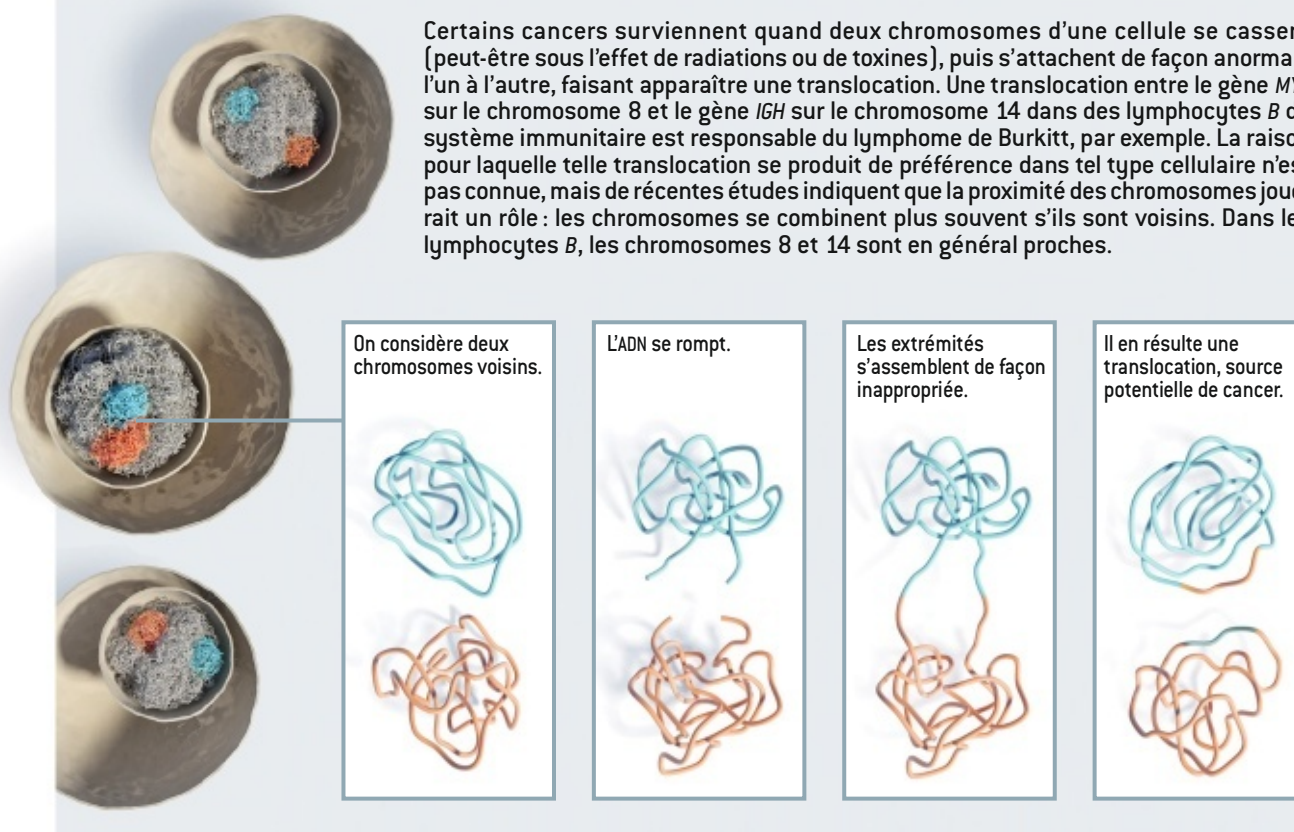


Certains cancers surviennent quand deux chromosomes d'une cellule se cassent (peut-être sous l'effet de radiations ou de toxines), puis s'attachent de façon anormale l'un à l'autre, faisant apparaître une translocation. Une translocation entre le gène *MYC* sur le chromosome 8 et le gène *IGH* sur le chromosome 14 dans des lymphocytes B du système immunitaire est responsable du lymphome de Burkitt, par exemple. La raison pour laquelle telle translocation se produit de préférence dans tel type cellulaire n'est pas connue, mais de récentes études indiquent que la proximité des chromosomes jouerait un rôle : les chromosomes se combinent plus souvent s'ils sont voisins. Dans les lymphocytes B, les chromosomes 8 et 14 sont en général proches.



