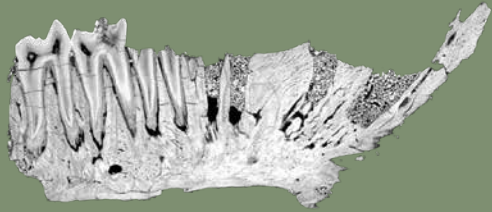
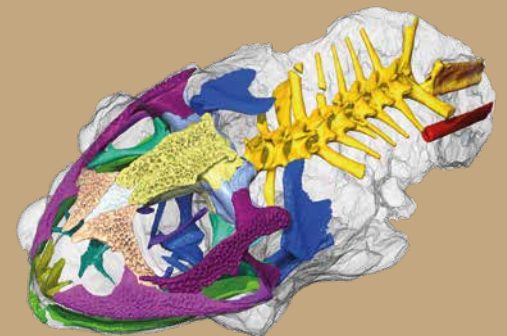
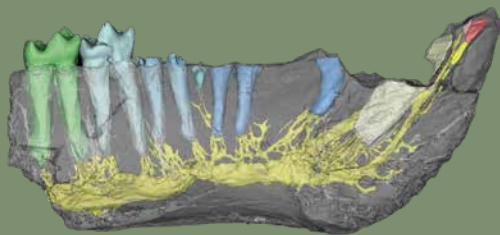


Préface de Yves Coppens
Sous la direction de Sylvain Charbonnier et Patrick De Wever



PALÉONTOLOGIE D'AUJOURD'HUI





PALÉONTOLOGIE D'AUJOURD'HUI

Sous la direction de
Sylvain Charbonnier et Patrick De Wever

En 2022, nous célébrons le bicentenaire de l'invention du mot « *paléontologie* ».

La paléontologie est une science naturelle à la croisée des chemins entre géologie et biologie. Grâce aux fossiles, elle nous permet de comprendre l'évolution de notre planète. Le paléontologue est ainsi un détective qui collecte patiemment des données lors de missions de terrain parfois lointaines, alternant entre exaltation de la découverte et rigueur scientifique. L'évolution des techniques lui offre des outils toujours plus performants pour révéler les secrets cachés de la biodiversité passée.

Plongez dans ce livre, découvrez la vie d'un laboratoire de paléontologie, de la découverte du fossile à son exposition ou sa mise en collection. Tous les acteurs sont présents : chercheurs, étudiants, enseignants-chercheurs, conservateurs, gestionnaires, dessinateurs, photographes, préparateurs ; ils vous présentent leur métier et vous racontent leurs aventures.

Prix : 34 €

ISBN : 978-2-7598-2717-6



edp sciences
www.edpsciences.org

SORBONNE
UNIVERSITÉ



CR2P



PALÉONTOLOGIE D'AUJOURD'HUI

Sous la direction de
Sylvain Charbonnier et Patrick De Wever

Photos de couverture : Toutes les photos de cette couverture et les crédits associés sont présents dans l'ouvrage

Composition et mise en pages : CB DEFRETIN

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-2717-6 – ISBN (ebook) : 978-2-7598-2718-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2022

Sommaire



Préface <i>Yves Coppens</i>	7
Préambule <i>Patrick De Wever, Sylvain Charbonnier</i>	9
Introduction <i>Patrick De Wever, Sylvain Charbonnier</i>	13

Le laboratoire 15

Un centre de recherche dédié à la paléontologie : le CR2P ! <i>Sylvie Crasquin, Angelina Bastos</i>	16
Comment le laboratoire est-il organisé ? <i>Sylvie Crasquin, Angelina Bastos</i>	18
Les équipes de recherche au sein d'un laboratoire <i>Peggy Vincent, Damien Germain, Dominique Gommery, Michel Laurin</i>	19
Qui finance notre recherche en paléontologie ? <i>Sylvie Crasquin, Angelina Bastos</i>	20
Comment est évalué le laboratoire ? <i>Sylvie Crasquin, Angelina Bastos</i>	21
Publier les résultats scientifiques <i>Patrick De Wever, Sylvain Charbonnier</i>	22
Les congrès scientifiques <i>Peggy Vincent, Angelina Bastos</i>	24
Un laboratoire franco-sud-africain <i>Dominique Gommery, Nonhlanhla Vilakazi</i>	26
Le <i>Thai-French Paleosurvey</i> <i>Valéry Zeitoun</i>	27
Un centre de ressources : la bibliothèque <i>Sophie Guillon, Marie-Astrid Angel</i>	28
Le laboratoire et les collections paléontologiques <i>Sylvain Charbonnier</i>	30
Géopatrimoine <i>Patrick De Wever, Isabelle Rouget, Sylvain Charbonnier, Grégoire Egoroff, Didier Merle</i>	32
Vigie Terre : quand citoyens et chercheurs s'associent ! <i>Isabelle Rouget, Patrick De Wever, Asma Steinhäusser, Grégoire Egoroff</i>	34
La licence : première étape pour devenir paléontologue <i>Carine Randon</i>	36
« Maman, plus tard, je serai paléontologue ! » <i>Valentin Buffa, Laura Bento Da Costa, Jean Goedert, Jordan Gônet, Guillaume Houée, Thomas Laville, Kevin Le Verger</i>	38

Le terrain 41

L'environnement de vie des premiers tétrapodes de Belgique <i>Gaël Clément, Julien Denayer, Pierre Gueriau, Sébastien Olive, Vincent Pernègre, Cyrille Prestianni</i>	42
Chine du Sud : plongée dans les mers de la fin de l'ère Primaire <i>Sylvie Crasquin, Marie-Béatrice Forel, Elvis Guillam</i>	44
Les vertébrés du bassin d'Argana : une fenêtre ouverte sur la crise permo-triasique <i>Nour-Eddine Jalil, Damien Germain, Michel Laurin, Karin Peyer, Abdelilah Tourani</i>	46
Le Royaume dans le ciel : premiers dinosaures et mammifères <i>Ronan Allain, Claire Peyre de Fabrègues</i>	48
Un plateau de fruits de mer <i>Sylvain Charbonnier, Denis Audo</i>	50
Des fossiles précisent l'histoire paléogéographique de l'Asie du Sud-Est <i>Valéry Zeitoun, Nour-Eddine Jalil, Ronan Allain, Grégoire Métais</i>	52
Les dinosaures du paradis <i>Ronan Allain, Colas Bouillet, Philippe Richir</i>	54

