

Les Oiseaux sont des Dinosaures !

Élodie ROSINSKI, Dominique TISSIER



Introduction

Tous les ornithologues, un peu curieux par nature, se sont un jour intéressés à l'histoire de leurs animaux favoris et peut-être posé ce genre de questions :

- Depuis quand y a-t-il des oiseaux ?
- Quel est le plus ancien oiseau connu ?
- Sont-ils les seuls animaux ayant cette fantastique possibilité de voler ?

Pour trouver des réponses, nous nous sommes plongés dans les règles de la classification des espèces vivantes. N'étant pas des spécialistes de cette science, les lecteurs exigeants voudront bien nous pardonner quelques imprécisions ou peut-être erreurs ! Pour les éviter, nous nous sommes appuyés essentiellement sur le remarquable ouvrage publié chez BELIN sous la direction de Guillaume LECOINTRE : *Guide critique de l'évolution* (2009).

Classification actuelle

La plupart des scientifiques qui ont besoin de la science des classifications, **la systématique**, utilisent aujourd'hui une classification dite phylogénétique, qui s'appuie sur les travaux (1950) de l'entomologiste allemand Willi HENNIG.

La systématique phylogénétique est basée sur la classification des espèces en « groupes dits **monophylétiques**, c'est-à-dire regroupant tous les descendants d'un même ancêtre exclusif identifiables sur la base du partage des caractères que cet ancêtre leur a légués » (LECOINTRE 2009).

Dans cette approche, on ne cherche plus à bâtir un arbre généalogique, permettant de dire « *qui descend de qui ?* », avec la fameuse question des « chaînons manquants » qui n'a plus de sens, mais un schéma d'apparement montrant des relations de parenté entre taxons¹ : « *qui est apparenté avec qui ?* ».

La classification reste quand même fixée sur l'échelle chronologique, par datation du « plus ancien fossile connu » de chaque taxon. Mais l'ancêtre exclusif n'est pas identifié par un fossile connu ; il reste virtuel, l'évolution darwinienne se faisant au niveau des populations et non pas des individus.

Les poissons ne constituent pas un groupe monophylétique : les animaux qu'on appelle « poissons » sont éparpillés dans plusieurs branches distinctes de l'arbre du vivant. Il n'existe pas une branche spécifique regroupant tous les poissons. Autrement dit, les poissons n'ont pas d'ancêtre commun - voir schéma n°1 et note de bas de page²

De même, les reptiles ne constituent pas un groupe monophylétique. On dit que le crocodile est un reptile alors qu'il est phylogénétiquement plus proche d'un oiseau que d'un lézard.

Les Oiseaux (Aves) constituent bien un groupe monophylétique qui contient tous les oiseaux classés par leurs caractères communs (plumes, bipédie, etc.) et qui ne contient pas d'autres taxons qui ne seraient pas des Oiseaux.

Deux dates-clés :

1859 : publication de *L'origine des espèces* de Charles DARWIN.

1953 : découverte de la structure de l'ADN par Francis CRICK et James WATSON.

¹ Taxon : en biologie, synonyme de groupe. L'espèce est le taxon de base. Un genre, une famille, un ordre, une classe, etc. sont des taxons.

² Par exemple, le saumon et l'éléphant (Mammifère) partagent un ancêtre commun qui leur a transmis un squelette osseux. Ils sont donc apparementés et regroupés parmi les Ostéichtyens. C'est peut-être contre-intuitif, mais, de ce fait, les saumons sont plus proches parents des éléphants que des requins (groupe des poissons cartilagineux appelés Chondrichtyens) qui, eux, n'ont pas hérité de ce squelette osseux.

L'évolution

Le mécanisme de l'évolution repose sur l'apparition d'« innovations » physiologiques héritables, dues au hasard des mutations génétiques. Ces nouveaux caractères doivent passer le filtre de la sélection naturelle pour être transmis d'une génération à l'autre et se répandre dans la population.

