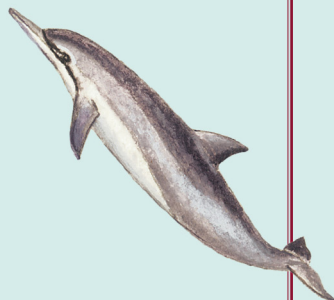


JEAN-PIERRE TERNAUX
FRANÇOIS CLARAC

LE BESTIAIRE CÉRÉBRAL



CNRS EDITIONS

Présentation de l'éditeur



La compréhension des mécanismes qui permettent à notre cerveau de fonctionner doit beaucoup à l'exploration de celui de nombreuses espèces animales. Sangsue, abeille, grenouille, rat, écrevisse, mouche : c'est en étudiant les neurones, les gènes, les réflexes, la mémoire de ces espèces apparemment très éloignées de l'homme que les réseaux complexes du cerveau humain ont été décryptés.

Ce livre retrace la longue histoire de l'apport essentiel et salvateur des animaux à la connaissance de l'activité cérébrale de l'homme, mais aussi aux pathologies qui l'affectent.

Une aventure scientifique qui rend enfin hommage à la contribution silencieuse d'un bestiaire aussi insolite que précieux.

François Clarac est directeur de recherche émérite au CNRS ; Jean-Pierre Ternaux est directeur de recherche honoraire au CNRS. Tous deux, ils ont enseigné les neurosciences et sont co-auteurs de L'Encyclopédie Historique des Neurosciences. Du neurone à l'émergence de la pensée, 2009.

Le bestiaire cérébral

François Clarac
et Jean-Pierre Ternaux

Le bestiaire cérébral

Des animaux pour comprendre le cerveau humain

Préface de Jean-Didier Vincent

Illustrations de Jean-Pierre Ternaux

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche – 75005 Paris

« Un être humain, comme n'importe
quel animal ou végétal, reçoit de ses
parents un certain héritage substantiel,
un certain patrimoine héréditaire. »

Jean Rostand
L'Homme, 1940.

Sommaire

Préface. Hommes et animaux.....	9
Préambule	13

I

Animaux familiers, animaux d'expériences

Chapitre premier. La grenouille : premier animal au service des physiologistes	23
Chapitre 2. Sangsue et autres vers : petits systèmes pour grandes fonctions.....	55
Chapitre 3. Papillons, abeilles, fourmis... les insectes sociaux.....	83

II

L'âge d'or des invertébrés

Chapitre 4. L'écrevisse, les grands crustacés et leurs réseaux de neurones	113
Chapitre 5. Le criquet solitaire ou grégaire... de la sérotonine aux robots volants.....	137
Chapitre 6. L'aplysie : des cellules géantes à la mémoire	163

III

La révolution génétique et ses espèces favorites

Chapitre 7. La drosophile, une mouche « modèle ».....	187
--	-----

Chapitre 8. Du poisson électrique au poisson zèbre : une multitude de formes et de couleurs.....	215
Chapitre 9. Les souris et les rats : « vedettes » de la neurobiologie contemporaine.....	233

IV

Aux racines de la pensée

Chapitre 10. De l'œuf de poule aux chants des oiseaux.....	267
Chapitre 11. Le chat : un cerveau rêveur pour « neuroscientiste »	293
Chapitre 12. Le cerveau du singe... si proche.....	319

Épilogue

« Des hommes et des bêtes »

Préface

Hommes et animaux

Voici un livre délicieux dans lequel le savoir le dispute à l'humour et à la poésie. Nos auteurs ont beau être des mâles humains adultes, on retrouve chez eux la sensibilité féminine d'une Colette dans ses « dialogues des bêtes » qui témoigne d'un amour passionné de l'admirable nature animale.

