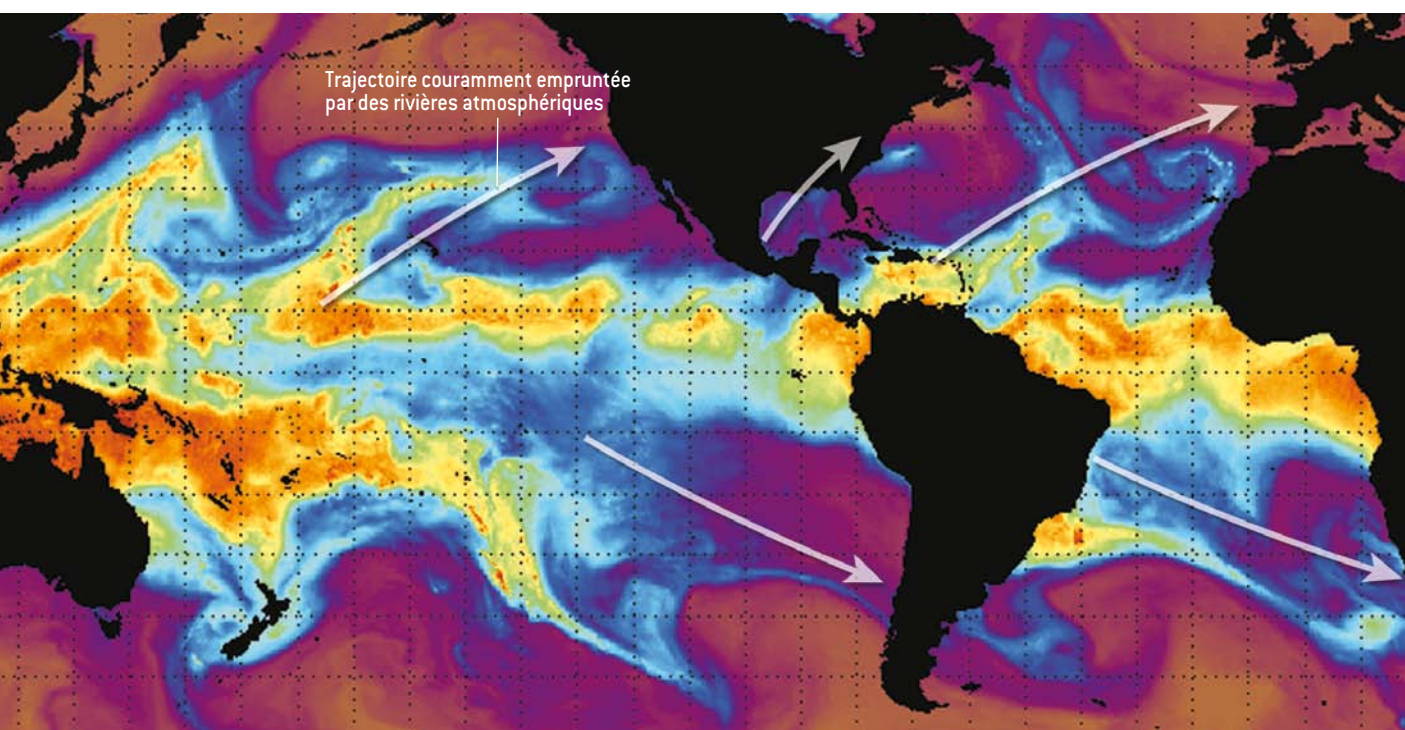




University of Wisconsin—Madison/SSE; XIR Productions

(pour que personne ne puisse prétendre que le scénario était irréaliste). Pour s'assurer encore davantage que le scénario, nommé ARkStorm (pour *Atmospheric River 1000 Storm*), soit aussi réaliste que possible, les scientifiques l'ont construit en assemblant les données de deux des plus grosses tempêtes de ces 50 dernières années en Californie, celles de janvier 1969 et de février 1986.