On parle d'« innovations » puisque ces caractéristiques apparaissent spontanément et permettent ou pas aux espèces de s'adapter. Plus exactement, les individus pour lesquels les mutations apparues sont favorables se reproduisent mieux que les autres et deviennent, au fil des générations, prédominants dans leur population originelle. Donc l'évolution n'est pas en soi une « amélioration » des organismes :

- D'une part, le processus évolutif n'obéit pas à un plan et n'a aucun caractère intentionnel qui serait dirigé vers tel ou tel objectif.
- Et d'autre part, ce sont les variations de l'environnement (et donc la sélection naturelle) qui permettent l'émergence, la disparition et parfois la réémergence des caractères. Ces derniers ne sont « meilleurs » ou « moins bons » que dans un contexte donné et on ne peut donc pas établir de hiérarchie entre eux.

On fait souvent l'erreur de qualifier certains organismes actuels de « fossiles vivants » (espèces panchroniques). Les coelacanthes, les nautilies, ou encore le *Ginkgo biloba* (dont la famille serait apparue il y a plus de 270 millions d'années) ont effectivement une apparence proche de celle de fossiles vieux de plusieurs centaines de millions d'années. Pour autant, leurs caractéristiques génétiques ont bel et bien évolué ! Les coelacanthes sont tout aussi éloignés des fossiles de leurs prédécesseurs que nous le sommes de nos propres ancêtres mammifères. L'évolution ne fait pas de pause et, même de nos jours, elle n'est pas terminée ; elle se poursuivra tant que la Vie existera.

Quelques autres caractéristiques de l'évolution :

- Il n'y a pas d'espèce supérieure ou inférieure. Chaque espèce est adaptée à son écosystème, puisqu'elle y survit ! Il n'existe pas d'espèce plus évoluée que les autres.
- L'Homme *Homo sapiens* n'est évidemment pas le sommet de l'évolution et n'est considéré (par nous) comme différent que parce que nous faisons partie de cette espèce !
- Tout groupe monophylétique a un ancêtre exclusif, non identifié individuellement, mais dont la population a évolué vers d'autres populations suffisamment différenciées pour que leurs individus ne puissent plus se reproduire qu'avec ceux de leur propre espèce.
- L'évolution est essentiellement contingente avec variation contingente des caractères des individus par mutation génétique. Les caractères qui donnent aux individus un avantage en terme de **succès reproductif différentiel** sont transmis à leurs descendants par hérédité : c'est la **sélection naturelle** qui est influencée par les modifications éventuelles des conditions extérieures, changements climatiques, catastrophes, dérive des continents, isolement géographique, évolution des espèces prédatrices, etc... Il existe une quantité colossale de facteurs aléatoires qui entrent en jeu dans le processus évolutif. La vie sur Terre telle que nous la connaissons n'est que le résultat de tous ces petits ou grands événements que l'on qualifie souvent de hasard : c'est la contingence !
- Et donc, si l'on pouvait rembobiner le film de la Vie sur Terre, puis le redérouler plusieurs fois, les espèces actuelles seraient certainement différentes à chaque fois (GOULD 1989) !...
- Les caractères acquis après la naissance (par exemple par apprentissage ou par modification physiologique accidentelle) ne sont pas transmissibles.
- L'évolution n'est pas qu'une théorie³. C'est aussi **un fait** constaté scientifiquement et expérimenté en laboratoire ou dans des milieux isolés géographiquement (îles, lacs, etc.).

³ On parle de « théorie de l'évolution ». Malheureusement, dans le langage du grand public, la « théorie » renvoie souvent à quelque chose d'incertain, « théoriquement possible », mais dont on n'est pas sûr qu'elle va se vérifier ! Mais, en science, c'est différent : une « théorie scientifique » désigne bien plus qu'une hypothèse. C'est une explication cohérente de nombreuses connaissances, issues de faits observés, expérimentés par des chercheurs et répliqués par d'autres chercheurs. Une théorie n'est pas un dogme immuable : elle pourra être remise en cause ou améliorée si des observations ou expériences nouvelles, dûment constatées et répliquées par des chercheurs indépendants, viennent la contredire.