Le modèle d'auto-organisation concorde avec de nombreuses expériences de traçage de gènes. Des boucles de gènes dépassent parfois des chromosomes et se déplacent dans le noyau. Quelques gènes sont même très mobiles : quand des globules blancs sont stimulés par des cytokines (des hormones), les gènes qui codent certaines protéines du système immunitaire (les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité de type II) vagabondent loin du chromosome qui les porte, jusqu'à une distance qui atteint parfois le rayon du noyau.

Le même principe pourrait positionner les chromosomes entiers. Même si la plupart des gènes d'un même chromosome effectuent des déplacements infimes, chacun contribue à la détermination de l'endroit du noyau où le chromosome s'enroulera. Ainsi, dans un noyau doué d'auto-organisation, un chromosome contenant surtout des gènes inactifs serait attiré vers les régions les plus inhibitrices, à la périphérie du noyau, tandis qu'un chromosome portant surtout des gènes actifs se dirigerait vers le centre du noyau.

Pour tester cette prédiction, Mark Groudine et ses collègues du Centre de lutte

contre le cancer Fred Hutchinson, à Seattle, ont prélevé des précurseurs de cellules sanguines, puis ont déclenché leur maturation. Ils ont mesuré les activités de plusieurs milliers de gènes à différents stades de la maturation. Simultanément, ils ont surveillé la position des chromosomes portant ces gènes. Ils ont observé que les

Bien que la position d'un gène dans le noyau ne soit pas aléatoire, le mode de déplacement qui l'y conduit l'est peut-être.

chromosomes qui portaient le plus grand nombre de gènes dont l'activité variait au cours de la maturation des cellules étaient aussi ceux qui se déplaçaient le plus.

Ces expériences constituent un bon début, mais elles sont difficiles à réaliser, car il est fastidieux de surveiller simultanément la position de nombreuses régions du génome au microscope. Une nouvelle méthode, dite Hi-C, pourrait bientôt résoudre

ce problème. Développée par Job Dekker, de la Faculté de médecine de l'Université du Massachusetts, cette approche fournit un cliché instantané de l'architecture tridimensionnelle du génome en associant chimiquement toutes les régions chromosomiques qui se touchent dans le noyau. Cette méthode devrait permettre de localiser les chromosomes dans les noyaux de différents tissus au fil du temps et sous diverses conditions ; en comparant ces cartes avec les groupes de gènes actifs et inactifs, on obtiendra alors un aperçu sans précédent de la façon dont l'organisation du noyau influe sur son fonctionnement, et dont la perturbation de cette organisation contribue aux maladies.

Il a fallu près de dix ans d'efforts intenses pour obtenir la première ébauche de séquençage du génome humain. Aujourd'hui, cherchant à dépasser les informations fournies par les seules séquences, les biologistes cellulaires du génome commencent tout juste à entrevoir le comportement du génome dans son habitat naturel. Colossale et complexe, la tâche devrait les occuper bien plus longtemps que le décryptage du génome humain. ■

HISTOIRE DES SCIENCES

Le monde vivant selon al-Djâhiz

Au Moyen Âge, dans l'Empire arabo-islamique, de nombreux savants décrivent le monde vivant. L'un d'eux, al-Djâhiz, érudit de la cour de Bagdad, apporte un regard nouveau fondé sur l'observation et la raison.

Meyssa BEN SAAD et Mehrnaz KATOUZIAN-SAFADI

Nous avons appris que si les rapaces chasseurs demeurent dans leur territoire même 100 ans, leurs becs ne s'allongent pas. Quant au mâle des onagres [ânes] de Ana [ville de l'Euphrate], s'il se trouve dans un autre territoire que le sien, il voit ses sabots s'allonger, au point qu'il devient nécessaire de les tailler chez le vétérinaire.