Les paléoécosystèmes continentaux du Crétacé des Kem Kem	56
<i>Nour-Eddine Jalil, Didier B. Dutheil, Pierre Gueriau, Gaël Clément, Sylvain Charbonnier</i>	
Le marécage fossile d'Angeac-Charente	58
<i>Lee Rozada, Ronan Allain</i>	
La Vienne : un patrimoine paléobotanique inattendu	60
<i>Anaïs Boura, Xavier Valentin, Géraldine Garcia, Ninon Robin, Jean-Marie Boiteau</i>	
Un dinosaure peut en cacher un autre !	62
<i>Jordan Gônet</i>	
Les phosphates du Maroc : à l'aube du « monde moderne »	64
<i>Nour-Eddine Jalil, Nathalie Bardet, Emmanuel Gheerbrant, Fatima Khaldoune</i>	
Tiupampa, l'essor après la crise	66
<i>Christian de Muizon, Guillaume Billet, Sandrine Ladevèze</i>	
Palette avec os !	68
<i>Grégoire Métais, Marc Godinot, Guillaume Billet, Constance Bronnert, Quentin Vautrin</i>	
Grignon, « terre sainte » de la science	70
<i>Didier Merle</i>	
Les gisements d'Oman à microvertébrés africains	72
<i>Sevket Sen, Emmanuel Gheerbrant</i>	
Des volcans éteints et des fossiles par milliers en Ouganda	74
<i>Brigitte Senut, Martin Pickford, Dominique Gommery, Laura Bento Da Costa, Loïc Ségalen</i>	
Des fossiles dans les dunes : une traversée du désert de Namibie	76
<i>Brigitte Senut, Martin Pickford</i>	
Bolt's Farm : un site paléontologique sud-africain classé par l'Unesco	78
<i>Dominique Gommery, Nonhlanhla Vilakazi, Lazarus Kgasi, Frank Sénégas</i>	
Missions en mer	80
<i>Patrick De Wever, Annachiara Bartolini, Marie-Béatrice Forel, Silvia Gardin</i>	
Les techniques	83
Extraction et préparation de fossiles de grande taille	84
<i>Colas Bouillet</i>	
Micropréparation : traitement de fossiles à petite échelle	86
<i>Yohan Despres</i>	
Mouler des fossiles pour étudier, compléter, exposer	88
<i>Jean-Charles Zajac</i>	
Microfossiles : extraction risquée	90
<i>Frank Sénégas, Anaïs Boura, Dario De Franceschi, Delphine Desmares, Marie-Béatrice Forel</i>	
Microfossiles : la boîte à outils du laboratoire	92
<i>Renaud Vacant, Maxime Lasseron, Emmanuel Gheerbrant</i>	
Microcosmos : le monde caché des micro restes de vertébrés fossiles	94
<i>Maxime Lasseron, Emmanuel Gheerbrant, Renaud Vacant</i>	
Des tranches très fines de roches pour voir par transparence	96
<i>Séverin Morel</i>	
Le microscope électronique à balayage (MEB)	98
<i>Frank Sénégas, Elvis Guillam</i>	
Les microscopes numériques, de nouveaux outils d'observation	100
<i>Dario De Franceschi, Damien Germain, Sandrine Ladevèze</i>	
Les fossiles sous le feu des projecteurs : la fluorescence	102
<i>Thomas Laville</i>	
Des préparations spécifiques pour la photographie	104
<i>Lilian Cazes, Philippe Loubry</i>	
La technologie photographique au service des fossiles	106
<i>Lilian Cazes, Philippe Loubry</i>	
Les fossiles sous tous les angles (de lumière)	108
<i>Olivier Béthoux</i>	
Quand les fossiles se font tirer le portrait	110
<i>Nathalie Poulet, Florent Goussard</i>	
De la photo au modèle 3D : la photogrammétrie	112
<i>Lilian Cazes</i>	
La tomographie à rayons X ou « l'envers des fossiles »	114
<i>Nathalie Poulet, Florent Goussard</i>	
Quand les particules s'accélèrent pour la paléontologie	116
<i>Florent Goussard, Nathalie Poulet</i>	
Les modèles 3D en paléontologie	118
<i>Florent Goussard, Nathalie Poulet</i>	
De rat de bibliothèque à pro de la souris	122
<i>Adeline Kerner</i>	
La morphométrie : les mathématiques au service de la paléontologie	124
<i>Thomas Laville, Laura Bento Da Costa</i>	

Quand la paléontologie rencontre l'ingénierie... <i>Martial Plasse, Quentin Grimal, Damien Germain</i>	126
L'infographie en paléontologie <i>Alexandre Lethiers</i>	128
Paléoart, de la science au dessin <i>Charlène Letenneur</i>	130
Illustrer la paléontologie <i>Sophie Fernandez</i>	132
Reconstituer un monde perdu <i>Christine Argot</i>	134
Faire connaître les acquis en paléontologie <i>Patrick De Wever, Sylvain Charbonnier</i>	136
Géologie et vin : des relations étiquetées <i>Patrick De Wever, Grégoire Métais</i>	138
Un musée de dinosaures à Tazouda <i>Nour-Eddine Jalil, Ronan Allain, Michel Monbaron, Armand de Ricqlès, Philippe Taquet</i>	140

Concepts et découvertes 143

Fossiles et mythes <i>Patrick De Wever, Sylvain Charbonnier</i>	144
Éléments d'histoire d'une discipline scientifique <i>Grégoire Métais</i>	146
Science versus pseudoscience... <i>Grégoire Métais, Patrick De Wever</i>	148
Le temps de la paléontologie <i>Patrick De Wever</i>	150
Dater avec les fossiles <i>Patrick De Wever, Sylvain Charbonnier</i>	152
À la Recherche du temps perdu <i>Nathalie Bardet, Peggy Vincent</i>	154
Des sites de référence pour l'échelle des temps géologiques <i>Delphine Desmares</i>	156
1, 2, 3, 4, 5... et 6 crises biologiques majeures <i>Sylvie Crasquin</i>	158
Espèce, dis-moi ton nom ! <i>Jean-Michel Pacaud</i>	160
Phylogénie, phylogénétique, quèsaco ? <i>Véronique Barriol, Pascal Tassy</i>	162
Dater l'arbre du vivant <i>Michel Laurin, Gilles Didier, Nour-Eddine Jalil</i>	164
L'ADN pour remonter le temps ? <i>Véronique Barriol</i>	166
Les coelacanthes actuels permettent de retracer l'histoire évolutive du groupe <i>Gaël Clément, Camila Cupello, Hugo Dutel, Marc Herbin, Rohan Mansuit</i>	168
Refaire le monde (ou presque) avec les fossiles <i>Sylvie Crasquin</i>	170
Les microfossiles <i>Silvia Gardin, Patrick De Wever</i>	172
La mémoire des océans <i>Béatrice Below, Delphine Desmares, Delphine Dissard</i>	174
Les moussons révélées par les radiolaires <i>Patrick De Wever</i>	176
Le climat par les feuilles <i>Anaïs Boura, Dario De Franceschi, Mélanie Tanrattana</i>	178
Les surprises des îles... <i>Grégoire Métais, Sevket Sen</i>	180
Retour à l'eau ! <i>Alexandra Houssaye, Nathalie Bardet, Peggy Vincent</i>	182
Dans l'intimité de l'os <i>Alexandra Quilhac, Guillaume Houée</i>	184
De la forme à la fonction : que nous révèlent les os du crâne ? <i>Helder Gomes Rodrigues, Sandrine Ladevèze</i>	186
L'oxygène : thermomètre des paléontologues <i>Nicolas Séon, Peggy Vincent, Sylvain Charbonnier, Romain Amiot</i>	188
Sang chaud ou sang froid ? Ce qu'en disent les os <i>Mathieu G. Faure-Brac, Jorge Cubo</i>	190
Comment se faire les dents en paléontologie ? <i>Helder Gomes Rodrigues</i>	192
À l'aube de la vie organisée sur Terre <i>Jean-Paul Saint Martin, Sylvain Charbonnier, Simona Saint-Martin, Didier Merle, Lilian Cazes</i>	194
<i>Sacabambaspis</i> et l'origine de l'os des vertébrés <i>Philippe Janvier, Damien Germain, Alan Pradel</i>	196
L'adaptation à la vie terrestre : un grand pas pour la vie <i>Michel Laurin, Olivier Béthoux, Damien Germain, Anaïs Boura</i>	198

Un cerveau de chimère fossilisé ! <i>Alan Pradel, Richard P. Dearden</i>	200
L'extinction, le microbe et l'ostracode <i>Marie-Béatrice Forel</i>	202
Les bêtes à cornes de l'Argana <i>Damien Germain, Nour-Eddine Jalil, Michel Laurin, Naïma Benaouiss, Abdelilah Tourani</i>	204
Les ostracodes jouent au Petit Poucet <i>Marie-Béatrice Forel</i>	206
Une perle du Gondwana en Chine au Jurassique ? <i>Olivier Béthoux</i>	208
Les microvertébrés fossiles d'Anoual <i>Maxime Lasseron, Ronan Allain, Emmanuel Gheerbrant, Nour-Eddine Jalil, Grégoire Métais</i>	210
Crustacés fossiles en 3D <i>Sylvain Charbonnier, Clément Jauvion, Denis Audo</i>	212
Le dernier repas d'une ammonite révélé par les rayons X <i>Isabelle Kruta, Isabelle Rouget</i>	214
Du remue-ménages chez les reptiles marins fossiles <i>Rémi Allemand, Peggy Vincent, Alexandra Houssaye, Nathalie Bardet</i>	216
Le surprenant monde microbien de l'ambre <i>Jean-Paul Saint Martin, Simona Saint Martin</i>	218
L'évolution des crocodiliens <i>Paul Aubier, Stéphane Jouve, Johann Schnyder, Jorge Cubo</i>	220
Les étonnantes bêtes des phosphates du Maroc <i>Nour-Eddine Jalil, Nathalie Bardet, Emmanuel Gheerbrant, Fatima Khaldoune</i>	222
Des baleines dans le désert <i>Christian de Muizon</i>	224
Zoom sur les environnements fossiles du Bassin parisien <i>Emmanuel Gheerbrant, Constance Bronnert, Dario De Franceschi, Grégoire Métais, Floréal Solé, Marc Godinot</i>	226
Des fleurs, des fruits, des graines fossiles <i>Dario De Franceschi, Cédric Del Rio</i>	228
Avec le temps, les couleurs passent, mais ne trépassent... <i>Didier Merle</i>	230
Les mondes perdus de l'Indus <i>Grégoire Métais, Jean-Loup Welcomme, Dario De Franceschi, Pierre-Olivier Antoine, Laurent Marivaux</i>	232
Notre ancêtre <i>Orrorin</i> <i>Brigitte Senut, Martin Pickford, Dominique Gommery</i>	234
À la recherche des anciens « points chauds » de la biodiversité marine <i>Didier Merle</i>	236
Le Grand Remplacement <i>Sevket Sen, Grégoire Métais</i>	238
Faire du neuf avec du vieux <i>Sandrine Ladevèze, Charlène Selva, Kévin Le Verger, Christian de Muizon</i>	240
Nouveau millésime à Palette <i>Guillaume Billet, Emmanuel Gheerbrant, Johan Yans, Rodophe Tabuce, Grégoire Métais</i>	242
Une faune tropicale africaine fossile dans la péninsule Arabique <i>Emmanuel Gheerbrant, Sevket Sen</i>	244
Primates fossiles : précieux et rares, comme les diamants ! <i>Brigitte Senut</i>	246
Le retour des momies <i>Alfred Lemierre, Michel Laurin</i>	248
Bois fossile et mousson asiatique <i>Anaïs Boura, Nicolas Gentis, Dario De Franceschi, Alexis Licht</i>	250
Coup de jeune pour le mammoth <i>Christine Argot</i>	252