Trois fois le coût d'un grand séisme ?

Les résultats du scénario ont montré que des inondations prolongées pourraient avoir lieu dans la plupart des zones de faible altitude de la Californie. De telles inondations conduiraient à l'évacuation d'un million et demi de personnes. Les dommages et difficultés liés à la montée des eaux, les centaines de glissements de terrain et les vents soufflant en ouragan à certains endroits entraîneraient des dégâts matériels et des pertes agricoles estimées à 400 milliards de dollars. En ajoutant à cela les interruptions prolongées de l'activité économique, le coût total dépasserait sans doute 700 milliards de dollars, soit le

triple de ce qui est estimé dans le cas d'un séisme de magnitude 7,8, autre menace qui pèse sur la Californie.

Toutefois, les capacités de prévision ont été améliorées. Ainsi, si une organisation adéquate est mise en place et si les recherches continuent d'améliorer les capacités de prévision, il sera possible de réduire les dégâts et le nombre de victimes qu'entraînerait un tel événement.

Cet avertissement vaut aussi pour les côtes occidentales d'autres continents. Les scientifiques ont étudié les rivières atmosphériques le long de la côte californienne mieux que nulle part ailleurs dans le monde, mais ils ont peu de raisons de penser que les tempêtes sont moins fréquentes ou plus limitées ailleurs. La prochaine inondation exceptionnelle pourrait aussi bien frapper le Chili que l'Espagne, la Namibie ou l'Ouest de l'Australie.

La population devrait être consciente des risques associés aux rivières atmosphériques et prendre au sérieux les prévisions de tempêtes et d'inondations. Les institutions des États et les élus locaux devraient aussi tenir compte de ces phénomènes lorsqu'ils décident d'investir. Qui oublie le passé risque de le voir se répéter... ■

■ BIBLIOGRAPHIE

D. A. Lavers et G. Villarini, *The nexus between atmospheric rivers and extreme precipitation across Europe*, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, pp. 1-6, 2013.

B. L. Ingram et F. P. Malamud-Roam, *The West without Water*, University of California Press, 2013.

M. D. Dettinger et al., *Design and quantification of an extreme winter storm scenario [...]*, *Natural Hazards*, vol. 60(3), pp. 1085-1111, 2012.

M. D. Dettinger et F. M. Ralph, *Storms, floods, and the science of atmospheric rivers*, *Eos*, vol. 92(32), pp. 265, 2011.

D. A. Lavers et al., *Winter floods in Britain are connected to atmospheric rivers*, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 38, L23803, 2011.

F. P. Malamud-Roam et al., *Holocene paleoclimate records from a large California Bay estuarine system and its watershed region [...]*, *Quaternary Science Reviews*, vol. 25, n° 13 et 14, pp. 1570-1598, 2006.

HISTOIRE DES SCIENCES

Après Darwin vint... Hennig

Dans les années 1950-1960, l'entomologiste allemand Willi Hennig a bouleversé la classification du vivant en donnant des clés pour appliquer le programme énoncé par Darwin. Sa gloire reste cependant très confidentielle.

Guillaume LECOINTRE

Willi Hennig n'a pas eu de chance. Cet entomologiste allemand, dont nous fêtons cette année le centenaire de la naissance, a révolutionné une discipline de la biologie – la systématique – au moment même où celle-ci amorçait une perte totale de visibilité socio-politique. La systématique ? Ce terme désigne la science qui construit des systèmes (classificatoires), d'où son nom. D'une façon générale, une systématique est une science régissant les relations entre des objets, des concepts et des noms, à l'aide de liens qui rendent les objets intelligibles les uns par rapport aux autres. Selon les disciplines, on parle ainsi de systématique minéralogique, systématique biologique, etc.