Le rôle d'un préfacier est de donner au promeneur indolent l'envie irrésistible d'acheter le livre que la curiosité a mis entre ses mains. Avant d'afficher un enthousiasme communicatif, une crainte me vient : suis-je la bonne personne pour une telle mission ? Voir couler le sang des bêtes est en effet insupportable pour beaucoup de nos congénères. Il est facile de comprendre cette répulsion en raison du principe d'empathie pour tout être vivant qui est au cœur même de chaque être humain. Et cependant, le massacre continue avec au premier rang des assassins les chercheurs, les cuisiniers et, à un moindre degré, les chasseurs, qui font plus de bruit que de mal. Or, je dois le confesser, je fais partie de ces meurtriers. Impossible d'invoquer la légitime défense lorsque je me régale d'un aloyau de bœuf cuit sur les sarments de vigne ou d'un lapin chasseur cuisiné par mes soins. Je n'ai par ailleurs que mépris pour ces prétendus chercheurs qui affectent d'être des bienfaiteurs de l'humanité lorsqu'ils ne font que satisfaire leur curiosité sur des animaux (certes anesthésiés) qui n'ont pas donné leur consentement éclairé. Crime d'autant plus détestable qu'il s'accompagne parfois d'une quête avide de renommée, d'une gloire de mauvais aloi chez le chercheur et d'une glotonnerie démesurée chez le « bouffeur ». Je plaide non coupable pour nous trois, les deux compères auteurs et leur modeste préfacier, au nom de ce plaisir ineffable que procurent la découverte et le savoir. Cette joie est à la fois la raison et la cause qui animent le désir du chercheur. Chaque découverte, chaque grain, aussi infime soit-il, qui augmente la connaissance des choses participe à ce qui est le propre de cet animal raisonnable (*Homo sapiens*). Il n'est donc pas abusif d'affirmer que l'amour de l'humanité est le seul fondement valable de la Recherche.

Dans ce livre qui n'est pas seulement une galerie d'animaux, mais aussi une série de portraits savoureux de savants, le lecteur pourra appréhender ce qui est l'essence même de la biologie, c'est-à-dire le lien substantiel qui unit l'homme à l'animal, au-delà à la terre nourricière dont ils sont tous deux issus.

Comme tout biologiste-chercheur qui se respecte, j'ai connu au long de ma carrière un certain nombre d'animaux qui m'offrirent leur vie, insoucieux que j'étais de sacrifier celle-ci à la quête d'une vérité pour laquelle j'ai peut-être vendu mon âme (« *Ich bin der beist der stets verneint! / Und das mit recht denn alles, was entsteht / Ist wert, das es zu Grunde geht* »). Le recours inévitable à l'animal dans la recherche en biologie a empoisonné la première moitié de ma carrière au point de me sentir soulagé plus tard par l'utilisation de préparations *in vitro* qui ne nécessitaient pas la présence effective de l'animal. Douce hypocrisie, car on feint d'ignorer d'où proviennent les cellules nerveuses cultivées dans des petites boîtes. Doit-on penser aux sanglants abattoirs lorsqu'on dîne d'un plat de viande? En contrepoint de mon engagement dans la biologie animale, j'avais renoncé à l'exercice de la neuropsychiatrie m'éloignant ainsi du face-à-face avec la souffrance du malade. Cet autre déchirement me conduisit à écrire une *biologie des passions* où j'essayais de faire se rencontrer au laboratoire l'homme et son âme torturée avec l'animal dans sa splendide innocence. Certains critiques me reprochèrent alors de ne montrer dans mon essai que des rongeurs et de faire l'impasse sur les hommes, bêtes passionnées s'il en est et seules vraiment dignes de l'intérêt des lecteurs. J'ai donc choisi d'illustrer un peu mieux mon propos avec un rat de l'espèce supérieure : un Homme. Dans la nécessité d'avoir au moins un exemplaire à ma disposition et dont je puisse user à discrétion, j'ai dû choisir entre mon propre personnage, ce qui m'aurait conduit à de bien pénibles confessions, et l'un de ces courageux écrivains qui se sont pris pour sujet de leurs écritures : les auteurs de mémoires. Rat de ville et de bibliothèque, rat de chambre et d'alcôve, rat d'égoût et de salon, rat qui s'avance masqué de noir et le corps dissimulé sous un domino, Vénitien sans doute, mais « *bête parmi les bêtes, avec un peu de déraison en plus* », Jacques Casanova s'est offert à moi avec son attendrissante générosité et son insupportable goût de paraître. Une bête qui parle ce langage fait que nous déraisonnions parfois et qu'il n'y a que cette déraison pour nous éloigner des bêtes » affirme d'ailleurs Casanova dans « l'histoire de ma vie ». Dans cet ouvrage, l'aventurier rend à plusieurs reprises hommage au courage des bêtes. « Les bêtes auraient-elles moins peur parce qu'elles vivent sans la parole ». Hélas, si la parole fait de nous des hommes, elle ne suffit pas à faire de nous des êtres d'amour.