Annexes

Remerciements	255
Listes des auteurs	257
Index	259
Glossaire	263
Crédits photo	269

Préface



Yves Coppens

Je suis paléontologue. Je nage donc ici dans des eaux qui sont les miennes et je suis d'autant plus heureux d'y saluer, tout de suite, les deux collègues, Patrick De Wever et Sylvain Charbonnier, auteurs et directeurs de ce livre collectif, *Paléontologie d'aujourd'hui*, pour la manière inédite dont ils ont osé jeter d'emblée le lecteur dans un des plus grands laboratoires de paléontologie du monde, le leur, dit CR2P (Centre de Recherche en Paléontologie - Paris), établissement alliant le Muséum national d'histoire naturelle, Sorbonne Université et le Centre National de la Recherche Scientifique, en d'autres termes la conservation, l'enseignement et la recherche.

La paléontologie est la science qui a pour mission de rechercher toutes les traces de ce qui a été la vie sur la Terre, et, les ayant trouvées, de les décrire, de les interpréter et d'en déduire leur histoire. Pour l'exercer, il convient évidemment de disposer de ces traces que l'on nomme fossiles ; il faut donc aller les chercher dans les sédiments qui les emballent et les conservent. On comprend immédiatement que paléontologie signifie géologie obligatoire en amont, biologie obligatoire en aval, terrain en amont, labo en aval. C'est donc une bien belle discipline, à la fois science de la Terre et science de la Vie, maîtresse du temps et responsable de l'écriture de l'histoire d'un phénomène de 4 milliards d'années, patrimoine de notre planète, pour le moment sans partage.

Que peut-on s'attendre, par suite, à rencontrer quand on entre dans un laboratoire de paléontologie ? En vrac, des chercheurs et des enseignants, des ingénieurs et des gestionnaires, des étudiants d'ici et d'ailleurs et beaucoup de fossiles de toutes sortes et de tous âges, encore enveloppés dans leurs vêtements de voyages ou déjà déshabillés de ces précieux scaphandres. Et tous ces êtres, vivants à l'ouvrage ou éteints, en garde à vue, coexistent dans une ambiance passionnée ; elle est fiévreuse, exaltée ou méditative chez les vivants, suivant que le chercheur que vous croisez part en mission, vient de lire la réponse qu'il espérait d'une machine ou s'efforce de comprendre ce que lui racontent les sacrosaintes « données » qu'il vient d'acquiescer ; elle est inerte, mais éclatante, chez les

éteints, tellement éloquente, en effet, par la beauté de leurs formes, de leurs structures, de leurs couleurs, de leur patine, et par l'arrogance de leurs âges.

En donnant la parole à tous les membres de leur laboratoire, Patrick De Wever et Sylvain Charbonnier sont ainsi parvenus, de manière habile et efficace, à faire apparaître toute la diversité des activités de cette discipline et, par suite, de ce lieu clos qui l'abrite, alors qu'elle est l'expression de bien des actions qui se passent ou se sont passées ailleurs. C'est ici, en effet, que l'on réfléchit à une problématique de recherche, mais c'est ailleurs que l'on s'en va chercher les matériaux pour la tester. C'est ailleurs, si l'on a chance et ténacité, que l'on trouve ces matériaux, mais c'est ici qu'on les rapporte pour les faire parler. Et c'est ici, bien avant de partir pour ceux qui partent et qu'après être rentrés pour ceux qui reviennent gagnants, que l'on trouve les collaborations administratives, techniques ou intellectuelles nécessaires au bon aboutissement de la problématique proposée. L'œuvre scientifique est ainsi au cœur d'un tel dispositif et tout est fait pour en aider la réalisation, de l'idée à la recherche du fossile, de la récolte de ce dernier à sa lecture, et de la mise en forme de cette dernière à sa publication, puisque l'écrit est la manière de jeter ce que l'on a découvert au pot mondial commun de la connaissance pour le faire valider et faire avancer la science.

Pour illustrer nos propos, jetons un œil amusé sur l'apparent fatras des entrées des chapitres de cet étonnant assemblage : dans la rubrique *Le laboratoire*, on trouvera « Qui finance notre recherche ? », « Comment est évalué notre laboratoire ? », « La bibliothèque » ; dans la rubrique *Le terrain*, on trouvera d'abord « Pourquoi des missions... ? » puis une sélection de terrains paléontologiques « Des volcans éteints et des fossiles », « Les gisements d'Oman à microvertébrés », « un plateau de fruits de mer » ; dans la rubrique *Techniques*, on trouvera « Extraction et préparation de fossiles », « Quand les fossiles se font tirer le portrait », « Paléoart, de la science au dessin », « La tomographie à rayons X ou l'envers des fossiles » « Géologie et vin : des relations étiquetées » ; dans la rubrique *Concepts et découvertes*, on trouvera pêle-

mêle « L'oxygène : thermomètre des paléontologues », « Un cerveau de chimère fossilisé ! », « Du remue-méninges chez les reptiles marins fossiles », « Bois fossile et mousson asiatique »... J'ai délibérément exagéré le trait pour souligner la multiplicité des facettes de semblable organisation et celle de leurs fonctions. Cet ensemble donne, en fait, mieux que tout discours, une idée de ce par quoi il convient de passer pour se rendre de l'apprentissage à la profession (c'est un lieu d'enseignement), du projet à son exécution (c'est un lieu de recherche), du terrain au fossile, et du fossile à sa préparation, son étude et sa publication (c'est un lieu de diffusion).

Une des questions que le public se pose est quelque chose du genre : « Que peut bien faire du matin au soir un paléontologue sur le terrain et puis un paléontologue avec son fossile dans

son laboratoire ? » La réponse est ici, au fil des couloirs et au gré des rencontres de leurs habitants. Et les heureux auteurs, inventeurs de cette idée de faire, pour les jeunes vocations ou les moins jeunes passions, le tour de labo, ont choisi le centenaire de la création du joli mot de « paléontologie » – Henri-Marie Ducrotay de Blainville, 1822 – pour s'y risquer.

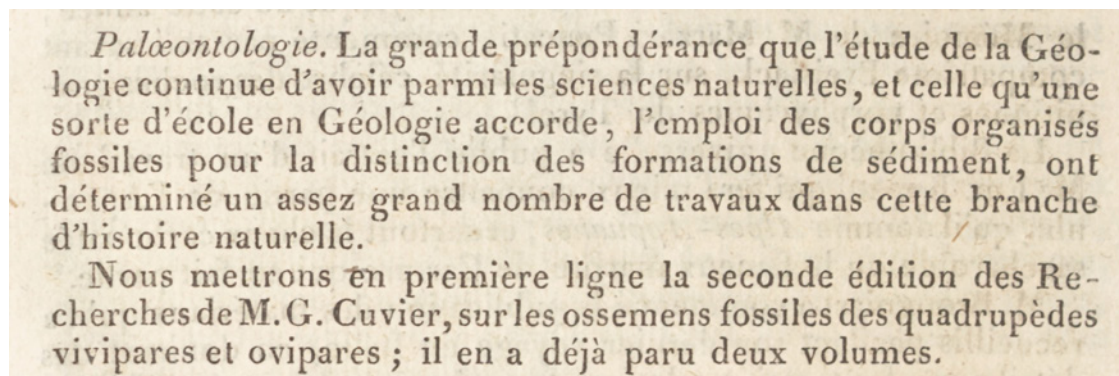
Merci et compliments à Patrick De Wever et Sylvain Charbonnier pour la manière originale de célébrer l'anniversaire de ce néologisme qui, aujourd'hui, couvre le monde ; ils ont construit un livre superbe, riche de textes courts et limpides et d'images pleines de sens et de couleurs, et merci, bien évidemment, à tous les membres du CR2P – il y en a 80 – d'avoir bien voulu jouer le jeu et raconter leur rôle dans cette institution. Et merci enfin aux mêmes de m'avoir offert le privilège d'ouvrir leur encyclopédie.