En sciences naturelles, la systématique est la science des classifications biologiques et des relations évolutives entre organismes. Peu à peu, sa pratique s'est marginalisée au XX^e siècle. En France, on ne trouve pas cette discipline parmi celles enregistrées sur le site ministériel *Galaxie* où doit s'inscrire tout candidat à un poste de recherche académique (elle y apparaît comme rubrique de la théologie !). Rares sont les revues qui l'utilisent comme mot clé pour classer leurs articles. Le terme reste aussi absent de la plupart des textes de politique scientifique écrits autour de 2010, l'année internationale de la biodiversité. Et il a fallu batailler pour que l'institution rassemblant les trois quarts des systématiciens français – le Muséum national d'histoire naturelle – inscrive ce

terme dans l'intitulé de l'un de ses départements de recherche.

Dans les années 1950-1960, la pensée de Hennig a tellement bouleversé la systématique qu'elle y a produit un changement complet de vision. Hennig aurait mérité le prix Nobel s'il s'était agi d'une autre discipline : les systématiciens avertis de l'histoire de leur discipline lui assignent une importance équivalente à celle de Charles Darwin (1809-1882). De fait, il en est le continuateur en science des classifications.

La recette de Hennig

Au chapitre XIII de la première édition de *L'origine des espèces* (1859), Darwin a établi le programme classificatoire des sciences naturelles, le cahier des charges de la classification en quelque sorte : les classifications doivent suivre la généalogie. Lorsqu'on a plusieurs espèces à classer, on doit, pour faire des regroupements, s'intéresser aux souches (branches) communes à plusieurs espèces, plutôt qu'à l'accumulation ultérieure de modifications le long d'un lignage depuis cette souche.

Ces recommandations claires ne seront pas suivies un siècle durant, pour plusieurs raisons. L'une d'elles, et non des moindres, est que... Darwin n'a pas dit comment faire. Un siècle plus tard, en 1950, Hennig trouve la recette pour appliquer le programme de Darwin et la publie dans *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik* (*Fondements d'une théorie de la systématique phylogénétique*). En voici les ingrédients :

1) On ne classe jamais qu'un échantillon du vivant (on n'a jamais accès à tous les organismes vivants).

2) On suit une procédure agglomérative et non divisive : on regroupe, on ne sépare pas. En d'autres termes, pour constituer les groupes, priorité est donnée aux souches communes, c'est-à-dire aux lignées ancestrales communes. De plus, l'accumulation de transformations propre à une branche ne modifie pas l'agencement des groupes : on ne sépare pas des organismes de leur souche au motif qu'ils sont spéciaux.

3) On cherche à faire des groupes complets : lorsqu'un groupe est justifié par un caractère (hérité d'un parent commun), on ne peut laisser hors de ce groupe un organisme qui aurait ce trait. Un groupe complet – ou monophylétique – contient ainsi un ancêtre et tous ses descendants.

4) Un trait présent en dehors de l'échantillon ne peut servir à définir un groupe au sein de l'échantillon, sans quoi on risquerait de faire des groupes incomplets. En effet, rien n'assure que ce trait serait exclusif du groupe formé : des organismes extérieurs au groupe pourraient le porter (hors de l'échantillon), ce qui rendrait le groupe incomplet.

5) Par conséquent, seuls les traits nouveaux, propres à une sous-partie de l'échantillon, peuvent conduire à former des groupes.

6) Seuls sont valides les groupes monophylétiques.

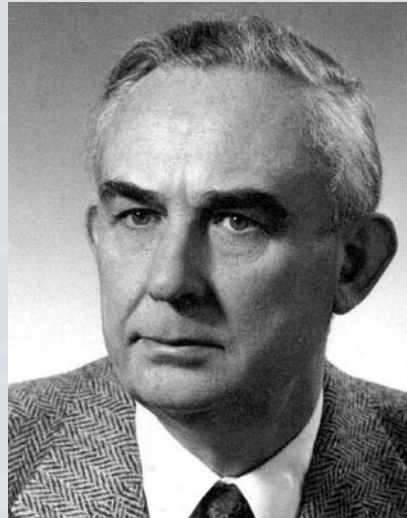
7) On n'a pas accès aux ancêtres concrets : on ne peut connaître les nœuds de l'arbre phylogénétique (le dernier ancêtre commun de deux espèces), seulement s'en approcher.