Dans la fourmillante galerie des portraits des grands héros de la geste biologique, on croise l'abbé Lazzaro Spallanzani (1822-1895) à l'occasion d'un réjouissant éloge de la grenouille. Curieusement, Casanova m'avait conduit à Spallanzani par un de ces détours de bibliothèque qui font le charme des promenades littéraires dont sont friands les chercheurs repus de science, comme le sont sans doute François Clarac et Jean-Pierre Ternaux – un duo, soit dit en passant, destiné à faire date dans l'écriture scientifique. Naples fut le théâtre de cette rencontre réunissant un abbé, un libertin et un saint. Trois vies croisées éclairées par les lumières du XVIII^e siècle. Alphonse de Ligure (1696-1787) mort en odeur de sainteté à l'âge de quatre-vingt-onze ans et Lazare Spallanzani (1729-1804), le fondateur de la biologie. Jacques Casanova (1725-1798) qui fût leur contemporain est le Monsieur Loyal de ces deux artistes géniaux du cirque de la Vie : d'un côté le plus « grand confesseur de tous les pénitents » occupé à réconcilier la chair et le diable sous le regard complaisant de Dieu et de l'autre un abbé inventant les procédés de la chair (le sexe, la reproduction, la génération, la douleur). Entre eux, il y a la Femme, une vraie duchesse, une fausse nonne que Casanova a fait jouir – celle-ci finira en tenant la plume du saint, interdit d'écriture – et une vraie nonne, maîtresse/technicienne de l'abbé chercheur. La Naples des Bourbons est le théâtre de ces ébats/débats où l'âme tient ses états. Encore un livre que je n'écrirai jamais. On l'aura compris, les savants biologistes sont des aventuriers de la vie ; à mi-chemin entre le pécheur et le saint, ils conduisent le carnaval des animaux auquel vous convient François Clarac et Jean-Pierre Ternaux.

Vous y ferez connaissance avec les bêtes étranges et d'autres plus familières. En tête vient la sangsue, ce vers qui se nourrit du sang des hommes et qui fut pendant des siècles l'arme favorite des médecins pour rétablir l'équilibre des humeurs, remède souverain contre l'apoplexie. Je me souviens d'une vieille voisine de la campagne qui avait servi en friture à son mari les sangsues prescrites par le médecin et destinées à fluidifier son sang en le suçant par leurs morsures.

Vient ensuite la longue cohorte des savants et leurs animaux, la fine fleur des cabinets de curiosité et des modernes laboratoires. D'abord des vers de tout genre avec le fameux *caenorabditis* élégant nématode dont la valeur n'attend pas le nombre des cellules (959 chez l'hermaphrodite, 1 031 chez le mâle) toutes répertoriées et dont les gènes parfaitement identifiés sont identiques à ceux de l'homme. Sa contribution à la génétique mérite un monument. Ce sont ensuite la parade bigarrée et bruisante des insectes, papillons, araignées fourmis et les fameuses abeilles dont on peut admirer l'organisation sociale et les talents manufacturiers ; tant de qualités au service d'une vie stéréotypée, réglée