Al-Djâhiz, *Livre des animaux*, vol. VII, ch. 2079, IX^e siècle

L'auteur de ces lignes est surtout connu pour son œuvre littéraire. Abu Uthmân al-Fukaymî al-Kinani al-Basri, dit Al-Djâhiz – « l'exorbité » – à cause de ses yeux protubérants, est né en 776 à Basra (Bassorah, en Irak), non loin de Bagdad, au cœur de l'Empire arabo-islamique. Dès 827, il a fréquenté la cour de Bagdad, où sa plume acerbe lui a attiré gloires et ennuis. Il excelle dans la satire sociale : dans *Le livre des avarés* (*Kitâb al-Nukhalâ*), par exemple, il dépeint, dans un arabe soigné et plein d'humour, toutes les couches sociales qui l'en-

tourent – les riches, les pauvres, les voleurs, les savants – avec parfois suffisamment d'indications pour que ces personnes soient identifiables à son époque.

Al-Djâhiz est un *adib*, un « honnête homme » savant et érudit, maître du verbe, de la rhétorique et de la courtoisie, qui allie à son talent des valeurs morales, éthiques et intellectuelles. Il s'est intéressé à tous les sujets abordés à son époque d'effervescence intellectuelle et d'épanouissement culturel : débats religieux et politiques, réflexions sociologiques et philosophiques, discussions scientifiques... Aujourd'hui encore, ses écrits suscitent l'admiration des spécialistes de la langue et de la littérature arabes.

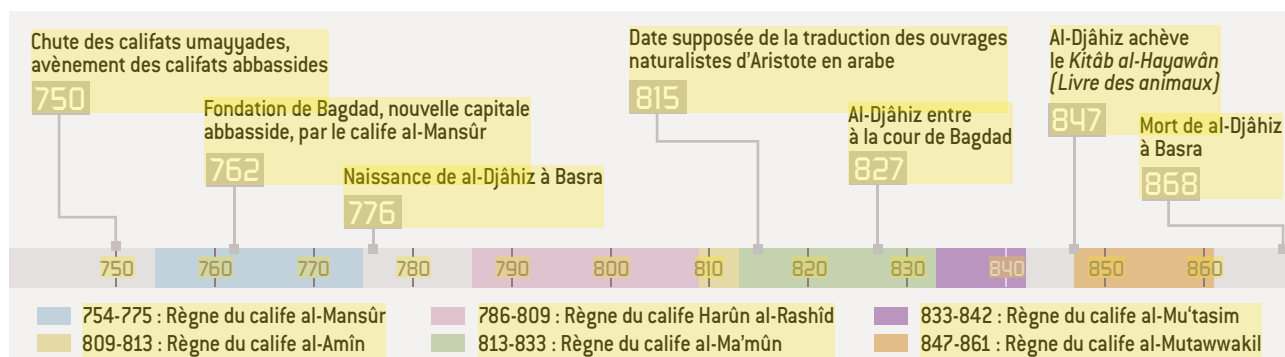
On connaît moins le naturaliste, auteur d'un monumental *Livre des animaux* (*Kitâb al-Hayawân*) qui compte sept volumes de 400 pages chacun. Souvent considérée comme empirique ou anecdotique, la zoologie d'al-Djâhiz est pourtant bien plus qu'une simple compilation de descriptions d'animaux tirées des écrits de ses prédécesseurs. Elle s'impose comme un travail de

recherche pertinent et original fondé sur l'observation. À la lumière de la raison, le savant n'hésite pas à mettre en doute, voire à réfuter, les croyances et les sources anciennes, même si celles-ci proviennent d'un certain Aristote...

Observer et raisonner

Al-Djâhiz a vécu à l'ère abbasside. À cette époque, l'Empire culturel arabo-islamique s'étend de l'Inde à l'Andalousie et, à l'image du calife Al Ma'mûn, divers corps sociaux mènent une vaste entreprise de traduction en arabe des grands auteurs grecs tels Aristote et Galien. Le corpus naturaliste d'Aristote, notamment, a été traduit vers 815. Comme nombre de ses contemporains savants, al-Djâhiz a lu ces traductions qui ont alimenté les recherches en zoologie et en médecine. Ce ne sont cependant pas ses seules sources.