- L'évolution est très lente et se mesure sur des milliers d'années, mais parfois beaucoup moins, en particulier chez certains insectes comme on le constate en agriculture, sans parler de l'évolution très rapide des bactéries ou autres espèces unicellulaires que l'on étudie en laboratoire pharmaceutique. On la voit aussi très facilement dans l'existence des espèces ou des races domestiquées, comme par exemple les chiens, les vaches, les pigeons... ou les choux et les pommes (DARWIN 1859, DAWKINS 2011).

Classification des Vertébrés

Le premier schéma ci-dessous débute par *Pikaia gracilens*, petite créature de quelques centimètres de longueur déjà évoquée dans cette revue, un des plus anciens fossiles connus appartenant aux Chordés, daté de 540 millions d'années et découvert en 1909 (mais correctement identifié en 1979) dans les Schistes de BURGESS en Colombie britannique (GOULD 1989).

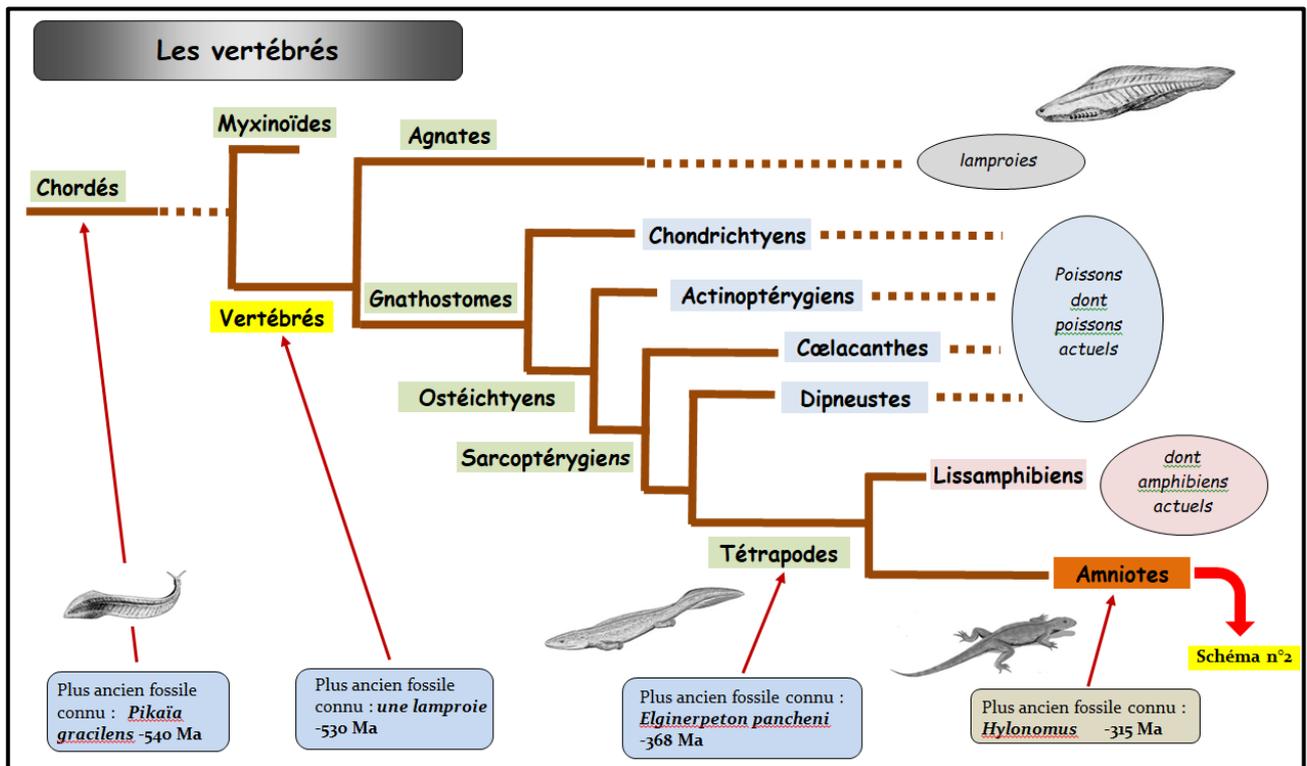


Schéma n°1 : Classification simplifiée des Vertébrés. Ce groupe monophylétique appartient au groupe des Chordés.

