible), étant donné qu'un dragon de Komodo de 3 m de long pèse 70 kg, un dragon de 20 m (taille qu'il estime être celle de Smaug) pèserait 470 kg. Cette valeur semble venir d'une règle de trois, qui donne environ 467 kg. Mais ceci suppose une proportionnalité linéaire entre masse et longueur, alors que si la forme reste constante (hypothèse d'isométrie des diverses parties du corps), la masse devrait croître comme le cube des dimensions linéaires. Ce calcul plus exact donne plutôt une masse estimée à 20.741 kg (près de 21 tonnes), sans compter le problème d'estimer la densité corporelle de ce dragon. En effet, TOLKIEN spécifie que Smaug est couvert d'écailles de fer et de pierres précieuses dures, qui sont donc bien plus denses que les écailles de kératine (substance qui constitue aussi nos cheveux et ongles) des dragons de Komodo. Néanmoins, dans le film de Peter Jackson (qui ne reflète pas forcément les écrits de Tolkien, sur ce point), Smaug a un corps très allongé, rappelant plus celui d'un serpent que d'un dragon de Komodo (sauf qu'il a des membres). Dans ce cas, et si on suppose un tronc environ deux fois plus large que celui d'un dragon de Komodo et la même densité corporelle, la masse de Smaug serait moindre et pourrait avoisiner les 1868 kg, ce qui reste bien plus massif que n'importe quel animal volant (actuel ou éteint) connu. On ne peut donc qu'être d'accord avec Jouve quand il conclut (p. 340) que la capacité des énormes dragons mythologiques ou imaginaires à voler est incompatible « avec la réalité biologique ».

Le dernier chapitre du livre, par Benoît Grison, porte sur la cryptozoologie. Cette science des « animaux cachés » comme le suggère son étymologie, vise à découvrir des taxons inconnus de la science mais dont l'existence est suggérée par des témoignages plus ou moins fiables et nombreux, ou même par la mythologie. Elle est donc assimilable à une forme d'ethnozoologie. Comme Grison le rappelle, cette science, fondée dans les années 1950 par le zoologiste franco-belge Bernard Heuvelmans, peut soit réfuter l'existence de certains animaux, comme le monstre du Loch Ness, soit découvrir de nouveaux taxons. Ainsi, cette approche a permis de découvrir le Saola (*Pseudoryx nghetinhensis*) dans le nord du Vietnam (VAN DUNG *et al.* 1993). Or, les explorateurs pensaient initialement que ce mammifère était purement mythique. Pas surprenant, car il y avait plus de 50 ans qu'on n'avait pas découvert de nouvelle espèce de grand mammifère. Et le Saola est tellement différent des autres taxons connus que VAN DUNG *et al.* (1993) décidèrent d'ériger un nouveau genre pour cet animal. Un autre exemple mentionné par Grison est le Coelacanth (*Latimeria*), le seul actinien actuel, qu'on a découvert bien après les actinieniens anciens (du Dévonien au Crétacé). En fait, avant la découverte du Coelacanth, on pensait que les actinieniens étaient éteints depuis le Crétacé. On comprend donc que la nature pourrait encore nous réserver

de telles surprises, particulièrement dans des environnements peu explorés, comme les abysses, ou parmi les animaux de petite taille. Grison mentionne ensuite que les recherches des grands serpents de mer se poursuivaient pendant la jeunesse de TOLKIEN, ce qui pourrait expliquer son intérêt pour les dragons. C'est fort possible, mais vue leur taille (si on en croit les légendes), il est bien peu probable de trouver un jour un dragon dans la nature ! Cependant, les recherches pour trouver les légendaires serpents de mer ne furent pas vaines. Comme le résume Grison (p. 359) : « Sur les quelques 400 observations d'apparence crédible amassées depuis deux siècles, beaucoup renvoient clairement à des animaux marins rares tels que le régalec (ou ruban de mer, le plus grand des poissons osseux), le requin-baleine, ou même la tortue luth ».