Préambule



Pour le bicentenaire de la première mention du mot « paléontologie », par Henri Ducrotay de Blainville en 1822, il est apparu opportun de présenter comment cette discipline, à la croisée de la géologie et de la biologie, se pratique aujourd'hui.

Les fossiles ont depuis longtemps reçu une sorte d'aura mystérieuse. Leur étude est aujourd'hui bien plus rationnelle. Elle nécessite l'emploi de méthodes spécifiques dans un contexte administratif bien contraint.



▲ Première mention du mot *palæontologie* publié en janvier 1822 par Henri-Marie Ducrotay de Blainville dans le *Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle* (page liv). Il évoque dans le deuxième paragraphe les travaux de celui qui fut son maître : Georges Cuvier.

Un monde de curiosités et d'esthétisme

Par leur dimension symbolique, les fossiles fascinent bien des amateurs et motivent leurs prospections passionnées. Cette passion débouche parfois sur un intérêt scientifique. Les grandes collections académiques (musées, universités) ne sont-elles pas généralement héritières de « cabinets de curiosités » du XVIII^e siècle ? Cet intérêt va du modeste coquillage jusqu'à la belle pièce qui peut se vendre très cher. Un squelette de *Tyrannosaurus rex*, appelé Stan, a été adjugé pour 27 millions d'euros le 6 octobre 2020 dans la salle des ventes Christie's, à New York. Sans aller jusqu'à ces extrémités commerciales, et sans parler des salons aux fossiles et minéraux qui fleurissent çà et là, il est évident que les fossiles revêtent plusieurs types d'intérêts. Ces formes ont depuis longtemps suscité bien des interrogations et ont été à l'origine de noms évocateurs, d'usages plus ou moins fantaisistes, de nombreux mythes, voire intégrés à des religions.

Du fait de leur mystère et de leur beauté, ces témoins de la vie passée ont été largement utilisés comme parures, bijoux

ou amulettes. Et ils le sont encore. C'est sans doute pour cette raison que des fossiles, vraisemblablement apportés par des Néandertaliens, ont été découverts dans les niveaux préhistoriques d'une grotte à Arcy-sur-Cure (Yonne). Dans ce secteur, l'une des grottes est appelée « grotte du trilobite », car elle a livré cet arthropode fossile dans un niveau magdalénien (Paléolithique supérieur, -17 000 à -12 000 ans). Le trilobite provient forcément d'une autre région, car on ne connaît pas de couches susceptibles de livrer de tels fossiles dans l'Yonne, ni même à l'échelle de la Bourgogne. Un niveau magdalénien comparable sur un autre site de Bourgogne a également livré un fossile de brachiopode gravé, de surcroît, d'une figure humaine.

Bien plus précocement encore, en Ariège, des dents de requin percées provenant d'un site distant de plus de 150 kilomètres ont été utilisées comme pendentifs à l'Aurignacien (entre -43 000 et -31 000 ans), époque de l'arrivée de l'homme moderne (*Homo sapiens*) en Europe.

Est-ce la forme ou la surface marron glacé de beaucoup de ces

fossiles qui plaisait aux humains du Paléolithique ? Ou est-ce parce que, comme on le voit encore écrit de nos jours, ces formes protégeaient des « énergies négatives » ? Personne ne le sait. Mais ces objets retenaient l'attention de nos ancêtres préhistoriques : ils ont été retrouvés sur de nombreux sites en Europe. Des oursins fossiles perforés ont été utilisés comme parures ou amulettes du Paléolithique à l'époque gallo-romaine.

La forme lisse et arrondie des dents palatines de poissons fossiles les a fait interpréter comme des yeux de crapaud (d'où leur nom de « crapaudines »), supposés guérir des empoisonnements. Cette énumération ne peut se terminer sans évoquer les célèbres ammonites qui doivent leur nom à leur forme évoquant les cornes de bélier du dieu égyptien Ammon. Pour certains, les ammonites sont des cornes de dragons. Les fossiles occupent aussi une place de choix dans la pharmacopée populaire.

Les fossiles sont esthétiques et, à ce titre, considérés comme des objets décoratifs. L'enroulement des ammonitoïdes a provoqué plus d'un émoi esthétique et excité plus d'un mathématicien tant son harmonie est troublante.

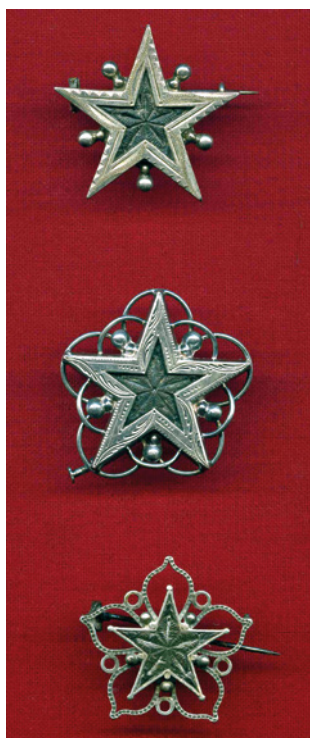
Dans le sud-est de la France, dans la région de Digne-les-Bains, des articles de tige de crinoïde du Jurassique inférieur sont appelés « étoiles de Saint-Vincent ». Leur forme en étoile à cinq branches leur confère des propriétés universelles et

un peu magiques (l'*Homme de Vitruve* de Léonard de Vinci, l'étoile des Compagnons du devoir, le nombre d'or...). Ces fossiles étaient suspendus dans les maisons et étaient supposés protéger de maléfices, d'animaux venimeux, de poisons et toutes sortes de vermines. Ils ont aussi servi de signe de reconnaissance pour les Dignois émigrés au Mexique au XIX^e siècle. Leur popularité était telle qu'un bijoutier fit fortune en les montant en bijoux.

La seule forme des fossiles éveille un intérêt, mais ce peut être aussi la couleur du matériau qui les constitue ou encore l'association des formes et des couleurs. C'est pour cette raison que se vendent des tranches de troncs silicifiés d'araucaria du Trias d'Arizona ou des vases en calcaire à brachiopodes.

Les fossiles sont souvent utilisés comme bijoux (les colliers, bracelets, pendentifs d'ambre en sont le cas le plus connu). Ils sont aussi attractifs en tant qu'arguments publicitaires, sans qu'il soit toujours facile d'en comprendre la logique sous-jacente. Ainsi un estaminet alsacien associe-t-il un dinosaure à l'onglet à l'échalote (!), une marque de mode qui produit des montres ou des lunettes de soleil a choisi de se nommer *Fossil*, un modèle de pipe aussi porte ce nom...

Au-delà des légendes ou des utilisations qui prêtent à sourire, les fossiles ont d'autres intérêts beaucoup plus concrets, que ce soit pour l'industrie, l'aménagement du territoire ou la justice.



◀ Quelques bijoux « étoiles de Saint-Vincent ». Les fossiles de crinoïdes (*Pentacrinus tuberculatus* du Sinémurien, -195 millions d'années), au centre du bijou, sont magnifiés par le travail d'orfèvrerie en argent (musée Gassendi, Digne-les-Bains).



◀ Vase taillé dans un calcaire constitué de l'accumulation de coquilles de brachiopodes (les motifs blancs). Marché de Dali, Yunnan, Chine.



◀ Tronc silicifié d'Araucaria de la Forêt pétrifiée (parc national, Arizona). Les cernes d'une tranche de bois sont encore bien visibles. La pétrification en silice y a apporté des couleurs variées liées aux impuretés, notamment en fer.

Un monde intrigant

Depuis longtemps, les fossiles ont suscité des questions. Pour les Grecs par exemple, l'ambre, résine durcie contenant parfois des insectes, représentait des larmes de nymphes, du suc de Soleil ou encore de l'urine de lynx ! Pour le Romain Pline l'Ancien, les dents de requins fossiles étaient des langues pétrifiées (glossopètres) tombées du ciel lors des éclipses de Lune.