Le monde vivant et ses mystères l'ont toujours intéressé et, très tôt, il a voulu comprendre les phénomènes biologiques et la



place du monde vivant dans la nature ; il a été initié à la zoologie par les travaux de ses maîtres les grammairiens al-Asma'i et Abu 'Ubayda, entre autres, et le théologien al-Nazzâm, qui ont laissé quelques traités sur les animaux (sur les camélins, les ovidés ou les équidés), et les discussions qu'il a eues avec eux. Il doit aussi beaucoup aux discussions avec les médecins de la cour, des poètes nomades et des éleveurs. Vivant plus de 1 000 ans après Aristote, al-Djâhiz considère le « maître de la logique » comme une référence majeure, respectable, mais pas forcément indiscutable. Aussi collecte-t-il d'autres informations, qui lui parviennent d'horizons variés : les Persans, les Indiens, les habitants de la péninsule Arabique. Ces derniers vivent au contact des plantes et des bêtes et il estime que, dans certains cas, leurs affirmations sont plus fiables que celles d'Aristote. Sa classification des araignées, par exemple, est différente de celle d'Aristote. Ou encore, lorsqu'Aristote affirme que les serpents ne supportent pas l'odeur de la rue, une plante médicinale, al-Djâhiz le vérifie lui-même en posant des rameaux de cette plante sur des vipères, et n'observe aucune réaction.

Classer les animaux

Si al-Djâhiz ne prend pas pour argent comptant les écrits d'Aristote, il utilise les mêmes armes que lui pour étudier le monde animal : l'observation et le raisonnement logique. La raison est déjà son guide depuis longtemps dans un autre domaine : la théologie. Dans la société des savants de son époque, al-Djâhiz est un théologien *mutakallim* appartenant à un courant spécifique dit *mu'tazilite*, courant spéculatif rationnel qui privilégie l'usage de la raison et insiste sur la notion du libre arbitre. C'est son maître al-Nazzâm qui l'a initié à cette philosophie, laquelle a donné lieu à de nombreuses discussions sur la vie, le vivant, la notion d'âme, les quatre éléments et nombre de questions religieuses, notamment sur le libre arbitre, la toute-puissance divine, l'unicité de Dieu, etc.

Dans le *Livre des animaux*, al-Djâhiz, en amateur et admirateur de la nature, dépeint la beauté et la diversité de ce qui l'entoure et, à travers elles, celui qui les a créées. Mais



1. UNE PAGE DU LIVRE DES ANIMAUX (*Kitâb al-Hayawân*) d'al-Djâhiz représentant une autruche couvant ses œufs, sur un manuscrit du XIV^e siècle provenant probablement de Syrie. L'autruche a un statut particulier dans la classification d'al-Djâhiz : comme elle ne vole pas, il ne la classe pas parmi les oiseaux, malgré la présence d'ailes, de plumes et d'œufs.

il insiste sur l'importance de l'observation et du raisonnement logique. Il analyse, tient à vérifier lui-même par l'expérience, confronte toutes ses sources et les discute, toujours avec doute et scepticisme, posant les bases d'une méthodologie bibliographique.

Par exemple, al-Djâhiz a observé longuement les fourmis avant de décrire leur vie sociale et leur mode de communication. Il a aussi réalisé lui-même certaines expériences : il a cassé des œufs de serpents pour regarder ce qu'il y avait à l'intérieur, mis des scorpions et des souris dans un récipient en verre pour y étudier leurs confrontations interspécifiques. Il a en outre observé que dans la morsure d'une vipère – un animal très présent dans cette région –, le danger provient non pas de la morsure elle-même, mais de l'injection de venin consécutive, et que le temps après l'empoisonnement compte beaucoup.

Une des grandes préoccupations d'al-Djâhiz a été le classement des insectes, des reptiles, des ruminants (les bovins, les ovins, les camélidés) et des oiseaux d'après les observations. Les poissons et autres ani-

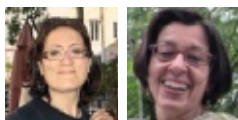
maux marins sont peu représentés dans son ouvrage : comme il ne pouvait pas les observer lui-même, il a recueilli des informations et des témoignages auprès des marins, mais considérait ces sources insuffisantes et pas toujours fiables.

Pour al-Djâhiz, les animaux sont divisés en quatre grandes classes, selon un premier critère issu de l'observation : le mouvement. Ainsi, il distingue les animaux qui marchent, ceux qui volent, ceux qui rampent et, enfin, ceux qui nagent. Puis, au sein de ces grands groupes, il procède à des distinctions selon le mode d'alimentation (carnivores, herbivores ou mixtes) ; selon les critères anatomiques (taille, présence ou absence de certains organes), et selon les critères éco-éthologiques (habitat et comportement).