Le livre couvre donc une vaste gamme de sujets liés à l'œuvre de TOLKIEN et aborde un grand nombre de domaines scientifiques. LARSEN (2021 : 4) critique le peu de références aux sources secondaires (d'autres travaux analysés l'œuvre de TOLKIEN) dans le livre. En fait, l'usage de telles sources (qui ne sont pas citées dans le texte, mais sont listées à la fin du livre) est très variable selon les auteurs et les chapitres. Il est vrai que trois chapitres (portant sur la sociologie, l'économie et la politique, respectivement) de Thierry Rogel ne citent que des sources sur d'autres sujets. Mais certains auteurs, comme Damien Bador (deux chapitres, sur l'histoire/historiographie et la linguistique) ne citent que des travaux de TOLKIEN et quelques sources secondaires sur ce sujet, et la plupart des chapitres citent des sources secondaires sur TOLKIEN, ou des œuvres de cet auteur. Un des chapitres introductifs, par Isabelle Pantin, référence de nombreuses sources secondaires sur TOLKIEN, dont l'excellent livre par HENRY GEE (2014) qui porte le même titre principal que celui évalué ici. On ne peut donc pas généraliser cette critique à l'ensemble du livre, loin s'en faut.

LARSEN (2021 : 2) prétend aussi que ce livre utilise les travaux de TOLKIEN pour parler de science mais qu'il ne traite pas vraiment de la science chez TOLKIEN, car la plupart des contributeurs seraient peu familiers avec l'œuvre de cet auteur. Comme je ne suis pas spécialiste de TOLKIEN, je ne peux juger de la validité de cette critique, qui s'appliquerait en tous cas également à mon analyse. Cependant, la préface du livre (p. 7) est claire sur ce point : « le but assumé de cet ouvrage : utiliser l'univers de TOLKIEN – son histoire, ses langues, sa géographie, ses monstres, ses personnages – pour parler de sciences humaines, de sciences physiques ou encore de sciences naturelles ». Il n'est donc pas question de décrire comment la science aurait été pratiquée dans la Terre du Milieu, ni même forcément des idées de TOLKIEN sur les sciences qui sous-tendent son œuvre ; ce sont deux thèmes intéressants, mais pas ceux abordés dans cet ouvrage. Si ce livre profite de la popularité de TOLKIEN pour diffuser des connaissances scientifiques dans un large public et susciter de l'intérêt pour les sciences et peut-être même des vocations, il aura joué un rôle éducatif (et ludique) positif.

Cette analyse a bénéficié de commentaires et informations bibliographiques de Valéry Zeitoun (CR2P, Paris), que je remercie chaleureusement.

RÉFÉRENCES

- ANDREEVA, T.V., A.D. MANAKHOV, F.E. GUSEV, A.D. PATRIKHEV, L.V. GOLOVANOVA, V.B. DORONICHEV, I.G. SHIROBOKOV & E.I. ROGAEV. 2022. – Genomic analysis of a novel Neanderthal from Mezmaiskaya Cave provides insights into the genetic relationships of Middle Palaeolithic populations. *Scientific Reports*, 12: 13016.
- ANYONGE, W. & C. ROMAN. 2006. – New body mass estimates for *Canis dirus*, the extinct Pleistocene dire wolf. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26: 209-212.
- ARGUE, D., M. J. MORWOOD, T. SUTIKNA & E. W. SAPTOMO. 2009. – *Homo floresiensis*: a cladistic analysis. *Journal of Human Evolution* 57:623-639.
- Berger, L.R., J. Hawks, D.J. de Ruiter, S.E. Churchill, P. Schmid, L.K. Deleuzene, T.L. Kivell, H.M. Garvin, S.A. Williams, J.M. DeSilva, M.M. Skinner, C.M. Musiba, N. Cameron, T.W. Holliday, W. Harcourt-Smith, R.R. Ackermann, M. Bastir, B. Bogin, D. Bolter, J. Brophy, Z.D. Cofran, K.A. Congdon, A. Deane, M. Dembo, M. Drapeau, M.C. Elliott, E.M. Feuerriegel, D. Garcia-Martinez, D.J. Green, A. Gurtov, J.D. Irish, A. Kruger, M.F. Laird, D. Marchi, M.R. Meyer, S. Nalla, E.W. Negash, C.M. Orr, D. Radovic, L. Schroeder, J.E. Scott, Z. Throckmorton, M.W. Tocheri, C. VanSickle, C.S. Walker, P. Wei & B. Zipfel. 2015. – *Homo naledi*, a new species of the genus *Homo* from the Dinaledi Chamber, South Africa. *eLife*, 4: e09560.
