

Mais les Gastornithidae sont particuliers, car leur bec ne ressemble à celui d'aucun groupe actuel. Cette spécificité a donc été à l'origine d'un débat vieux de plus de vingt ans sur le régime alimentaire de *Gastornis*.

En 1991, en se fondant sur une étude biomécanique de la mâchoire de ces oiseaux, Lawrence Witmer et Kenneth Rose, de l'université Johns Hopkins, ont conclu qu'il s'agissait de féroces prédateurs. Un an plus tard, en 1992, l'ornithologue américain Allison Andors fit une étude similaire sur les mêmes fossiles et conclut à un régime herbivore. La contradiction entre les conclusions de ces deux études, quasi-simultanées, sur le même matériel fossile, et avec des méthodes très proches, montre les limites des méthodes comparatives classiques de paléontologie.

Ignorant le débat, jusqu'en 2014, la majorité des représentations de *Gastornis*

mettent en scène un terrible prédateur pourchassant de petits mammifères, alors que quasiment aucune reconstitution ne suggère qu'il pourrait être herbivore. Ce choix délibéré, probablement motivé par des raisons plus ou moins sensationnalistes, a eu des conséquences importantes sur l'image collective du régime alimentaire de *Gastornis*. Ainsi, même des documentaires sérieux ou des revues scientifiques de qualité pour le grand public ont totalement occulté la seconde hypothèse. Ce choix de représentation est à l'origine d'un bon nombre de confusions entre les Gastornithidae et les Phorusrhacidae, des oiseaux géants terrestres carnivores et coureurs connus en Amérique du Sud et du Nord, en Afrique du Nord et en Europe, mais pour des périodes plus récentes, et dont l'anatomie est très différente de celle des Gastornithidae.

Des mesures isotopiques

Comment déterminer si *Gastornis* était plutôt carnivore ou herbivore ? Une méthode consiste à étudier la proportion des isotopes de carbone dans les ossements de l'animal et de la comparer avec celle d'oiseaux actuels carnivores ou herbivores.

Les isotopes d'un élément chimique X présentent le même nombre de protons dans leur noyau, mais un nombre différent A de neutrons et sont alors notés AX .

Un isotope avec un petit nombre de neutrons est dit léger et, à l'inverse, celui avec le plus grand nombre de neutrons est dit lourd. Il existe deux grands types d'isotopes : les isotopes stables et les isotopes radioactifs.

Les isotopes radioactifs se transforment en un autre élément avec émission de radioactivité, et ce au bout d'un temps moyen connu et spécifique de chaque élément – sa constante de désintégration. Par exemple, l'isotope du carbone à 14 neutrons, le carbone 14 ou ^{14}C , se

transforme en azote 14 (^{14}N) en environ 5700 ans.

À l'inverse, les isotopes stables correspondent à des éléments ne pouvant pas se désintégrer, et restant stables au cours du temps.

Dans le cas du carbone, il existe deux isotopes stables, le carbone 12 (^{12}C) et le carbone 13 (^{13}C).

Ces deux isotopes sont présents en différentes proportions dans les structures géologiques ou biologiques, sans variations au cours du temps. La proportion d'isotopes lourds ^{13}C par rapport aux isotopes légers ^{12}C est définie par le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Dans le cas des isotopes stables, les différences de rapports isotopiques entre plusieurs réservoirs sont très faibles, ne dépassant pas la cinquième ou sixième

décimale. C'est pourquoi, afin de comparer plusieurs rapports isotopiques de façon précise, la notation delta (δ) a été proposée.

Cette notation compare le rapport isotopique de l'échantillon par rapport à celui d'un standard et est exprimée en pour mille (‰). Un delta positif correspond donc à un enrichissement de l'échantillon en isotopes lourds par rapport au standard.

Dans le cas de l'étude du régime alimentaire de *Gastornis*, c'est donc le $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate de l'apatite des os qui est mesuré afin de savoir s'il était plutôt carnivore ou herbivore. On le compare à celui d'oiseaux actuels suivant l'un ou l'autre de ces régimes, en supposant que la physiologie de *Gastornis* était similaire, et on en déduit le rapport isotopique de sa nourriture, qui indique si elle est animale ou végétale. Résultat : celle de *Gastornis* était végétale...