Les animaux qui rampent sont les serpents et les vers. Ceux qui marchent comptent les carnivores, les herbivores, les hommes et les petits animaux rampants. Ces derniers sont les petits reptiles rampants (lézards et apparentés, gecko, varan, agame, caméléon...), les insectes rampants

Biblioteca Ambrosiana, Milan, cat. n° D 140 inf. col. n° 11-87v

LES AUTEURS



Meyssa BEN SAAD, membre associée de l'équipe SPHERE/CHSPAM du CNRS et de l'Université Paris 7, a soutenu en 2010 une thèse d'histoire des sciences sur les sciences de la vie chez al-Djâhiz. Mehrnaz KATOZIAN-SAFADI est chargée de recherche au CNRS-UMR 7219, au sein du même laboratoire.

✓ À ÉCOUTER

Jeudi 5 mai 2011, les auteurs évoqueront l'œuvre naturaliste d'al-Djâhiz dans la partie « Actualités » de l'émission **La marche des sciences**, sur *France Culture* de 14h à 15h. <http://www.franceculture.com>

(fourmis, araignées, scarabées, etc.) et les petits mammifères rongeurs (musaraigne, rat, souris, taupe...).

Parmi les animaux qui volent, al-Djâhiz inclut les oiseaux et les insectes ailés. Les oiseaux se divisent en trois sous-classes : les carnassiers (eux-mêmes divisés en oiseaux de proie dotés d'organes de défense telles les serres, et les autres, dépourvus de tels organes), les herbivores (nous dirions granivores aujourd'hui, qu'il distingue selon leur taille) et les mixtes, qu'il nomme ainsi, car ils partagent certaines caractéristiques des deux autres groupes (régime alimentaire large ou euryphage, caractéristiques anatomiques et comportementales communes à l'un ou à l'autre, comme le mode de nutrition des petits ou la position du pouce).

Ce n'est pas encore de la taxinomie au sens moderne, mais la démarche de l'auteur est bien classificatoire. Il ne se contente pas de dresser un catalogue des animaux, mais manifeste une réelle volonté de distinguer les divers groupes, les différentes familles d'animaux, de regrouper ce qui se ressemble et séparer ce qui diffère. Pour cela, il a pris soin d'établir les caractères distinctifs de chaque « groupe » ou de chaque « famille ». Il s'est aussi interrogé sur les limites de ces subdivisions et sur la perti-

nence des caractères distinctifs : il a cherché à déterminer quels animaux pouvaient se reproduire entre eux et quels pouvaient être les résultats de ces croisements, tentant ainsi d'intégrer les animaux dans des limites que nous désignons aujourd'hui par « genres », « espèces » et « familles ».

L'influence de l'environnement

Pour classer les animaux, al-Djâhiz s'est aussi intéressé aux relations qu'ils entretiennent dans la chaîne alimentaire, à la compétition dans un même groupe ou entre deux groupes différents, et à leur habitat, voire à leur comportement (il a ainsi étudié l'apprentissage et le conditionnement chez les chiens). Enfin, il a étudié leur environnement, leurs conditions de vie, les conditions climatiques – en un mot, l'influence de l'environnement.

Plusieurs phénomènes observés dans la nature et discutés avec ses collègues et maîtres philosophes et théologiens sont ainsi expliqués par diverses causes : aux causes divines, al-Djâhiz ajoute des causes naturelles – environnementales et climatiques. Par exemple, la transformation de certains animaux par châtement divin peut, dans certains cas, être due à des conditions climatiques ou environnementales. Notamment, le naturaliste montre que des animaux s'adaptent aux changements de territoire et de climat en modifiant leurs caractères anatomiques ou comportementaux. C'est le cas de l'âne de la région d'Ana, dont les sabots s'allongent si on le change de territoire, par exemple, ou de certains oiseaux dont le cycle reproducteur est perturbé suite à des déplacements.