- BROWN, P., T. SUTIKNA, M.J. MORWOOD, R.P. SOEJENO, JATMIKO, E.W. SAPTOMO & R.A. DUE. 2004. – A new small-bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. *Nature*, 431: 1055-1061.
- BRUSATTE, S. 2021. – Le triomphe et la chute des dinosaures : La nouvelle histoire d'un monde oublié. *Presses polytechniques et universitaires romandes* : Lausanne.
- BUCKLAND, W. 1829. – On the Discovery of a New Species of Pterodactyle in the Lias at Lyme Regis. *Transactions of the Geological Society of London*, 2: 217-222.
- BUFFA, V., E. FREY, J.-S. STEYER & M. LAURIN. 2022. – The posterianal skeleton of the gliding reptile *Coelurosauravus elivensis* Piveteau, 1926 (Diapsida, Weigeltisauridae) from the late Permian of Madagascar. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 42: e2108713.
- CARPENTER, H. 2000. – The letters of JRR Tolkien. Houghton Mifflin: Boston.
- CECCA, F. & R. ZARAGÜETA I BAGILS. 2015. – *Paléobiogéographie*. EDP Sciences : Les Ulis.
- DUBOIS, A. 1981. – Hybridation interspécifique et la notion de genre en zoologie. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série III*, 292: 201-203.
- DUBOIS, A. 1982. – Les notions de genre, sous-genre et groupe d'espèces en zoologie à la lumière de la systématique évolutive. *Monitore Zoologico Italiano-Italian Journal of Zoology*, 16: 9-65.
- EGERTON, F.N. 2012. – History of ecological sciences, part 41: Victorian naturalists in Amazonia—Wallace, Bates, Spruce. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 93: 35-60.
- ERESHEFSKY, M. 2002. – Linnaean ranks: Vestiges of a bygone era. *Philosophy of Science*, 69: S305-S315.
- ERSKINE, A. 2002. – Life after death: Alexandria and the body of Alexander. *Greece & Rome*, 49: 163-179.
- FELSENSTEIN, J. 1985. – Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39:783-791.
- GARDNER, J.D., M. LAURIN & C.L. ORGAN. 2020. – The relationship between genome size and metabolic rate in extant vertebrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375: 20190146.
- GEE, H. 2014. – *The Science of Middle-earth*. Cold Spring Harbor Laboratory Press: Cold Spring Harbor, NY. 2^{ème} édition.
- HALDANE, J.B. 1922. – Sex ratio and unisexual sterility in hybrid animals. *Journal of genetics*, 12: 101-109.
- HENNEBERG, M., R.B. ECKHARDT, S. CHAVANAVES & K.J. HSÜ. 2014. – Evolved developmental homeostasis disturbed in LB1 from Flores, Indonesia, denotes Down syndrome and not diagnostic traits of the invalid species *Homo floresiensis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111: 11967-11972.
- HENNIG, W. 1965. – Phylogenetic systematics. *Annual Review of Entomology*, 10: 97-116.
- HOANG, D.T., O. CHERNOMOR, A. VON HAESLER, B.Q. MINH & L.S. VINH. 2018. – UFBoot2: improving the ultrafast bootstrap approximation. *Molecular biology and evolution*, 35: 518-522.
- JALIL, N.-E. & P. JANVIER. 2005. – Les pareiasaures (Amniota, Parareptilia) du Permien supérieur du Bassin d'Argana, Maroc. *Geodiversitas*, 27 : 35-132.
- JUNGERS, W.L., W.E.H. HARCOURT-SMITH, R.E. WUNDERLICH, M.W. TOCHERI, S.G. LARSON, T. SUTIKNA, R.A. DUE & M.J. MORWOOD. 2009. – The foot of *Homo floresiensis*, *Nature*, 459: 81-84.