Néanmoins dès l'Antiquité grecque, aux IV^e et V^e siècles avant notre ère, des philosophes (Xénophane de Colophon, Pythagore ou Hérodoté) envisageaient déjà les coquillages pétrifiés comme des restes d'organismes ayant vécu autrefois.

Le Moyen Âge apporte son lot d'explications sur les fossiles. Ainsi certains ossements de grands vertébrés mastodontes sont identifiés comme restes de géants, ou de dragons terrassés par des saints. Le mythe du cyclope pourrait n'être dû qu'aux restes de crânes d'éléphants nains, présentant un trou central, correspondant à la trompe mais qui a été interprété comme un gros œil au milieu du front. À la même époque, en Angleterre, les ammonites étaient considérées

comme des serpents pétrifiés ayant perdu leur tête. La légende raconte qu'à la fin du VII^e siècle, sainte Hilda avait débarrassé la contrée de ses serpents en les pétrifiant ; depuis, trois ammonites figurent sur les armes de la ville de Whitby. Une ammonite est appelée *Hildoceras*, en l'honneur de cette sainte.



▲ Le blason de la petite ville de Whitby où les roches du Jurassique sont très fossilifères. Les ammonites sont bien présentées comme des corps de serpents (avec la tête et la langue).



▲ Les coquilles d'ammonites, aux nombreux tours, ont longtemps évoqué un serpent lové (*Hildoceras bifrons*) du Jurassique (environ -180 millions d'années).

La Renaissance apporte son lot d'idées éclairées. Léonard de Vinci et Bernard Palissy affirment que les fossiles sont bien des restes d'organismes. Ambroise Paré n'est pas en reste en dénonçant les fantaisies qui concernent la licorne par exemple. Toutefois, les légendes ont la vie dure et elles persisteront encore longtemps.

Un monde scientifique

Avec le Siècle des lumières, les fossiles deviennent des objets de curiosité scientifique. Selon une conception alors très répandue, ces restes seraient ceux d'animaux ayant péri lors du Déluge. Cette interprétation avait le double avantage de correspondre au récit biblique et d'expliquer pourquoi des coquillages ou des poissons étaient retrouvés en haut des montagnes.

À la fin du XVIII^e siècle, Buffon apporte deux éléments décisifs : il « allonge » considérablement l'âge de la Terre (elle passe de 6 000 à plus de 50 000 ans) et cet apport est déduit de travaux expérimentaux. Outre l'idée du « temps profond », il introduit la démarche scientifique. L'idée que les fossiles sont des restes d'organismes se répand et finit par être admise par (presque) tout le monde.

Dès lors, le débat s'oriente vers les modalités des changements, par continuum ou par saltation. Les discussions qu'animent notamment Lamarck, Cuvier, Lyell sont acharnées, les confrontations d'idées parfois brutales, mais ce sont ces débats qui font avancer la science. Une étape majeure sera la publication par Charles Darwin de son livre sur l'évolution des espèces.

Le Siècle des lumières n'est pas exempt d'exemples où les convictions sont plus fortes que la raison. Ainsi Voltaire, esprit critique s'il en est, continuait à voir dans les fossiles du Mont Cenès, des jeux de la nature ou des restes culinaires de pèlerins.

Aux XVII^e et XVIII^e siècles, les fossiles occupent une place de choix dans les cabinets de curiosités, pourtant leur origine prête encore souvent à des interprétations saugrenues : essais du Créateur (des ratés en quelque sorte !), objets diaboliques, générations spontanées ou jeux de la Nature...

Il préférerait cette proposition, car il voulait à tout prix en éviter une autre, qui puisse être attribuée à des manifestations divines, que ce soit le Déluge ou la Création. Son a priori philosophique ne le laissait pas libre.

À partir du XIX^e siècle, les fossiles seront utilisés pour connaître l'histoire de la vie (versant biologique de la paléontologie) et pour reconstituer les environnements anciens ainsi que la datation des événements (versant géologique de la paléontologie).

Aujourd'hui, les paléontologues retracent l'histoire de la vie et l'évolution des lignées d'êtres vivants à partir des formes fossiles et d'indices indirects que nous livrent des analyses physiques et chimiques en utilisant des techniques de plus en plus sophistiquées.

Pendant longtemps ont prévalu des déclarations qui correspondaient à de simples opinions, ou à des observations. Aujourd'hui, les opinions sont exclues du domaine de la science. Celle-ci est caractérisée par sa démarche, plus que par ses connaissances, qui n'en sont que le résultat. La démarche est basée sur le raisonnement. L'expérimentation et la réfutabilité des arguments y ont une place privilégiée.

La vaste fresque qui se dessine fait ressortir que l'Homme, pour singulier qu'il soit, n'est qu'un élément, récent et somme toute mineur, du paysage. Pourtant, il affiche une propension certaine à étendre son emprise sur la Terre.

Introduction



Trouver un fossile est une chose extraordinaire, car il a fallu une succession d'événements favorables : qu'un organisme mort ne soit pas détruit, puis qu'il soit conservé sans être cassé ni dissout au cours de millions de siècles. Il faut ensuite que la couche qui le contient soit ramenée en surface et *in fine* que l'objet soit retrouvé.

Les fossiles revêtent des aspects qui relèvent du mystère, de l'esthétique pour tout un chacun. Pour le paléontologue s'y ajoutent des facettes scientifiques qui révèlent des mondes passés qui intriguent tout autant. L'attention du public est attirée pour diverses raisons. Parfois, ce sont des résultats nouveaux, dans des publications scientifiques spécialisées, parfois ce sont des informations surprenantes qui sont présentées dans des médias, d'autres fois encore il s'agit d'une présentation générale de la démarche, de ses thèmes, dans des manuels destinés aux étudiants ou aux collègues. À notre connaissance, il n'existait aucun ouvrage qui présente de manière accessible au plus grand nombre, l'ensemble des démarches et des acteurs de cette discipline scientifique. C'est une lacune que nous avons voulu combler à partir de l'exemple d'un des plus grands laboratoires de paléontologie de France, le Centre de Recherche en Paléontologie - Paris (CR2P), qui est une unité de recherche qui associe le Muséum national d'histoire naturelle, Sorbonne Université et le Centre National de la Recherche Scientifique. Cette Unité mixte de recherche (UMR 7207) regroupe une centaine de personnes.

Nous avons voulu présenter les diverses facettes de ce qui constitue les travaux en paléontologie, de l'organisation administrative à la publication, en passant par le terrain, les techniques d'études, des résultats obtenus, jusqu'à la

publication. Pour montrer que la recherche est un travail d'équipe, nous avons choisi de faire intervenir les différents agents qui interviennent : personnels administratifs, techniques et scientifiques. Il a été proposé à chaque membre du laboratoire d'intervenir pour présenter sa spécialité (administrative, technique ou scientifique), seul ou avec des co-auteurs. Cet éventail d'interventions illustre la palette des activités et prouve que la démarche scientifique est, d'une part, loin de l'opinion personnelle, et, d'autre part, qu'elle nécessite une temporalité assez longue.

Pour une accessibilité au plus grand nombre, nous avons effectué des choix dans la présentation. Ces choix apparaissent facilement en feuilletant l'ouvrage : des entrées courtes avec de grandes illustrations commentées. Nous avons privilégié un langage simple, en essayant d'éviter le piège du jargon de spécialiste. Ainsi, nous avons par exemple choisi de parler des ères Primaire, Secondaire et Tertiaire, plutôt que Paléozoïque, Mésozoïque et Cénozoïque qui sont aujourd'hui utilisées, même si nous savons que le Cénozoïque n'est pas exactement égal au Tertiaire puisqu'il comprend le Quaternaire, aujourd'hui relégué au niveau du « système » et non plus de « l'ère » (Cénozoïque = Tertiaire + Quaternaire). Nous avons aussi choisi de ne pas mettre de références bibliographiques dans le texte, habitude chère aux scientifiques, mais qui rend le texte moins accessible quand le lecteur n'y est pas habitué.

Ce livre est destiné à un large public et aux jeunes générations. Il ne s'agit donc pas d'un traité de paléontologie. Pour que l'ouvrage soit interactif, nous avons inséré ici et là des QR codes¹ qui renvoient à des vidéos, des animations, ou des pages web de notre laboratoire.