8) La relation des groupes entre eux n'est pas une relation d'ancêtres à descendants, mais une relation d'inclusion ou de groupes frères.

Cette nouvelle vision de la classification du vivant a rompu avec deux traditions. D'abord avec les classifications linnéennes, inspirées de l'inventaire du vivant proposé par le naturaliste suédois Carl von Linné [1707-1778]. Ces classifications étaient élaborées dans le fixisme, qui consiste à croire qu'animaux et végétaux sont répartis dans des groupes existant depuis toujours dans la nature, et l'essentialisme qui l'accompagne : les individus biologiques appartenant à des groupes naturels, ils portent l'essence – d'origine divine – du groupe auquel ils appartiennent. Pour Linné, les espèces végétales et animales étaient ainsi des entités immuables qu'il avait divisées en classes établies sur des caractères morphologiques bien visibles. Le règne animal, par exemple, était divisé en quadrupèdes, oiseaux, amphibiens, poissons, insectes et vers, chaque classe étant divisée à son tour en fonction de critères simples à identifier, telle la dentition pour distinguer les différentes sortes de quadrupèdes.

La fin du fixisme linnéen

Cette pensée – dont on trouve des traces encore aujourd'hui – ne tient que si l'on décide de gommer une des propriétés fondamentales des êtres biologiques : leur variabilité intrinsèque. En outre, Linné ou, plus exactement, ses continuateurs classaient le vivant en mettant l'homme au centre de l'Univers. Des groupes étaient ainsi définis par ce que leurs membres n'avaient pas, contrairement à l'homme : les agnathes regroupaient ceux qui n'avaient pas de mâchoire, et les invertébrés, ceux qui n'avaient pas de vertèbres. L'anthropocentrisme aidant, la classification procédait alors par coupure, par séparation, et non par regroupement.



1. C'EST EN 1950 QUE WILLI HENNIG [1913-1976, ci-contre], alors enseignant-chercheur à l'Institut d'entomologie allemand, à Berlin, publia son ouvrage *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*, qui révolutionna la systématique biologique, la discipline qui classe les organismes vivants. Mais ce n'est qu'en 1966, après la traduction en anglais de son livre, que les scientifiques comprirent l'importance de ses travaux.

XI. — TABLEAU-RÉSUMÉ DE LA CLASSIFICATION DES REPTILES.

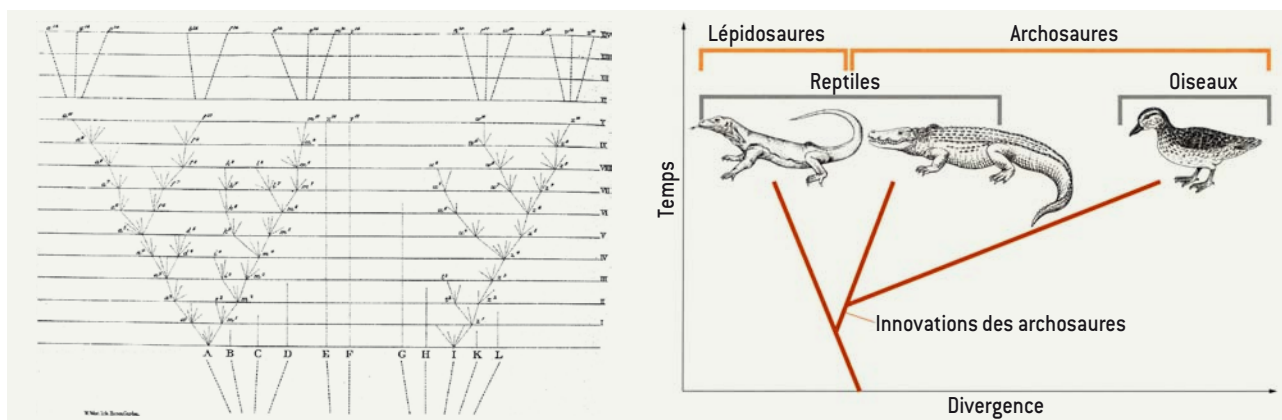
COEUR.	MEMBRES.	DENTS.	REVÊTEMENT de LA PEAU.	NOMS des ORDRES.	EXEMPLES.
4 cavités.	4 membres.	Fortes, implantées dans des alvéoles. 	Plaques osseuses dorsales.	CROCODILIENS.	Crocodile.
	4, sauf de rares exceptions.	Soudées aux mâchoires. 	Petites plaques cornées.	SAURIENS.	Lézard.
3 cavités.	4 membres.	Pas de dents ; un bec corné. 	Une carapace, avec plaques cornées.	CHÉLONIENS.	Cistude.
	Pas de membres.	Petites, soudées aux mâchoires ; parfois des crochets à venin. 	Petites plaques cornées.	OPHIDIENS.	Couleuvre.