- LAHR, M.M. & R. FOLEY. 2004. – Human evolution writ small. *Nature*, 431: 1043-1044.
- LARSEN, K. 2017. – Haldane's Rule and the Half-Elven'. *Amon Hen*, 263: 10-13.
- LARSEN, K. 2021. – The Science of Middle-earth (2021), edited by Roland Lehoucq, Loïc Mangin, and Jean-Sébastien Steyer. Translated by Tina Kover. Illustrated by Arnaud Rafaelian. *Journal of Tolkien Research*, 12: 5.
- LAURIN, M. 1998. – La vie au Secondaire. *La Recherche*, 315 : 82.
- LAURIN, M. 2010. – The subjective nature of Linnaean categories and its impact in evolutionary biology and biodiversity studies. *Contributions to Zoology*, 79: 131-146.
- LAURIN, M. 2019. – Anatomie comparée des espèces imaginaires de Chewbacca à Totoro par Jean-Sébastien Steyer; illustrations d'Arnaud Rafaelian 2019 Le Cavalier Bleu, Paris 130 pp. Prix : 18 Euros. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 155 : 115-120.
- LAURIN, M. 2023. – *The Advent of PhyloCode: The Continuing Evolution of Biological Nomenclature*. CRC Press: Boca Raton, FL. Sous presse.
- LEHOUCQ, R., L. MANGIN & J.-S. STEYER ed. 2021. – *The Science of Middle Earth: a new understanding of Tolkien and his world*. New York: Pegasus Books.
- LHERMINIER, P. & M. SOLIGNAC. 2005. – *De l'espèce*. Syllepse : Paris.
- MAZIN, J.-M., P. HANTZPERGUE, J.-P. BASSOULLET, G. LAFAURIE & P. VIGNAUD. 1997. – Le gisement de Crayssac (Tithonien inférieur, Quercy, Lot, France) : découverte de pistes de dinosaures en place et premier bilan ichnologique. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sér. IIA*, 325: 733-739.
- MAZIN, J.-M., J.-P. BILLON-BRUYAT, P. HANTZPERGUE & G. LAFAURIE. 2003. – Ichnological evidence for quadrupedal locomotion in pterodactyloid pterosaurs: trackways from the Late Jurassic of Crayssac (southwestern France). *Geological Society, London, Special Publications*, 217: 283-296.
- MAYR, E. 1944. – Wallace's line in the light of recent zoogeographic studies. *The Quarterly Review of Biology*, 19: 1-14.
- MENDEZ, F.L., G.D. POZNIK, S. CASTELLANO & C.D. BUSTAMANTE. 2016. – The divergence of Neanderthal and modern human Y chromosomes. *The American Journal of Human Genetics*, 98: 728-734.

- MEYER, M., J.-L. ARSUAGA, C. DE FILIPPO, S. NAGEL, A. AXIMU-PETRI, B. NICKEL, I. MARTÍNEZ, A. GRACIA, J.M. BERMÚDEZ DE CASTRO, E. CARBONELL, B. VIOLA, J. KELSO, K. PRÜFER & S. PÄÄBO. 2016. – Nuclear DNA sequences from the Middle Pleistocene Sima de los Huesos hominins. *Nature*, 531: 504-507.
- MILLER, W.R.R. 2011. – Tardigrades: These ambling, eight-legged microscopic “bears of the moss” are cute, ubiquitous, all but indestructible and a model organism for education. *American Scientist*, 99: 384-391.
- MOORE, M.W. & A. BRUMM. 2007. – Stone artifacts and hominins in island Southeast Asia: new insights from Flores, eastern Indonesia. *Journal of Human Evolution*, 52: 85-102.
- MOORE, M.W., T. SUTIKNA, M.J. MORWOOD & A. BRUMM. 2009. – Continuities in stone flaking technology at Liang Bua, Flores, Indonesia. *Journal of Human Evolution*, 57: 503-526.