De même, selon les conditions climatiques, la maturation des pigeons dans l'œuf est altérée : à température et rayonnement solaire élevés, l'embryon présente une forte pigmentation et naît de couleur foncée, puis donne un pigeon noir. Dans le cas contraire, il est blanc et, dans des conditions climatiques tempérées, il naît de couleur verte : « Si le pigeon devient complètement blanc [...], celui-ci n'a pas atteint le degré optimal de maturation dans l'utérus [de la mère], si celle-ci a lieu dans un pays à rayonnement solaire faible. Si le pigeon devient noir,

La place des « animaux merveilleux »

Les « animaux merveilleux extraordinaires » n'échappent pas à l'étude méthodique d'al-Djâhiz. Pour lui, l'ordre du monde, l'organisation des animaux, leurs relations entre eux et avec leur environnement, leurs propriétés, sont merveilleux en soi. Le « merveilleux ordinaire » rassemble ainsi toutes les qualités des animaux qui suscitent l'étonnement. Par exemple, al-Djâhiz évoque les aspects merveilleux des serpents, dont la force et la façon d'attaquer les proies, mais aussi les yeux, les dents, la ruse et l'intelligence le fascinent. De même, l'organisation des abeilles ou des four-

mis, leurs prouesses techniques que l'homme ne peut réaliser qu'à partir d'outils, relèvent du merveilleux.

Les « animaux merveilleux extraordinaires », en revanche, sont ceux qui peuplent les fables et les légendes. Fidèle à sa méthode, al-Djâhiz n'accepte ou ne rejette l'existence de ces créatures qu'après examen, tout simplement en utilisant la raison. Il n'affirme rien avec certitude s'il n'a pas les éléments nécessaires et suffisants pour le prouver. Si sa curiosité et sa volonté d'être le témoin des croyances de son temps l'in-

citent à relever et exposer certains faits et dires au lecteur, rien ne laisse croire qu'il soutient ces faits. Par exemple, lorsqu'il évoque la transformation de la truffe en vipère – un phénomène contraire à la raison, sans aucun fondement –, il conclut par un « Mon Dieu, pardonnez-moi de rapporter de telles sornettes ». De même, s'il rapporte les légendes des anciens sur l'hydre ou le dragon dans un but didactique, il n'affirme pas leur existence, ne l'ayant pas lui-même observée et étant convaincu que ces histoires n'existent que pour alimenter les peurs des hommes.

c'est qu'il a en quelque sorte "brûlé" car il a dépassé le degré normal de maturation. »

Al-Djâhiz évoque aussi le cas d'animaux possédant des caractéristiques communes à deux classes différentes. Sur les anguilles, il émet deux hypothèses : soit ce sont des reptiles marins qui se seraient adaptés au milieu marin au point d'acquérir des caractéristiques de poissons, soit elles sont issues d'une hybridation entre un poisson et un serpent.

En d'autres termes, al-Djâhiz explique qu'il y aurait un déterminisme environnemental chez certains animaux (dont les êtres humains) et propose que des caractères soient acquis et transmis aux descendants. Doit-on y voir pour autant un précurseur du transformisme formulé par le naturaliste Jean-Baptiste de Lamarck à la fin du XVIII^e siècle, selon lequel les êtres vivants se transforment au fil des générations, en partie sous l'effet de leur environnement, ou de la théorie de l'évolution de Darwin ? N'allons pas jusque-là. Il ne s'agit pas d'avoir une lecture anachronique. Certes, le monde décrit par al-Djâhiz est dynamique : il n'y a pas de fixisme dans l'univers jahizien, mais ce n'est pas pour autant un raisonnement lamarckien ou darwinien, car les mécanismes exposés ne sont pas ceux du transformisme de Lamarck ou de l'évolutionnisme de Darwin.

Une œuvre reconnue, puis oubliée

Malgré un travail rigoureux, une œuvre considérable et de nombreux phénomènes biologiques observés, décrits et analysés, al-Djâhiz est peu connu des historiens modernes de la biologie. Dans la période médiévale, son œuvre a été lue, assimilée et commentée. Elle a même influencé nombre d'auteurs de l'époque et des siècles suivants, tels l'écrivain Abu Hayyân al-Tawhîdî (930-1023), qui a écrit un ouvrage contenant un chapitre zoologique, le naturaliste égyptien al-Damirî (1344-1405), auteur d'une compilation encyclopédique des animaux, ou le médecin et philologue arabe Abdellatif al-Baghdadi (1162-1231), qui a écrit un résumé du *Livre des animaux* et est réputé pour avoir étudié la faune de l'Égypte. On retrouve même des

traces des réflexions d'al-Djâhiz sur l'organisation du monde vivant chez le savant historien maghrébin du XIV^e siècle, Ibn Khaldun.