X. — TABLEAU-RÉSUMÉ DE LA CLASSIFICATION DES OISEAUX.

STERNUM.	DOIGTS.	TARSES.	BEC.	NOMS des ORDRES.	EXEMPLES.
Avec une carène. CARINATES.	2 en avant ; 2 en arrière.	Courts.	Fort, parfois crochu.	GRIMPEURS.	Pic, Perroquet.
	Non palmés. } 3 en avant, 1 en arrière.	Fortes griffes.	Emplumés, forts.	RAPIACES.	Aigle, Hibou.
		Faibles.	Faible, membraneux.	COLOMBINS.	Pigeon.
	Doigt post. attaché plus haut que les autres. } Parfois une légère palmure. } Parfois les 4 doigts en avant. }	Fort.	Fort.	GALLINACÉS.	Coq.
Sans carène.	Palmés ; 3 en avant, 1 en arrière.	Très longs.	Long, d'ordinaire.	ÉCHASSIERS.	Cigogne.
	2 à 3 doigts ; membres antérieurs impropres au vol.	Écailleux.	Très variable.	PASSEREAUX.	Moineau.
		Courts.	Fort, très variable.	PALMIPÈDES.	Canard.
			Fort, très variable.	COURREURS.	Autruche.

2. SUR CES TABLEAUX extraits de manuels d'histoire naturelle d'enseignement secondaire de 1907, les animaux sont classés selon les critères linnéens, c'est-à-dire séparés en fonction d'attributs qu'ils ont ou non. La méthode de Hennig consiste au contraire à rassembler, dans un échantillon d'organismes, ceux qui ont un attribut donné, propre à une sous-population de l'échantillon. Elle montre ainsi que le crocodile est plus apparenté aux oiseaux qu'à n'importe quel groupe de reptiles actuel (tortues, lézards, serpents...).

F. Faideau et Aug. Robin. Cours complet d'histoire naturelle à l'usage des lycées et collèges. Larousse, 1907.



3. L'ARBRE DE DARWIN (à gauche), publié dans *L'origine des espèces* (1859), a valeur de fondement théorique fixant un long programme de recherche. En somme, Darwin dit ce qu'il faut faire (classer en vertu des souches communes), mais ne donne pas la marche à suivre. L'arbre de Hennig (à droite) expose la méthode empirique qui permet de suivre le programme de Darwin. C'est toute la différence entre la généalogie théorique (arbre de Darwin) et la phylogénie

(arbre empirique de Hennig) : dans le cadre empirique, l'arbre ne dit pas « qui descend de qui » parce que les ancêtres ont disparu, mais « qui est apparenté à qui ». Ainsi, l'oiseau, qui partage des traits exclusifs avec le crocodile, et non avec le varan de Komodo, se retrouve dans le même groupe (archosaures) que le crocodile, malgré leurs dissemblances, alors que le varan, qui ressemble à première vue plus au crocodile, est dans un autre (lépidosaures).