- MORWOOD, M.J., R.P. SOEJONO, R.G. ROBERTS, T. SUTIKNA, C.S.M. TURNER, K.E. WESTAWAY, W.J. RINK, J.-X. ZHAO, G.D. VAN DEN BERGH, R.A. DUE, D.R. HOBBS, B.P. MOORE, M.I. BIRD & L.K. FIFIELD. 2004. – Archaeology and age of a new hominin from Flores in eastern Indonesia. *Nature*, 431: 1087-1091.
- MORWOOD, M.J., P. BROWN, T. SUTIKNA, E. WAHYU SAPTOMO, K.E. WESTAWAY, R. AWE DUE, R.G. ROBERTS, T. MAEDA, S. WASISTO & T. DJUBANTONO. 2005. – Further evidence for small-bodied hominins from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. *Nature*, 437: 1012-1017.
- MOSS, A.R., J.-P. JOUANY & J. NEWBOLD. 2000. – Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de zootechnie*, 49: 231-253.
- NEEM COMMUNITY MEMBERS. 2013. – Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core. *Nature*, 493: 489-494.
- PADIAN, K. 2022. – Why tyrannosaurid forelimbs were so short: An integrative hypothesis. *Acta Palaeontologica Polonica*, 67: 63-76.
- PADIAN, K., J.R. CUNNINGHAM, W. LANGSTON & J. CONWAY. 2021. – Functional morphology of *Quetzalcoatlus* Lawson 1975 (Pterodactyloidea: Azhdarchoidea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 41: 218-251.
- PRÜFER, K., F. RACIMO, N. PATTERSON, F. JAY, S. SANKARARAMAN, S. SAWYER, A. HEINZE, G. RENAUD, P.H. SUDMANT, C. DE FILIPPO, H. LI, S. MALLICK, M. DANNEMANN, Q. FU, M. KIRCHER, M. KUHILWILM, M. LACHMANN, M. MEYER, M. ONGYERTH, M.F. SIEBAUER, C. THEUNERT, A. TANDON, P. MOORJANI, J. PICKRELL, J.C. MULLIKIN, S.H. VOHR, R.E. GREEN, I. HELLMANN, P.L.F. JOHNSON, H. BLANCHE, H. CANN, J.O. KITZMAN, J. SHENDURE, E.E. EICHLER, E.S. LEIN, T.E. BAKKEN, L.V. GOLOVANOV, V.B. DORONICHEV, M.V. SHUNKOV, A.P. DEREVIANKO, B. VIOLA, M. SLATKIN, D. REICH, J. KELSO & S. PÄÄBO. 2014. – The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains. *Nature*, 505: 43-49.
- REAGAN, N.L. & P.A. VERRELL. 1991. – The evolution of plethodontid salamanders: did terrestrial mating facilitate lunglessness? *Am. Nat.*, 138: 1307-1313.
- RIZAL, Y., K.E. WESTAWAY, Y. ZAIM, G.D. VAN DEN BERGH, E.A. BETTIS III, M.J. MORWOOD, O.F. HUFFMAN, R. GRÜN, R. JOANNES-BOYAU & R.M. BAILEY. 2020. – Last appearance of *Homo erectus* at Ngandong, Java, 117,000-108,000 years ago. *Nature*, 577: 381-385.
- ROGERS, A.R., N.S. HARRIS & A.A. ACHENBACH. 2020. – Neanderthal-Denisovan ancestors interbred with a distantly related hominin. *Science advances*, 6: eaay5483.
- RUSSELL, A.P. & L.D. DIJKSTRA. 2001. – Patagial morphology of *Draco volans* (Reptilia: Agamidae) and the origin of glissant locomotion in flying dragons. *Journal of Zoology*, 253: 457-471.
- SANKARARAMAN, S., S. MALLICK, M. DANNEMANN, K. PRÜFER, J. KELSO, S. PÄÄBO, N. PATTERSON & D. REICH. 2014. – The genomic landscape of Neanderthal ancestry in present-day humans. *Nature*, 507: 354-357.
- SANKARARAMAN, S., S. MALLICK, N. PATTERSON & D. REICH. 2016. – The combined landscape of Denisovan and Neanderthal ancestry in present-day humans. *Current Biology*, 26: 1241-1247.