comme du papier à musique. Les auteurs se glissent au sein du défilé pour donner une leçon de biologie – modèle de pédagogie animée – qui fait du livre une introduction simple mais de haut niveau à la biologie moderne et à son histoire. On ne peut être que confondu devant tant de beauté que rend manifeste le style enlevé du texte et des dessins. Je ne referai pas la table des matières qui célèbre dans ses premières pages l'âge d'or des invertébrés. Je cite donc au hasard le criquet, modèle parfait pour l'étude de l'énergie motrice, les crustacés sur lesquels régnerent Clarac et Moulins, explorateurs des « petits cerveaux ». L'aplysie et son prophète Tauc et sa découvreuse la discrète Angélique Arvanitaki. Des milliers d'auteurs allant, venant et butinant dans la ruche des neurosciences ; Nicole Le Douarin qui tend la main à Bonnet et Spallanzani ; Alfred Fessard et sa torpille qui continue l'œuvre de Galvani et ses grenouilles. J'en resterai là. Cette longue théorie n'est que le reflet trop fugace du plaisir qui emporte le lecteur plongé dans un torrent d'eau rafraîchissante et fait de lui pour quelques moments de science un savant éclairé avec cette conviction : *l'animal est l'avenir de l'homme*.

Jean-Didier Vincent
Membre de l'Institut (Académie des Sciences)

Préambule

Nous savons déjà bien des choses de notre cerveau, certainement pas encore assez, mais... d'où vient tout ce que nous savons ?

Peu de nous-mêmes... et beaucoup des animaux sur lesquels, depuis plusieurs siècles, nous avons expérimenté. Des mammifères, mais pas seulement... Des bêtes fort éloignées de nous, auxquelles nous ne prêtons généralement guère d'attention, jusqu'à des petits vers du sol que nous piétons chaque jour !

Cela peut surprendre : comment de telles « bestioles » peuvent-elles nous servir à comprendre notre cerveau ? Et pourtant... elles nous ont apporté et apportent toujours aujourd'hui de précieuses informations sur le fonctionnement de notre cerveau...et justement, nous voudrions vous en parler... »

Le monde biologique constitue un ensemble unique dans l'Univers. Il s'est construit sur la base de propriétés fondamentales qui se retrouvent dans l'ensemble du monde vivant, des êtres les plus simples aux animaux les plus complexes. Si les êtres vivants – limitons-nous au règne animal – diffèrent beaucoup les uns des autres, avec une inépuisable richesse de formes, de structures, d'organisation, de fonctionnement, espèces volantes, rampantes, perforantes, nageuses, sauteuses, coureuses, affublées de multiples appendices, de poils, de plumes, d'écailles, de coquilles, de tests, de piquants, pour s'adapter à l'environnement terrestre ou marin. La matière qui compose tous ces animaux, sa structure moléculaire et atomique et les réactions chimiques qui président à l'expression de la vie, sont identiques pour tous.

L'évolution de la matière vivante depuis plus de trois milliards d'années n'a pas été très inventive. Monotone, elle a reproduit d'un animal à l'autre, d'un groupe à l'autre, d'une classe à l'autre, les mêmes processus cellulaires. La variété des molécules organiques qui constituent le vivant n'est pas, quantitativement, très élevée. Cette relative pauvreté biochimique est également constatée au niveau des acides nucléiques, porteurs du code génétique, avec ses seules quatre bases,

l'adénine, la guanine, la thymine et la cytosine, que l'on retrouve immuablement conservée chez l'ensemble des espèces animales, tout au long de l'évolution. Cela, pourtant, n'empêche pas l'expression d'une grande diversité de formes, d'organisations et de comportements.

L'unité du monde vivant, caractérisée par une matière organique identique chez toutes les espèces, se traduit à l'échelle moléculaire mais aussi au niveau cellulaire. Tous les êtres, qu'il s'agisse de plantes ou d'animaux, sont constitués de cellules. La cellule est la brique fondamentale du vivant. Au cours du développement, les cellules vont se diviser et s'organiser suivant des schémas architecturaux différents qui caractérisent tel ou tel groupe de plantes ou d'animaux. Les mêmes régulateurs de la division cellulaire sont présents et identiques de la levure à l'être humain, en passant par les plantes. Quelle que soit l'espèce considérée, une enzyme – la kinase CDK/cycline B – est un facteur universel de la division cellulaire. Laurent Meijer, directeur de recherche CNRS à la station marine de Roscoff, a mis en évidence l'effet antitumoral de molécules sécrétées par certaines espèces marines comme les ascidies qui sont capables d'éloigner leurs prédateurs (Galons *et al.* 2010). La molécule, baptisée « roscovitine », isolée à partir d'ascidies, possède des propriétés inhibitrices de la kinase CDK/cycline B et bloque efficacement la division cellulaire. Elle offre aujourd'hui des pistes thérapeutiques innovantes pour traiter chez l'homme les polykystoses rénales et certains cancers. Cette découverte montre bien l'unicité et l'universalité du vivant, malgré une apparente diversité d'expression. Le vivant est un ensemble homogène, dont la cohérence s'exprime à tous les niveaux d'organisation et à tous les échelons évolutifs.