Il faut garder en tête que les taxons, groupes, ordres, familles, n'existent que dans notre classification : c'est nous qui les créons par commodité pour l'étude scientifique. Ce qui existe réellement, ce sont des structures, attributs ou caractères⁴ qu'on retrouve dans une famille ou un groupe. Par exemple, le groupe des Vertébrés est défini par la présence d'une colonne vertébrale, le groupe des Gnathostomes, par la présence d'une mâchoire, etc.

Dans ce groupe des Gnathostomes, on classe tous les poissons actuels (sauf les lamproies qui n'ont pas de mâchoires), ainsi que les Tétrapodes. Ceux-ci regroupent un très grand nombre d'espèces sur deux branches : les Lissamphibiens, dont les amphibiens actuels, et les Amniotes (qui nous amèneront aux Mammifères et aux Oiseaux).

⁴ Grâce aux techniques récentes de séquençage génétique, on a pu mettre en évidence les relations génétiques entre les taxons et corriger des éléments de classification basés auparavant sur de simples critères morphologiques/structurels parfois trompeurs ! Les critères morphologiques et génétiques sont aujourd'hui complémentaires pour statuer sur les degrés de parenté entre taxons et bâtir toute la classification phylogénétique.

Les Tétrapodes

Les Tétrapodes (groupe monophylétique ou clade) sont tous les Vertébrés dont le squelette comporte **deux paires de membres chirodiens**. Apparus il y a environ 380 millions d'années, dans le Dévonien supérieur, et d'abord aquatiques (STEYER 2009), ils sont (ou étaient pour les espèces disparues) présents dans tous les milieux. A noter que les pattes ont disparu dans certains groupes comme les serpents ou sont devenues des palettes natatoires chez les Cétacés et des ailes chez les Oiseaux et les autres groupes d'animaux volants.

Comme on l'a dit, le clade des Tétrapodes regroupe deux taxons actuels : les Amphibiens et les **Amniotes** qui nous amènent au schéma n°2.

Classification des Amniotes

Une très importante radiation évolutive est constatée il y a environ 320 millions d'années pendant le Carbonifère : certains Tétrapodes ont une structure d'œuf **amniotique** qui s'est avérée être un avantage important pour la reproduction. L'embryon s'y développe à l'abri des conditions extérieures, dans un œuf ou le liquide amniotique d'un utérus. Les Amniotes ne sont donc pas obligés de se reproduire dans l'eau. De très nombreuses espèces actuelles sont des Amniotes : reptiles, crocodiles, Oiseaux, Mammifères, etc.

Le groupe des Amniotes se divise en deux groupes : les **Synsapsides** et les **Sauropsides** (schéma n°2).