- SLON, V., F. MAFESSONI, B. VERNOT, C. DE FILIPPO, S. GROTE, B. VIOLA, M. HAJDINJAK, S. PEYRÉNE, S. NAGEL, S. BROWN, K. DOUKA, T. HIGHAM, M.B. KOZLIKIN, M.V. SHUNKOV, A.P. DEREVIANKO, J. KELSO, M. MEYER, K. PRÜFER & S. PÄÄBO. 2018. – The genome of the offspring of a Neanderthal mother and a Denisovan father. *Nature*, 561: 113-116.
- STEIN, K., C. PALMER, P.G. GILL & M.J. BENTON. 2008. – The aerodynamics of the British late Triassic Kuehneosauridae. *Palaeontology*, 51: 967-981.
- SUTIKNA, T., M.W. TOCHERI, M.J. MORWOOD, E.W. SAPTOMO, R.D. AWE, S. WASISTO, K.E. WESTAWAY, M. AUBERT, B. LI, J.-X. ZHAO, M. STOREY, B.V. ALLOWAY, M.W. MORLEY, H.J.M. MEIJER, G. VAN DEN BERGH, R. GRÜN, A. DOSSETO, A. BRUMM, W.L. JUNGERS & R.G. ROBERTS. 2016. – Revised stratigraphy and chronology for *Homo floresiensis* at Liang Bua in Indonesia. *Nature*, 532: 366-369.
- VAN DEN BERGH, G.D., R.D. AWE, M.J. MORWOOD, T. SUTIKNA & E.W. SAPTOMO. 2008. – The youngest *Stegodon* remains in Southeast Asia from the Late Pleistocene archaeological site Liang Bua, Flores, Indonesia. *Quaternary International*, 182: 16-48.
- VAN DEN BERGH, G.D., Y. KAIFU, I. KURNIAWAN, R.T. KONO, A. BRUMM, E. SETIYABUDI, F. AZIZ & M.J. MORWOOD. 2016. – *Homo floresiensis*-like fossils from the early Middle Pleistocene of Flores. *Nature*, 534: 245-248.
- VAN DUNG, V., P.M. GIAO, N.N. CHINH, D. TUOC, P. ARCTANDER & J. MACKINNON. 1993. – A new species of living bovid from Vietnam. *Nature*, 363: 443-445.
- VAUPEL, J.W., A. BAUDISCH, M. DÖLLING, D.A. ROACH & J. GAMPE. 2004. – The case for negative senescence. *Theoretical population biology*, 65: 339-351.
- WAIS Divide Project Members, W.D.P. 2015. – Precise interglacial phasing of abrupt climate change during the last ice age. *Nature*, 520: 661-665.
- WARNER, D.A., D.A. MILLER, A.M. BRONIKOWSKI & F.J. JANZEN. 2016. – Decades of field data reveal that turtles senesce in the wild. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 6502-6507.
- WESTAWAY, K.E., J. LOUYS, R.D. AWE, M.J. MORWOOD, G.J. PRICE, J.-X. ZHAO, M. AUBERT, R. JOANNES-BOYAU, T. SMITH, M.M. SKINNER, T. COMPTON, R.M. BAILEY, G.D. VAN DEN BERGH, J. DE VOS, A.W.G. PIKE, C. STRINGER, E.W. SAPTOMO, Y. RIZAL, J. ZAIM, W. SANTOSO, A. TRIHASCARYO, L. KINSLEY & B. SULISTYANTO. 2017. – An early modern human presence in Sumatra 73,000-63,000 years ago. *Nature*, 548: 322-325.
- WITTON, M.P. & M.B. HABIB. 2010. – On the size and flight diversity of giant pterosaurs, the use of birds as pterosaur analogues and comments on pterosaur flightlessness. *PLoS ONE*, 5: e13982.
- ZEITOUN, V. 2015. – Les paléanthropologues sont-ils en meilleure position que les autres pour se permettre d'ignorer les règles de la systématique? *Biosystema*, 30: 155-172.
- ZEITOUN, V., V. BARRIEL & H. WIDIANTO. 2016. – Phylogenetic analysis of the calvaria of *Homo floresiensis*. *C. R. Palevol*, 15: 555-568.