1. Si un QR code ne fonctionne pas ou si vous préférez consulter les ressources en ligne depuis un ordinateur, vous pouvez aller sur la page suivante : <https://paleo.mnhn.fr/fr/paleontologie-aujourd'hui-6727>





Le laboratoire



Quand on parle de recherche, presque automatiquement est utilisé le mot laboratoire. Mais que recouvre précisément ce vocable ? Nous avons voulu présenter ici ce que représente notre « laboratoire » de paléontologie, avec ses composantes (administratives, financières, techniques), son contexte, son organisation, son fonctionnement, ses missions (recherche, enseignement, diffusion), ses moyens.

◀ Entrée du laboratoire de paléontologie, site du Jardin des Plantes, Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

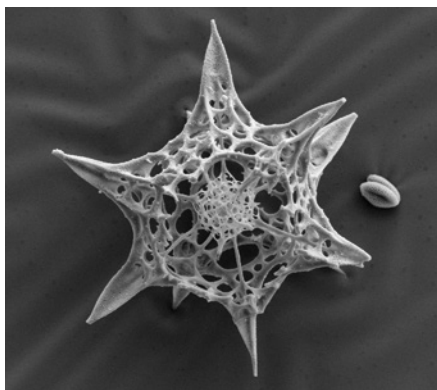
Un centre de recherche dédié à la paléontologie : le CR2P !

Le Centre de Recherche en Paléontologie – Paris (CR2P) est un laboratoire qui associe des personnels de plusieurs organismes. Il est ainsi appelé Unité Mixte de Recherche (UMR).

En savoir plus



▲ Logo du Centre de Recherche en Paléontologie – Paris.



▲ **De l'infiniment petit...** *Triassospongospharea latispinosa*. Radiolaire du Jurassique inférieur de Turquie (environ -220 millions d'années). Photo MEB, distance entre les extrémités d'épines opposées : 0,2 mm.

► **...à l'infiniment grand.**

Diplodocus carnegii surnommé « Dippy », un moulage historique dans la galerie de Paléontologie du Muséum national d'histoire naturelle (27 m de long et 4 m de haut). Réplique du spécimen original conservé à Pittsburgh (USA). Jurassique supérieur d'Amérique du Nord (entre -136 et -148 millions d'années).

L'unité mixte de recherche est une structure où travaillent ensemble une centaine de personnes qui dépendent du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) et de Sorbonne Université (SU). Ces établissements sont les tutelles. Les personnels, permanents ou contractuels, sont des chercheurs et enseignants-chercheurs, des ingénieurs et des techniciens. Tous forment une chaîne permettant à l'unité de mener à bien tous les aspects de ses missions.

La paléontologie est la thématique principale de l'unité. Cette science est l'étude de toutes les traces de vie sur Terre enregistrées dans les roches. Les fossiles sont des restes, minéraux ou organiques, d'anciens organismes, ou de leurs traces, conservés dans les roches sédimentaires. Leur taille va du gigantesque (tels des dinosaures de plusieurs dizaines de mètres) à l'infiniment petit (plancton ou bactéries de 0,002 mm). Ils concernent tant des animaux que des végétaux, des champignons et des bactéries qui vivaient depuis plus de 600 millions d'années jusqu'à nos jours. Cette perspective montre l'étendue du champ d'application de la discipline.

Le but est de comprendre l'histoire du vivant depuis ses origines en analysant les relations de parenté entre les organismes et les variations des paléoenvironnements qui ont influé sur leur évolution.

La recherche comporte des chantiers de collectes de fossiles sur le terrain aux quatre coins du monde et des études de spécimens conservés en collections.



Vue artistique montrant différents sujets d'étude du CR2P. ►



Comment le laboratoire est-il organisé ?

La recherche se développe au sein d'équipes. Les services techniques et administratifs viennent en soutien. Le directeur d'unité est le chef d'orchestre de ce collectif.

Un laboratoire de recherche est piloté par un directeur. Ce scientifique a candidaté et a été élu en assemblée générale par le personnel de l'unité.

Le directeur propose la politique de recherche de l'unité en adéquation avec les compétences disponibles et les orientations des établissements de tutelles.

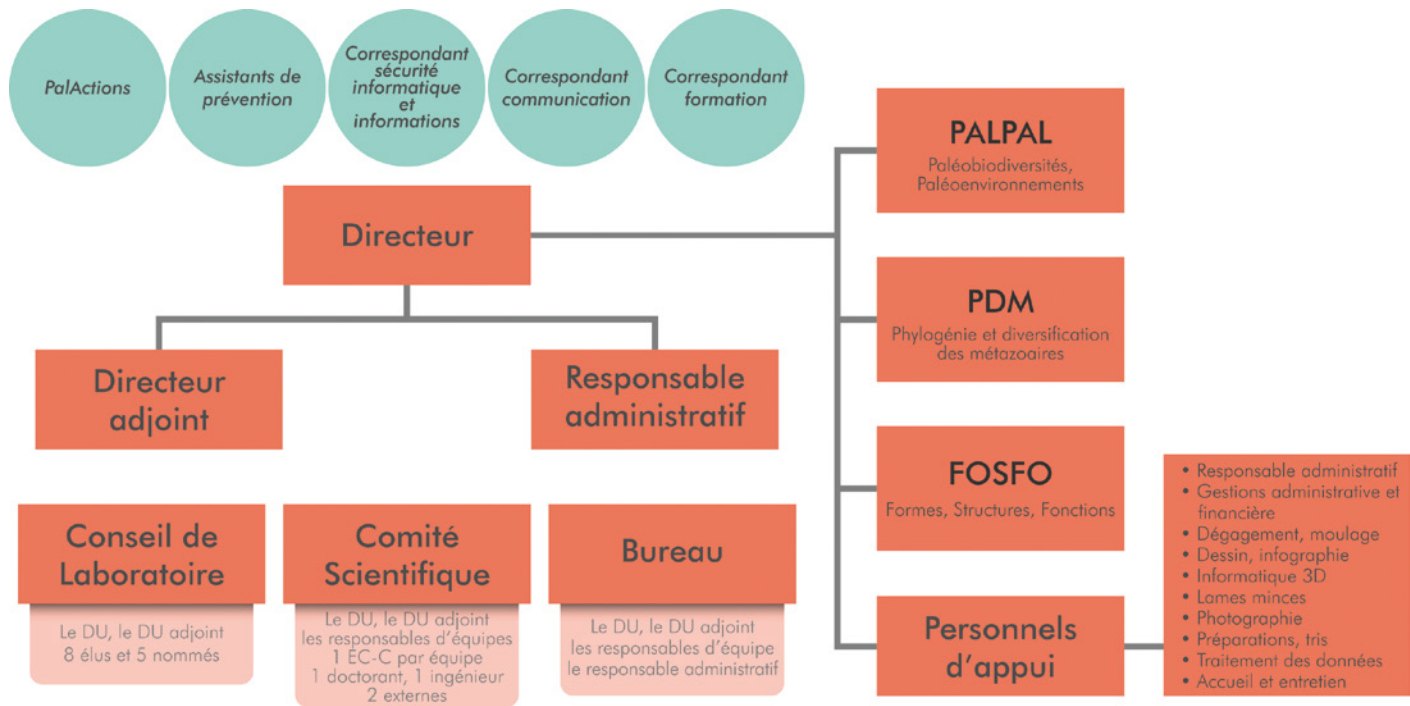
Le comité de direction comprend le directeur, le directeur adjoint et le responsable administratif. Avec les responsables d'équipe, ils forment le bureau. Le directeur est responsable de l'ensemble des personnels rattachés à l'unité.

Pour traiter les dossiers, il prend avis auprès du Conseil de l'unité où siègent des représentants des personnels. Un Comité scientifique prépare les réunions du Conseil de laboratoire sur les recrutements à prévoir, le choix des sujets de thèses, l'achat d'instruments d'analyses...

Des référents internes aident la direction sur des questions spécifiques (communication, formation, sécurité informatique). Des assistants de prévention travaillent de manière coordonnée au sein de la cellule hygiène et sécurité pour conseiller et assister la direction dans la mise en œuvre de mesures de prévention.

Les scientifiques mènent leurs projets de recherche au sein d'équipes. Ils y encadrent et forment des doctorants. À leurs côtés, les personnels d'appui sont répartis dans des services. L'apport de leurs compétences et savoir-faire est essentiel à la gestion des projets.

▼ Organigramme du Centre de Recherche en Paléontologie – Paris



Crédits photos



p. 9 © domaine public ; p. 10 © M. Gassendi. ; p. 10 © P. De Wever ; p. 11 © D. Schwen, cc-by-sa 3.0 ; p. 11 © R. Jaffré.