Plus intrigant encore ! Chez des éponges, des animaux sans système nerveux, les plus simples qui soient, le génome a été séquencé par des chercheurs du UCSB's Institute for Collaborative Biotechnologies (Santa Barbara, Californie) : bien des gènes nécessaires au fonctionnement des synapses sont déjà actifs dans ce patrimoine génétique élémentaire. La structure des protéines des éponges suggère des interactions similaires à celles présentes au niveau des synapses des mammifères. Si, même au plus bas niveau de l'échelle évolutive, on trouve des éléments identiques à ceux de l'espèce humaine, alors tous les êtres vivants méritent d'être étudiés comme modèles pertinents pour comprendre le fonctionnement des cerveaux les plus évolués.

C'est dans ce contexte que nous avons écrit cet ouvrage, en essayant de montrer l'intérêt d'étudier et d'analyser la structure et le fonctionnement des cerveaux de différentes espèces pour comprendre un peu mieux les mystères du cerveau humain. Cette quête d'informations dans la diversité biologique, qui ne date pas d'hier, a permis d'avancer dans la

compréhension des mécanismes qui président au fonctionnement cérébral normal et pathologique.

Dans ce cadre et sans prétention d'exhaustivité, nous avons choisi de décrire le système nerveux de six invertébrés : la sangsue, l'écrevisse, le criquet, la drosophile, le papillon et l'aplysie, espèces dont l'étude du système nerveux s'est révélée tout à fait bénéfique pour comprendre les mécanismes fondamentaux du fonctionnement cérébral... Ce n'est pas un catalogue à la Prévert, mais des animaux qui ont, du siècle dernier et à aujourd'hui, toujours passionné les scientifiques.

Qu'est-ce qu'un invertébré ? Il n'a pas de vertèbres, pas de colonne vertébrale, par opposition aux vertébrés, plus proches de nous, qui possèdent une colonne vertébrale osseuse... Les invertébrés sont si divers qu'on n'a pas su les caractériser et les classer dans un ensemble homogène. Les contraintes évolutives ont fait apparaître des formes symétriques, pentamériques, enroulées... Cette grande diversité d'architectures s'accompagne d'une grande variabilité des performances comportementales et d'adaptation des processus aux milieux. Ainsi, on identifie chez les invertébrés des nageurs, des rampants, des volants, des sauteurs, des suceurs... Extraordinairement adaptés à leur milieu, ils ont traversé, pour certains, de génération en génération, plusieurs millions d'années... à la grande joie du neurobiologiste, ils présentent bien souvent quelques particularités anatomiques qui leur confèrent un statut de modèle expérimental pour l'étude de leur système nerveux. Les éléments qui constituent leurs cerveaux, bien que « primitifs » par rapport à ceux des vertébrés, sont dans la plupart des cas relativement accessibles. Ainsi, ces espèces animales sont devenues, à un moment ou à un autre de l'histoire des sciences, des animaux emblématiques pour décrire et comprendre le fonctionnement de la cellule nerveuse, élément fondamental constitutif du tissu nerveux.

Cette exploration du système nerveux des invertébrés s'est révélée tout à fait fructueuse pour asseoir de façon rigoureuse les premiers concepts de transmission du signal nerveux le long des prolongements de la cellule nerveuse : les dendrites et l'axone. Ces résultats fondamentaux se sont révélés transposables aux autres espèces, et même à l'homme....

Puis nous quitterons les invertébrés, et leurs formes les plus curieuses, pour aborder le cerveau des vertébrés. Là encore, il serait utopique dans un ouvrage comme celui-ci, de décrire l'ensemble des animaux utilisés par les chercheurs pour pénétrer les mystères de la matière cérébrale. Nous avons choisi d'illustrer les travaux réalisés avec six espèces différentes de vertébrés : la lamproie, la grenouille, la poule, le rat ou la souris, le chat et le singe.