Le programme de Hennig a aussi rompu avec les classifications postdarwinniennes. Darwin n'avait pas mis de sommet à son arbre, mais ses continuateurs s'étaient empressés d'en remettre un. Les scientifiques intégraient désormais l'évolution biologique dans leur approche, mais, au lieu de justifier les groupes pour eux-mêmes, par un attribut qui leur serait exclusif, ils les définirent par rapport à leur « devenir évolutif », soumis à des adaptations incessantes. On fit, par exemple, des groupes nommés en vertu de ce qu'ils annoncent, au moyen du préfixe pro- : les procaryotes (cellules sans noyau) annonçaient les eucaryotes (avec noyau), les prosimiens précédaient les simiens, etc.

En somme, on continuait d'utiliser des procédures par coupures, pour faire des marchepieds dans un escalier transposé du fixisme à l'évolutionnisme. Le paléontologue américain Stephen Jay Gould (1941-2002) critiqua avec raison ce retour de l'anthropocentrisme, notamment parce qu'il mélangeait le constat factuel du partage des caractères entre espèces avec un discours de valeur. Le biologiste d'origine allemande Ernst Mayr (1904-2005), lui-même promoteur de ces « grades », constatant qu'il n'existe aucun caractère exclusif aux reptiles, reconnu que

la classe des reptiles avait été faite pour souligner l'émergence des oiseaux et leur remarquable adaptation au vol, et non pour elle-même, autour d'un attribut commun. Même chose pour les « poissons », groupe servant de marchepied aux tétrapodes.

En d'autres termes, cette tradition « gradiste » créait des ensembles pour décrire des éléments ou propriétés qu'ils ne contenaient pas. Au contraire, la systématique phylogénétique [aussi nommée cladistique] a rompu avec les procédures de séparation, pour se concentrer sur des regroupements justifiés parce que les membres d'un ensemble partagent vraiment. Ce programme a nécessité l'abandon des invertébrés, prosimiens, reptiles, poissons et nombre de groupes linnéens pour d'autres dont l'agencement dans l'arbre respecte l'apparement.

L'ère du tout-ADN

En somme, c'est grâce à Hennig que nous construisons des arbres phylogénétiques aujourd'hui. Enfin presque... Car il existe des techniques de construction d'arbres qui ne passent pas par un raisonnement hennigien, ni même par un raisonnement évolutionniste. Par exemple, les techniques importées

de l'industrie dès les années 1950-1960, fondées sur des mesures chiffrées de la ressemblance globale, construisent des « arbres » qui traduisent des degrés relatifs de ressemblance globale, et sont (trop) vite interprétés comme traduisant des degrés relatifs d'apparement. Ces « arbres » se sont répandus en biologie sans rapport direct ni avec la classification ni avec l'évolution (du moins au début). Et ce d'autant plus vite qu'à la même époque, la comparaison de séquences de macromolécules telles que l'ADN, l'ARN ou les protéines semblait se prêter à une appréciation numérique de la ressemblance et de la dissemblance.

Au début, ces techniques étaient le plus souvent dépourvues des préoccupations qui sont celles des systématiciens : présenter des conclusions d'ordre classificatoire et asseoir celles-ci sur des homologues identifiées [des caractères communs entre les espèces, dont l'histoire évolutive suggère qu'ils ont été hérités d'un parent commun]. Ce hiatus a laissé des traces jusque dans la littérature scientifique actuelle des systématiciens et même dans les outils disponibles pour l'enseignement secondaire en France.