Le laboratoire

p. 15 © P. Loubry ; p. 16 © P. De Wever ; p. 16 © L. Cazes ; p. 17 © direction de l'UMR 7207 d'après des illustrations de S. Fernandez, C. Letenneur et A. Lethiers ; p. 18 © A. Lethiers ; p. 19 © S. Crasquin, D. De Franceschi, D. Desmares, S. Charbonnier / montage : © A. Lethiers ; p. 19 © F. Chevrier ; p. 19 © D. Germain ; p. 20 © A. Lethiers ; p. 21 © A. Lethiers ; p. 22 © Éditions du Muséum ; p. 22 © P. Gueriau ; p. 23 © J. Falconnet ; p. 23 © A. Lethiers ; p. 24 © G. Clamouze ; p. 24 © G. Clamouze ; p. 25 © L. Cazes ; p. 26 © D. Gommerly – IRL Homen CNRS-NRF ; p. 27 © Thai-French Paleosurvey ; p. 28 © S. Guillon ; p. 28 © S. Guillon ; p. 29 © L. Cazes ; p. 30 © L. Cazes ; p. 30 © L. Cazes ; p. 31 © L. Cazes ; p. 32 © C. Gaillard ; p. 32 © A. Lethiers ; p. 33 © P. De Wever ; p. 33 © A. Cornée ; p. 33 © P. De Wever ; p. 33 © M. Guiomar/RGHP ; p. 34 © Vigie-Terre ; p. 34 © X. Valentin, Université de Poitiers pour PALAIOS ; p. 35 © J.-P. Baut ; p. 35 © G. Egoroff ; p. 36 © C. Randon ; p. 36 © C. Randon ; p. 37 © C. Randon ; p. 37 © C. Randon ; p. 38 © G. Houée ; p. 39 © J. Gônet, K. Le Verger, L. Bento Da Costa, J. Goedert, R. Allain.

Le terrain

p. 40 © L. Cazes ; p. 42 © J. Vekemans, P. Loubry ; p. 42 © S. Fernandez ; p. 43 © J. Vekemans, C. Letenneur ; p. 44 © S. Crasquin ; p. 44 © A. Lethiers ; p. 45 © S. Crasquin, M.-B. Forel ; p. 46 © A. Tourani ; p. 46 © A. Lethiers ; p. 47 1,2 : © J.-L. Charnais ; 3, 4 : © K. Peyer ; p. 48 © S. Fernandez ; p. 48 © P. Loubry ; p. 49 © R. Allain ; p. 49 © R. Allain ; p. 50 © S. Charbonnier ; p. 50 © E. Porez ; p. 51 © L. Cazes ; p. 53 © S. Fernandez (organismes) et A. Lethiers (cartes) ; p. 54 © Mazan ; p. 54 © R. Allain ; p. 55 © R. Allain ; p. 55 © R. Allain ; p. 56 © P. Loubry ; p. 56 © P. Loubry ; p. 57 © H. Bourget ; p. 58 © R. Allain et F. Goussard ; p. 58 © L. Bocat ; p. 59 © L. Cazes ; p. 60 © L. Cazes ; p. 60 © A. Boura ; p. 61 © A. Montaufier/Liséa/Palaios ; p. 62 © R. Cottureau ; p. 62 © M. Aladini ; p. 63 © F. Goussard ; p. 64 © A. Lethiers ; p. 64 © D. Visset ; p. 65 © C. Letenneur ; p. 66 © G. Billet ; p. 66 © C. Lemzaouda ; p. 67 © C. de Muizon ; p. 68 © documents d'archéologie méridionale ; archives de la Bibliothèque-cartothèque de l'observatoire de Lyon ; p. 68 © G. Métais ; p. 69 © A. Lethiers ; p. 69 © P. Loubry ; p. 69 © S. Fernandez ; p. 70 © D. Merle ; p. 71 © P. Loubry ; p. 72 © E. Gheerbrant ; p. 72 © E. Gheerbrant ; p. 72 © H. Thomas ; p. 73 © E. Gheerbrant ; p. 74 © P. Loubry, D. Gommerly ; p. 74 © B. Senut ; p. 75 © B. Senut ; p. 76 © B. Senut ; p. 76 © B. Senut ; p. 77 © B. Senut ; p. 77 © B. Senut ; p. 78 © D. Gommerly – IRL Homen CNRS-NRF ; p. 78 © D. Gommerly – IRL Homen CNRS-NRF ; p. 79 © D. Gommerly – IRL Homen CNRS-NRF ; p. 80 © P. De Wever ; p. 80 © P. De Wever ; p. 80 © A. Bartolini, A. Lethiers ; p. 81 © Nilsog, CC BY-SA 4.0 ; p. 81 © A. Sakaguchi & IODP/TAMU, CC-BY-SA.

Les techniques

p. 82 © L. Cazes ; p. 84 © C. Bouillet ; p. 85 © L. Cazes ; p. 86 © L. Cazes ; p. 86 © L. Cazes ; p. 87 © P. Loubry, J. Falconnet ; p. 88 © L. Cazes ; p. 88 © L. Cazes ; p. 88 © L. Cazes ; p. 89 © L. Cazes ; p. 90 © J. Dejax ; p. 91 © D. Desmares ; p. 91 © M.-B. Forel ; p. 91 © C. Randon ; p. 92 © R. Vacant ; p. 92 © R. Vacant ; p. 93 © E. Gheerbrant ; p. 93 © R. Vacant ; p. 93 © E. Gheerbrant ; p. 94 © E. Gheerbrant ; p. 94 © M. Lasserone ; p. 95 © R. Allain, M. Lasserone ; p. 96 © D. Dutheil ; p. 96 © J.-P. Saint Martin ; p. 97 © L. Cazes ; p. 98 © atelier Doisneau, F. Dérouville, E. Guillaum ; p. 98 © E. Guillaum ; p. 99 © E. Guillaum, S. Gardin, F. Sénégas, D. Desmares ; p. 100 © E. Porez ; p. 100 © S. Ladevèze ; p. 101 © D. De Franceschi ; p. 102 © T. Laville ; p. 103 © T. Laville ; p. 104 © P. Loubry ; p. 104 © L. Cazes ; p. 105 © P. Loubry, L. Cazes ; p. 106 © L. Cazes ; p. 107 © P. Loubry, L. Cazes ; p. 108 © O. Béthoux ; p. 108 © O. Béthoux ; p. 109 © O. Béthoux ; p. 110 © L. Cazes ; p. 110 © F. Goussard ; p. 111 © L. Cazes ; p. 112 © L. Cazes ; p. 112 © L. Cazes ; p. 112 © L. Cazes ; p. 113 © L. Cazes ; p. 114 © C. Fresillon/CNRS Photothèque ; p. 115 © N. Poulet-Crovisier, E. Gheerbrant ; p. 116 © Synchrotron SOLEIL/CAVOK Prod. – L. Persin ; p. 117 © P. Gueriau ; p. 117 © A. Pradel ; p. 118 © F. Goussard/N. Poulet-Crovisier/D. Desmares (acquisition Nanoscopium) ; p. 119 © F. Goussard/R. Allain ; p. 120 © F. Goussard/P. Loubry/C. de Muizon ; p. 120 © L. Cazes ; p. 121 © F. Goussard/P. Loubry/C. de Muizon ; p. 122 © A. Kerner ; p. 123 © A. Kerner ; p. 124 © L. Bento Da Costa ; p. 125 © T. Laville ; p. 126 © M. Plasse ; p. 127 © M. Plasse ; p. 128 © A. Lethiers ; p. 128 © A. Lethiers ; p. 129 © A. Lethiers ; p. 130 © C. Letenneur ; p. 130 © C. Letenneur ; p. 131 © C. Letenneur, L. Cazes ; p. 132 © L. Cazes ; p. 133 © L. Cazes ; p. 134 reconstitution de C. Argot et L. Vives ; © L. Vives ; p. 135 © C. Argot ; p. 136 © M. Vosgs ; p. 136 © P. De Wever ; p. 137 © P. De Wever ; p. 137 © P. De Wever ; p. 138 © P. De Wever ; p. 138 © P. De Wever ; p. 139 © P. De Wever ; p. 140 © K. Peyer ; p. 140 © R. Allain ; p. 141 © M. Monbaron.