- D. A.

Des muscles de pintade

Le débat sur le régime alimentaire de *Gastornis* ne s'est clos qu'en 2014 avec de nouvelles études que nous avons menées. Faute de trouver la réponse par les voies classiques, nous avons cherché d'autres méthodes. Nous avons opté pour deux approches complémentaires : une étude de morphologie fonctionnelle et une étude de géochimie isotopique.

La morphologie fonctionnelle consiste à étudier le lien entre l'écologie d'un animal et ses capacités mécaniques. Ainsi, avec la collaboration d'Anick Abourachid et Anthony Herrel, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, nous avons étudié les muscles du crâne de divers oiseaux actuels dont on connaissait l'écologie afin de voir s'il existait un lien entre le type de nourriture que ces oiseaux consomment et la musculature de leur mâchoire.

Des rapaces représentaient les oiseaux carnivores et des poulets, pintades et pinsons, les oiseaux herbivores. Après avoir disséqué plusieurs crânes de ces oiseaux actuels, nous avons mesuré et pesé l'ensemble des muscles du crâne. Nous avons ainsi montré que chez les oiseaux carnivores actuels, le muscle permettant de fermer la mâchoire (muscle adducteur) est peu développé, alors que celui permettant de mouvoir la pointe du bec (muscle ptérygoïde) est très gros (voir la figure page 43). Cela est dû à la façon dont ces animaux se nourrissent,



en arrachant des morceaux de viande avec la pointe de leur bec et en les gobant sans les broyer. Ils ont donc besoin d'une grande puissance à l'avant de leur bec et d'une faible puissance de broyage au moment de refermer la mâchoire. À l'inverse, chez les oiseaux herbivores actuels, le muscle adducteur est très développé, leur permettant de broyer des plantes et des graines dures, alors que le muscle ptérygoïde est très réduit.

Une fois ce modèle établi, nous l'avons appliqué aux Gastornithidae, dont deux mâchoires particulièrement bien préservées (conservées au Muséum de New York et au Muséum de Toulouse) portent les traces des zones d'insertion de ces deux muscles, ce qui permet d'estimer leur importance relative. Ces traces montrent que *Gastornis* présentait un muscle adducteur très développé et un muscle ptérygoïde très réduit, et qu'il avait donc un régime alimentaire herbivore.

Parallèlement à cette étude, nous avons utilisé une seconde approche, la géochimie isotopique, pour déterminer indépendamment le régime alimentaire de *Gastornis*. Cette approche est fondée sur l'analyse isotopique du carbone présent dans les ossements des oiseaux et dans leur nourriture, c'est-à-dire sur l'analyse de la proportion des isotopes de carbone dans

GASTORNIS a longtemps été mis en scène comme un terrible prédateur de mammifères...

ces éléments (voir l'encadré page ci-contre). En effet, cette proportion diffère dans les plantes et dans la viande. Elle dépend aussi de la physiologie de l'animal : lorsqu'un animal se nourrit, il incorpore dans ses os et dans ses dents une certaine proportion des isotopes de carbone en fonction de son métabolisme. On dit qu'il y a un fractionnement isotopique entre les tissus minéralisés (os, dents) et l'alimentation. Par conséquent, si l'on connaît la valeur de ce fractionnement isotopique chez un animal, on peut, à partir de l'analyse isotopique de ses ossements, en déduire la proportion des isotopes de carbone dans les aliments qu'il a consommés, et ainsi remonter à son régime alimentaire.

Un oiseau herbivore

Chez un animal actuel dont on connaît les habitudes alimentaires, déterminer la valeur du fractionnement isotopique est simple : il suffit de mesurer la proportion des isotopes dans les ossements et d'en soustraire celle de sa nourriture. Aussi avons-nous d'abord effectué l'étude sur des oiseaux actuels d'écologie connue : un modèle carnivore – des vautours – et un modèle herbivore – des autruches – nous ont fourni deux valeurs différentes du fractionnement isotopique des oiseaux