L'impact du travail théorique et méthodologique de Hennig a été considérable,

surtout après la traduction anglaise de son livre en 1966. Nos classifications ont plus changé en 40 ans que durant les deux siècles précédents. On attribue souvent ces changements à l'usage des comparaisons des séquences d'ADN assistées par ordinateur. Certes, dans les années 1960 ont été publiés les premiers articles dans lesquels on construisait des arbres sur la base de la comparaison de séquences protéiques ou d'ADN. Certes, dans la décennie suivante, les ordinateurs sont devenus accessibles à beaucoup de laboratoires. Mais cela reste une erreur historique. Les premiers articles de ce qui n'était pas encore nommé la « systématique moléculaire » étaient dépourvus d'objectifs classificatoires. Et l'on n'a pas attendu l'émergence de la systématique moléculaire pour invalider les grades de « poissons », « reptiles » [au sens ancien du terme] et autres « invertébrés ». La révolution hennigienne a commencé avant l'ADN et s'est faite parallèlement au développement des études moléculaires.

« Phylogénétique » ne se rapporte pas aux gènes

La mémoire que nous devons à Hennig a ainsi pâti d'une double malchance. Non seulement Hennig a révolutionné une discipline politiquement inaudible au demi-siècle du tout-ADN et de la toute-puissance de la biomédecine moléculaire, mais son mérite s'est retrouvé dilué dans un bouleversement technologique privilégié par la technophilie de nos sociétés de consommation, oubliées du fait que toute vérité ne vient pas de l'ADN et qu'un ordinateur n'invente pas des idées tout seul. Comble du malentendu, la classification phylogénétique revient sur le devant de la scène non pas par la prise de conscience de l'importance de la systématique, mais par celle de l'importance de la biodiversité, qui n'est qu'un objet d'étude de la systématique, entre autres disciplines. Nombre de livres de vulgarisation et de discours politiques bien intentionnés à l'égard de la systématique occultent pourtant les noms des disciplines comme taxinomie ou systématique pour les noyer dans le

terme biodiversité, mélangeant disciplines et objets d'étude.

La phylogénétique ne revient pas sur le devant de la scène parce qu'on reconnaît le coup de génie de Hennig et le fabuleux cahier des charges fixé par Darwin, mais parce qu'on se fourvoie sur l'étymologie du terme. L'expression « arbre phylogénétique » ne signifie pas « arbre fondé sur la comparaison des gènes » ! Comme nous sortons d'un demi-siècle de biologie centrée sur la génétique, on entend « gène » dans « phylogénétique ». Mais Hennig ne travaillait pas sur les gènes. Et lorsqu'il écrivait son livre, la structure chimique du support matériel de l'hérédité était encore inconnue. « Phylogénétique » est l'adjectif se rapportant à « phylogénie », qui vient du grec *phulon* (lignée) et *genesis* (genèse) : l'arbre qui raconte la genèse des lignées.

Pour autant, ne nions pas l'apport des phylogénies moléculaires à nos classifications modernes. Si ces dernières ont tant changé, c'est aussi grâce aux phylogénies moléculaires. Mais Hennig n'a pas de rapport avec celles-ci, lesquelles ignorent en général ce qu'elles doivent à Hennig, jusqu'au cœur de leurs algorithmes.

La systématique est la science des classifications qui dit sur quel organisme travaille le biologiste et comment nommer organes et organismes en même temps qu'elle les replace dans l'histoire du vivant. Pour qu'elle puisse prospérer à nouveau et servir les causes importantes pour lesquelles on la sollicite, il est important qu'elle se fonde sur une culture phylogénétique étendue. Elle ne doit ignorer ni l'héritage hennigien ni les techniques actuelles, et organiser un dialogue entre anatomie comparée et systématique moléculaire. Cette dernière, de même, se doit de revenir à des questions d'homologie et de classification et de modifier son schéma théorique des micro-organismes. La systématique, enfin, doit redevenir une science reconnue avec ses objectifs propres : ordonner le monde vivant et nous le rendre intelligible. C'est-à-dire créer les conditions pour que, tout simplement, nous puissions en parler. Alors seulement nous aurons pris toute la mesure de l'héritage de Hennig. Bon anniversaire, Monsieur Hennig ! ■

■ L'AUTEUR



Guillaume LECOINTRE est professeur au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, où il dirige le Département Systématique et évolution.