L'horizon est ici particulier avec ces chordés, animaux qui possèdent une lamelle cartilagineuse dorsale, la notochorde, sous le tube nerveux. Cette structure, qui joue un rôle crucial lors du développement, soutient et protège le tube nerveux qui caractérise les formes animales primitives. Chez les vertébrés plus évolués, la notochorde est remplacée à l'âge adulte par la colonne vertébrale. Cet ensemble est si cohérent et bâti sur un plan si reproductible, des poissons aux mammifères, que leurs ressemblances chez les embryons de toutes les espèces ont été à la base d'une théorie défendue par Haeckel proclamant que l'ontogenèse (le développement embryonnaire) résumait la phylogenèse (l'évolution). Cette hypothèse supposait, à tort, qu'un petit mammifère au cours de ses premiers stades passait par l'étape poisson, batracien, reptile, oiseau avant de devenir enfin un mammifère. Et d'ailleurs, pour prouver ses dires, Haeckel avait truqué ses résultats. Avec la colonne vertébrale et le développement des os du crâne, le système nerveux des vertébrés est certainement difficilement accessible au chercheur. L'évolution des technologies depuis la fin du XIX^e a permis de lever très rapidement ces obstacles, facilitant ainsi une approche reproductible des fonctions de l'encéphale avec son cortex cérébral et ses structures sous-jacentes.

La zoologie est souvent considérée comme une discipline rébarbative... Grave erreur!... Elle démontre par un classement spécifique et logique la très grande richesse et l'immense variété du monde animal.

Aujourd'hui, partout, on parle de la biodiversité, à la télé, dans les débats publics, dans les assauts politiques, défendre le monde vivant, plus qu'un devoir, est devenu une obligation... Nous soutenons, bien sûr, une telle démarche, mais notre goût et notre respect pour la nature est né il y a bien longtemps... sur les bancs de la faculté... Mais il nous était venu naturellement. Enfants, nous nous y intéressions déjà : combien de pierres avons-nous soulevé pour trouver un insecte ? Combien d'oiseaux avons-nous regardé s'envoler ? Combien de kilomètres avons-nous parcouru pour observer une orchidée qui allait fleurir dans une prairie d'altitude ? Combien de pinèdes avons-nous traversé pour observer une mante religieuse à l'affût ou pour suivre un phasme qu'on n'arrivait pas à distinguer entre les brindilles d'un arbuste qu'il chevauchait... Nos études scientifiques n'ont fait que nous confirmer la richesse de ce monde animal ou végétal. Enfants des villes, nous savions que la proche campagne recélait déjà des trésors...

Ce goût de la nature a été conforté par nos lectures. Nous avons toujours eu une grande tendresse pour ces ouvrages du XVII^e siècle décrivant des cabinets de curiosité et leurs trésors. Ces aristocrates, qui par admiration ou pour seulement se distraire, se sont ingénies à faire venir par bateau des quatre coins du monde des plantes rares ou des

animaux inattendus, capturés au cours de voyages aux bords du monde connu. Souvent, et nous en sommes conscients, ils voulaient affirmer la primauté de leur naissance en plantant autour de leurs demeures les cèdres les plus rares, les ginkgos du Japon ou les plantes de Chine les plus attractives, en faisant découvrir qui une girafe, qui un tigre ou toute autre bête extraordinaire... Ces pratiques de riches faisaient connaître les beautés des régions tropicales et équatoriales que les habitants des pays tempérés ne pouvaient soupçonner... On découvrait peu à peu, avec émerveillement, les richesses animales et végétales.

Le XIX^e siècle nous a fait découvrir des grands livres rouges sur les plantes, les fleurs et les animaux... Ces ouvrages, comme ceux de la comtesse de Ségur, où une bonne bourgeoise entraîne dans la campagne, un dimanche de printemps après la messe, ses enfants pour admirer plantes et bêtes... Ce type d'édition est désormais totalement désuet! Mais la passion affichée pour décrire avec précision et chaleur, le coucou, la primevère, le bouton-d'or ou la reine-des-prés, les exclamations lancées devant une cétoine qui se pose sur les pétales d'une églantine, l'admiration suscitée par un grand machaon qui volette entre les gueules de loup du jardin... sont pour nous autant de faiblesses coupables pour une nature livresque et désincarnée, mais respectée et protégée.