Concepts et découvertes

p. 142 © C. Letenneur, S. Charbonnier ; p. 143 © C. Letenneur, S. Charbonnier ; p. 144 © domaine public ; p. 144 © C. Colleté ; p. 144 © Muséum Toulouse ; p. 145 © L. Cazes ; p. 146 © wikimedia ; p. 146 © wikimedia ; p. 147 Georges Cuvier, Recherches sur les ossements fossiles, 4 volumes, 1812, atlas, planche 152 ; p. 148 © A. Oktar ; p. 148 © A. Watts, cc-by-sa 3.0 ; p. 149 © domaine public ; p. 150 © P. De Wever ; p. 150 © C. Gaillard ; p. 150 © P. De Wever ; p. 151 domaine public ; p. 152 © A. Lethiers ; p. 153 © A. Lethiers, photos : programme E-Recolnat MNHN ; p. 154 © P. Vincent ; p. 155 © L. Cazes ; p. 155 © N. Bardet ; p. 155 © Wikimedia Commons (http://www.sedgwickmuseum.org/education/ideas_and_evidence.html) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Duria_Antiquior.jpg ; p. 156 © B. Beaudouin ; p. 156 © F. Robaszynski ; p. 157 © D. Desmarest ; p. 157 © F. Robaszynski ; p. 158 © S. Crasquin ; p. 158 © S. Crasquin ; p. 159 © A. Lethiers ; p. 160 © P. Loubry ; p. 161 © P. Loubry (photo) ; p. 161 © J.-M. Pacaud (portait au crayon) ; p. 162 © bibliothèque de paléontologie MNHN ; p. 163 © C. Basile Barriol, modifié de Tassy (2000) ; p. 164 Images du domaine public mises sur Wikipedia commons par ДибрД. Disponibles à https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Ophiacodon_mirus.jpg et https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Edaphosaurus_pogonias.jpg ; p. 164 © I. Rouget ; p. 165 © G. Didier et M. Laurin ; p. 166 © R. Debruyne ; p. 167 © L. Cazes ; p. 168 © H. Dutel ; p. 169 © C. Cupello ; p. 169 © L. Ballesta/Andromède Océanologie Ltd (www.andromede-ocean.com), R. Mansuit ; p. 170 © S. Crasquin ; p. 171 © S. Fernandez ; p. 172 © P. De Wever ; p. 174 © B. Below ; p. 175 © B. Below ; p. 176 © A. Lethiers ; p. 177 © P. Dumitrică, A. Couté ; p. 177 © P. Dumitrică ; p. 177 © P. Dumitrică ; p. 177 © P. De Wever ; p. 177 © P. De Wever ; p. 178 © D. De Franceschi ; p. 179 © J. Falconnet, P. Massicard ; p. 180 © S. Sen ; p. 180 © BNF, Cabinet des médailles ; p. 181 © G. Métais ; p. 181 © Reconstitution : J. Knüppe ; p. 182 © SMNS/photographe : U. Schmid ; p. 183 © A. Houssaye ; p. 183 © A. Lethiers (mise en page), P. Loubry (photos) et A. Houssaye (silhouettes) ; p. 183 © FA. Houssaye ; p. 184 © A. Quilhac, G. Houée ; p. 185 © A. Quilhac, G. Houée ; p. 186 © S. Ladevèze, H. Gomes Rodrigues ; p. 187 © S. Ladevèze, H. Gomes Rodrigues ; p. 187 © S. Ladevèze, H. Gomes Rodrigues ; p. 188 © N. Séon ; p. 188 © R. Amiot ; p. 189 © L. Picot ; p. 190 © M. G. Faure-Brac ; p. 190 © M. G. Faure-Brac ; p. 191 © M. G. Faure-Brac ; p. 192 © H. Gomes Rodrigues ; p. 193 © H. Gomes Rodrigues ; p. 193 © H. Gomes Rodrigues ; p. 194 © L. Cazes ; p. 194 © S. Fernandez ; p. 195 © L. Cazes, © J.-P. Saint Martin ; p. 196 © L. Cazes ; p. 196 © L. Cazes ; p. 196 © A. Pradel ; p. 197 © C. Letenneur ; p. 198 © C. Prestianni ; p. 198 © O. Béthoux ; p. 198 © O. Béthoux ; p. 199 © S. Fernandez ; p. 200 © P. Loubry ; p. 200 © R. Dearden ; p. 201 © S. Fernandez ; p. 202 © M.-B. Forel ; p. 203 © S. Kershaw ; p. 203 © S. Kershaw ; p. 204 © C. Letenneur ; p. 204 © J.-L. Charnais ; p. 205 © N.-E. Jalil ; p. 206 © M.-B. Forel ; p. 207 © M.-B. Forel ; p. 207 © M.-B. Forel ; p. 208 © A. Lethiers ; p. 208 © M. Picker ; p. 209 © O. Béthoux, modifié de Cui et al. (2019) ; p. 210 © M. Lasseron ; p. 210 © A. Lethiers ; p. 211 © C. Letenneur ; p. 212 © S. Charbonnier ; p. 213 © C. Jauvion et N. Poulet ; p. 213 © P. Massicard ; p. 214 © A. Lethiers, conception Kruta, Rouget, Lethiers ; p. 215 © A. Lethiers, conception Kruta, Rouget, Lethiers ; p. 215 © A. Lethiers, conception Kruta, Rouget, Lethiers ; p. 215 © A. Lethiers ; p. 216 © A. Lethiers ; p. 217 © R. Allemand, P. Vincent, A. Houssaye, N. Bardet, fond de carte C. Letenneur ; p. 218 © J.-P. Saint Martin ; p. 218 © J.-P. Saint Martin ; p. 219 © J.-P. Saint Martin ; p. 220 © P. Aubier ; p. 220 © P. Aubier, S. Jouve ; p. 221 © P. Aubier ; p. 222 © E. Gheerbrant ; p. 223 © C. Letenneur (reconstitution) et C. Lemzaouda (photos) ; p. 223 © S. Fernandez (reconstitution) et L. Cazes (photos) ; p. 224 © C. de Muizon ; p. 224 © L. Cazes ; p. 225 © C. de Muizon ; p. 226 © P. Loubry ; p. 226 © A. Nel ; p. 227 © S. Fernandez ; p. 228 © X.T. Xu ; p. 228 © C. Del Rio ; p. 229 A, C : © C. Del Rio ; B, D : D. De Franceschi ; p. 230 A : © J. Mouchart ; B-D : P. Loubry ; p. 230 A : © Calliomphalus squamulosus (Lamarck, 1804), MNHN.F.A24999, photo Loubry ; B : © Diodora squamosa (Deshayes, 1824), MNHN.F.A24497, photo Loubry ; C : © Volutocorbis bicorona (Lamarck, 1802), MNHN.F.A.31270, photo Loubry ; D : © Granosolarium canaliculatum (Lamarck, 1804), MNHN.F.A.25063, photo Loubry ; p. 231 A, B : © Pustularia duclosiana, MNHN.F.A31711, photo Loubry ; C : © Diodora squamosa, MNHN.F.A24497, photo Loubry ; D : © Athleta spinosus, MNHN.F.A25027, photo Loubry ; E : © Cassiope suffarcinata (Münster in Goldfuss, 1844), SMNH, photo Loubry ; F : © Trochacteon sp., SMNH, photo Loubry ; G, H : © Pseudomelania collisa, UPMC 131, photo Loubry ; I, J : Prostylifer paludinaris, SMNH, photo Loubry ; p. 232 NASA ; p. 232 MPFB ; p. 233 C. Buell, ©MPFB, S. Wright, T. van de Merbel ; p. 234 © M. Pickford ; p. 234 © B. Senut ; p. 235 © B. Senut ; p. 236 d'après Blakey, <http://jan.ucc.nau.edu>, modifiée ; p. 236 © D. Merle ; p. 237 A : D. Serrette ; B-F : P. Loubry ; p. 238 © S. Sen ; p. 238 © M. Klingler ; p. 238 © Modifié d'après J. P. Krasny ; p. 239 © G. Métais ; p. 240 © B. Duhem, MNHN ; p. 240 © Wikipédia ; p. 241 © S. Ladevèze, L. Cazes ; p. 242 © G. Billet ; p. 242 © J. Yans ; p. 243 © G. Billet ; p. 244 © E. Gheerbrant ; p. 244 © A. Lethiers ; p. 245 Modifié d'après un dessin de P. Janvier (1990), Les observateurs de la terre T. 5, BRGM ; p. 246 © B. Senut ; p. 246 © B. Senut ; p. 247 © B. Senut ; p. 248 © domaine public ; p. 248 © P. Thomas ; p. 249 momies d'anoures : © N. Robin ; momies de salamandre : © J. Tissier ; Modèles 3D modifiés de publications ; p. 250 © A. Licht ; p. 250 © D. De Franceschi ; p. 251 © A. Licht ; p. 252 © domaine public ; p. 252 © domaine public ; p. 253 © C. Argot.