■ À ÉCOUTER

Jeudi 5 septembre, Guillaume Lecointre reviendra sur l'importance des travaux de Willi Hennig dans la partie Actualités de l'émission *La marche des sciences*, sur France Culture de 14h à 15h. www.franceculture.com

■ BIBLIOGRAPHIE

G. Lecointre et H. Le Guyader, *Classification phylogénétique du vivant*, Belin, tomes 1 [3^e rééd. en 2006] et 2, 2013.

F. Girès (sous la dir.), *L'empire des sciences... naturelles*, ASEISTE, 2013.

Q. Wheeler et al., *Heed the father of cladistics*, *Nature*, vol. 496, pp. 295-296, 2013.

Ch. Darwin (trad. Th. Hoquet), *L'origine des espèces* (1859), Seuil, 2013.

Dossier *Systématique : réorganiser le vivant*, *Biofutur* n° 328, janvier 2012.

S. Tillier (dir.), *Systématique, ordonner le vivant, Rapport sur les sciences et les techniques de l'Académie des sciences* n° 11, Tech&Doc, 2000.

La sélection de livres

■ POUR LA SCIENCE

En cette rentrée, faites-vous une opinion sur de grandes questions de société avec la nouvelle collection *InfoGraphie* et ne manquez pas toutes les dernières nouveautés !
Bonne rentrée.

En partenariat
avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777



Tous ces livres sont
également disponibles
en librairie.

Requins

De la préhistoire à nos jours

Gilles Cuny, Illustrations d'Alain Beneteau

Les requins ? Ils sont presque à égalité avec les dinosaures dans l'imaginaire collectif. Ce livre original, illustré de 200 reconstitutions et photographies, écrit par LE spécialiste français des requins, est riche en informations scientifiques, en sensations et en surprises.

Éditions Belin 2013
224 pages – 27,90 euros – ISBN 978-2-7011-5423-7



Réf. 005423

Incertitudes sur le climat

Katia et Guy Laval

Les prévisions en matière de climat comportent une part d'incertitude, exploitée par les « climatosceptiques ». Rédigé par deux physiciens hors pair, cet ouvrage fait un point précis sur ce sujet majeur afin que chacun se forge un point de vue clair sur le réchauffement climatique à l'œuvre et la nécessité d'agir.

Éditions Belin 2013
272 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-7485-3



Réf. 007485

Nouveauté

InfoGraphie, une collection d'ouvrages résolument graphiques, pour se faire son opinion sur de grandes questions de société !

Le cannabis ?

Marina Julienne

Qui sont les consommateurs de cannabis ? Quels sont ses effets sur la santé ? Le cannabis peut-il aussi soigner ? Comment aider les jeunes à arrêter ? Qui sont les trafiquants de cannabis ? Etc. Voici une synthèse sur le cannabis, riche en infographies, en chiffres clés et en avis d'experts !

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-6380-2



Réf. 006380

La biodiversité ?

Lise Barnéoud

Depuis combien de temps les espèces disparaissent-elles ? Combien de terres sauvages sont-elles chaque année englouties sous l'asphalte ? Reste-t-il encore de la nature « sauvage » ? Etc. Voici une synthèse riche en infographies, en chiffres clés et en avis d'experts, sur un sujet clé du XXI^e siècle.

Réf. 005692

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-5692-7



La procréation assistée ?

Lise Barnéoud

Qui peut y recourir, en France et dans le monde ? Est-ce une solution pour éviter de transmettre une maladie génétique ? Comment débattre des problèmes éthiques et sociaux soulevés ? Etc. Voici un livre riche en infographies, en chiffres clés et en avis d'experts, pour comprendre les enjeux d'une avancée médicale majeure.

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros – ISBN 978-2-7011-6144-0



Réf. 006144