Plus sérieusement, nous avons envie de dédier notre livre à un gamin... D'une douzaine d'années, il parcourt les plaines et les bois du nord de l'Angleterre dans le Shropshire près de Shrewsbury. Il collectionne des coquillages venant d'un ruisseau voisin ou ramasse quelques mues séchées d'insectes... Peu préoccupé par ses études, son père s'inquiète de ce vagabondage qui semble suffisant pour satisfaire l'enfant... Et pourtant, l'apprentissage qu'il pratique là va s'inscrire définitivement en lui et faire de ce petit Anglais turbulent l'un des plus grand de son siècle: Charles Darwin. En souvenir de ce maître de la biodiversité et de l'évolution, notre livre, très humblement, rend hommage à cette diversité animale si utile à l'homme et source de connaissances inépuisables pour mieux nous comprendre nous-mêmes. Du grillon des bois à la loutre d'Alaska, de l'hydre d'eau douce aux lamas de l'Altiplano, ils étanchent notre soif de savoir.

Notre ligne conductrice sera le système nerveux qui, de quelques amas cellulaires chez les coelentérés comme les hydres, et les anémones de mer, va devenir une chaîne ventrale d'un million de neurones chez les invertébrés pour se complexifier chez les vertébrés en s'hypertrophiant dans l'ensemble céphalique pour devenir enfin, chez les plus évolués, le substrat biologique de la pensée (Vincent, 2007).

Il aura fallu beaucoup de temps pour en arriver là. C'est ce long parcours que décrivent les paléontologistes. À l'époque primaire, toute

sorte de formes vivantes, dont les fameux trilobites, des animaux articulés comme des crustacés, mais aussi des brachiopodes, des céphalopodes... Et puis des animaux bizarres apparaissent (Daeschler *et al.*, 2006). Dans les schistes de Burgess dans les Rocheuses canadiennes, vers 500 millions d'années, on remarque une drôle de forme, *pikaia*, un animal comme une anguille de dix centimètres de long. Certains sont persuadés qu'il est à l'origine des vertébrés (Gould, 1989). Il faudra cependant attendre la fin du primaire pour l'explosion des poissons, au dévonien, et la mise en place des vertébrés terrestres, au permien, vers 300 millions d'années.

Le secondaire est célèbre pour ses animaux gigantesques, les dinosaures, qui ont fasciné les imaginations par leur aspect irréel et leur démarche chaotique. On dit qu'ils ont disparu après la chute d'une énorme météorite... Les mammifères, destinés à un avenir bien plus prometteur que les dinosaures, se sont développés à peu près au même moment, mais de si petites tailles qu'il était difficile de les suivre. Ils devaient se faufiler entre les pattes des monstres ! Ces petits « rats » s'épanouiront au tertiaire avec les grandes familles d'ongulés ou de carnivores... Les hommes viendront bien plus tard. Descendants de mammifères arboricoles, ils se séparent des chimpanzés vers 7 millions d'années, deviennent humains vers 3 millions d'années et adoptent une posture bipède, mais on ne sait pas très bien quand... Ce sont vers 2 millions d'années, *Homo habilis*, *Homo ergaster*, *Homo erectus*, il y a sans doute moins d'un million d'années... Le cerveau qui oscillait entre 300, 400 jusqu'à 700 cm³, atteint alors des volumes de 1 200 à 1 700 cm³ : c'est *Homo Neanderthalis*, qui va disparaître il y a 30 000 ans. Avec une région frontale qui d'un seul coup a pris une place considérable dans la boîte crânienne : c'est *Homo Sapiens*.

Pour aborder la question des modèles animaux en neurobiologie, nous ne suivons pas l'ordre classique, des formes animales les plus simples aux plus complexes. Notre choix privilégie plutôt l'histoire des sciences et des techniques et celle de la neurobiologie.