Pourtant, nous n'avons pour l'instant aucune trace de la transmission du texte d'al-Djâhiz au monde latin. Certes, à l'époque médiévale, plusieurs traités zoologiques arabes ou grecs traduits en arabe ont circulé en Europe ; par exemple, Frédéric II, qui a régné sur le Saint Empire romain germanique de 1220 à 1250, a écrit *De l'art de chasser au moyen des oiseaux* vraisemblablement à partir de traités de fauconnerie arabes, de textes d'Aristote et de ses expériences personnelles de chasseur ; le philosophe et théologien Albert Le Grand, quant à lui, a compilé Aristote et les commentaires arabes dans *De animalibus*, en 1270. Mais nous n'avons aucune information sur une quelconque transmission du *Kitâb al-Hayawân* au monde latin ou d'éventuels commentaires de l'ouvrage. Pourquoi cette absence de transmission ? Dans divers lieux de traduction en Europe, tels Salerne et Tolède, les traducteurs suivaient un programme répondant aux questions posées par leur société et leurs mécènes ; l'ouvrage, peut-être classé comme texte littéraire, a pu ne pas être sélectionné.

Historiens et chercheurs n'ont décelé la part de biologie dans l'œuvre d'al-Djâhiz que depuis quelques décennies. Plusieurs raisons expliquent cet « oubli ». D'une part, al-Djâhiz étant réputé pour ses talents de *adib* – homme de lettres –, il a été étudié par des spécialistes de la langue et de la littérature arabes, qui ont valorisé la beauté de sa langue, son esprit brillant et facétieux, ses satires sociales, mais ont délaissé l'œuvre biologique. D'autre part, l'énorme masse de l'ouvrage et son organisation particulière, qui évoque plus un journal ou un cahier de laboratoire qu'une œuvre achevée, découragent les chercheurs.

Enfin, à partir du XIX^e siècle, les œuvres littéraires d'al-Djâhiz ont mieux circulé que son corpus naturaliste. Le *Livre des Avars* a été traduit, mais le *Livre des animaux* n'est toujours pas traduit en intégralité dans une langue européenne, probablement à cause de sa densité et de la difficulté lexicologique dans la dénomination des espèces animales. C'est la tâche à laquelle s'attellent à présent les historiens des sciences. ■



2. PORTRAIT D'AL-DJÂHIZ sur un timbre poste du Qatar imaginé par le peintre Arturo Ortis (1971). Figure littéraire arabe, al-Djâhiz a traversé presque un siècle, durant lequel il a côtoyé de nombreux vizirs et califes. Il est mort à 92 ans, en 868 ; selon la légende, il a été enseveli sous ses livres après la chute de sa bibliothèque.

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Ben Saad, *La connaissance du monde vivant chez le savant al-Djâhiz : les sciences de la vie et le regard d'al-Djâhiz dans les sciences arabes*, thèse, Université Paris 7, 2010.

M. Ben Saad et M. Katouzian-Safadi, *Les insectes dans la classification des animaux d'al-Djâhiz : entre mythe et raison*, Actes du colloque international Explora Conference « Insects and Texts : spinning webs of wonder », à paraître.

P. Pellegrin, *Aristote, Les génies de la science*, n° 25, 2005.

A. Aarab et al., *La méthodologie scientifique en matière zoologique de Jâhiz dans la rédaction de son œuvre Kitâb al-Hayawân*, *Anaquel Estudios arabes*, vol. 14, pp. 5-19, 2003.

A. Aarab, *Étude analytique et comparative de la zoologie médiévale, cas du Kitâb al-hayawân de Jâhiz [776-868]*, thèse d'État de la Faculté des sciences de Tétouan, 2001.

N. Bel-Hadj Mahmoud, *La psychologie des animaux chez les arabes, notamment à travers le Kitâb al-Hayawân de Djâhiz*, Klincksieck, 1977.