1. **Animaux familiers, animaux d'expériences** : nous commencerons en décrivant les premières expériences réalisées sur des animaux à sang froid qui échappèrent aux interdictions de dissection. Ainsi, la grenouille a été un animal pionnier dans les débuts d'investigation du système nerveux. Dès le XVIII^e siècle, tous les savants l'examinent, dans tous les sens et en la coupant de toute part. C'est le premier animal d'étude. Les sangsues dites médicinales ont pompé le sang de générations de malades déjà affaiblis, mais elles ont aussi beaucoup servi la science. Les abeilles et les autres insectes sociaux, compagnons de l'homme depuis plusieurs siècles, ont également apporté des connais-

sances fondamentales quant à l'organisation et le fonctionnement de leur système nerveux. Les abeilles et les fourmis ont fasciné l'homme et le fascinent encore et l'observation de leurs comportements individuels et collectifs a toujours été instructive.

2. **L'âge d'or des invertébrés** : au début des Neurosciences, les scientifiques ont cherché les préparations les plus simples et les plus aisées pour aborder le système nerveux. Au cours de la période 1930 à 2000, les invertébrés ont constitué des modèles de choix du fait de l'accessibilité des éléments constitutifs de leur système nerveux et de certaines particularités anatomiques de leurs cellules nerveuses. L'axone géant de calmar est l'élément le plus célèbre. Grâce à lui, on sait désormais comment s'effectue la conduction nerveuse. D'autres invertébrés possèdent des cellules géantes permettant d'analyser avec une grande précision les propriétés des différents éléments qui constituent la cellule nerveuse – dendrites, corps cellulaires, axones, récepteurs sensoriels, cibles musculaires – et d'étudier les activités de réseaux de neurones isolés dont l'accès se révèle très aisé... L'écrevisse, le criquet et l'aplysie font partie de ces bêtes dont l'étude s'est révélée tout à fait bénéfique pour comprendre le cerveau.

3. **La révolution génétique et ses espèces favorites** : les développements récents de la génétique ont bouleversé et révolutionné notre manière d'analyser et de conceptualiser le vivant. Dans le champ des recherches en Neurosciences, de nouvelles espèces animales dont les systèmes biologiques et la physiologie sont de nature élémentaire ont permis plus facilement non seulement de corrélérer l'expression des gènes avec les différentes fonctions physiologiques, mais aussi d'établir des relations étroites entre dysfonctionnement génomique et pathologies, qu'il s'agisse de l'animal ou de l'homme. Dans ce cadre, la mouche du vinaigre ou drosophile, certains poissons comme le poisson zèbre et la souris chez les mammifères, constituent la faune expérimentale emblématique de ce domaine d'investigation qui ne cesse de progresser.

4. **Aux racines de la pensée** : L'intelligence n'est pas que de l'homme... Elle existe à divers niveaux dans le monde animal, nous partirons des oiseaux capables déjà de produire des chants très élaborés, nous décrirons le chat et son sommeil pour terminer avec le singe, dont la vie psychique n'a pas fini de nous étonner. Une exploration vertigineuse des substrats cérébraux de nos activités conscientes et inconscientes.

Nous avons écrit cette histoire à deux : deux cerveaux et quatre mains dans le prolongement de notre encéphale ! Nous souhaitons vous distraire tout en vous apportant quelques connaissances nouvelles. Nous avons été tous deux chercheurs, nous avons enseigné et nos travaux

respectifs de recherche ont été réalisés grâce à quelques-uns des animaux que nous présentons dans cet ouvrage. L'un de nous s'est intéressé aux processus nerveux impliqués dans la motricité, alors que l'autre a plutôt analysé les mécanismes cellulaires et biochimiques du développement cérébral. Nous avons émaillé notre texte de souvenirs, d'histoires, vécus au cours de notre carrière de chercheur. Lorsque nous évoquons des événements que nous avons partagés, nous utiliserons le « nous ». S'il s'agit de faits vécus par un seul d'entre nous, le « je » sera de rigueur.

François Clarac
et Jean-Pierre Ternaux

Retrouvez tous les ouvrages de CNRS Éditions
sur notre site

www.cnrseditions.fr