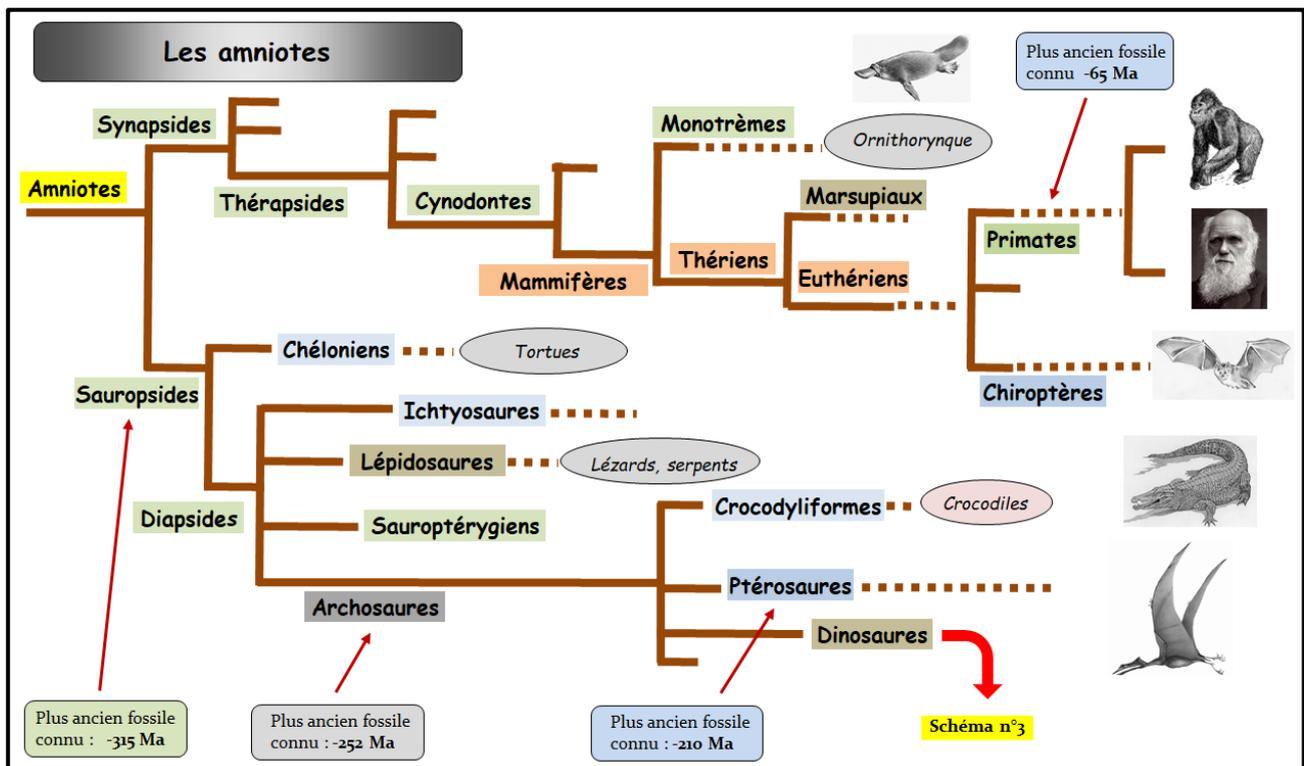
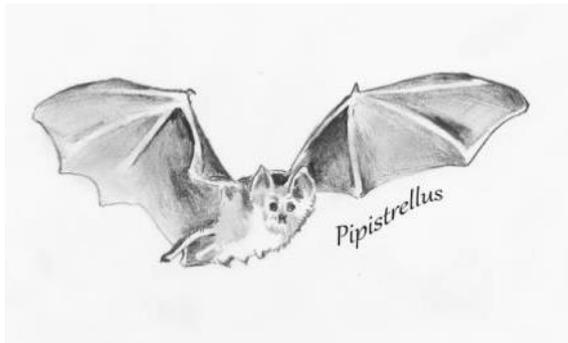


Schéma n°2 : Classification simplifiée des **Amniotes**. Ce groupe monophylétique appartient au groupe des Tétrapodes.

Les **Synsapsides**, caractérisés par un crâne ayant une seule fosse temporale, comprennent, entre autres, tous les Mammifères (Monotrèmes, marsupiaux et placentaires) dont les Chiroptères et les Primates (singes et hominidés), donc en particulier *Homo sapiens* représenté sur notre schéma par le personnage principal de cette histoire ! Les plus anciens fossiles connus de Mammifères ont 220 millions d'années.

Les Synsapsides qui n'étaient pas des Mammifères étaient appelés auparavant « reptiles mammaliens », groupe paraphylétique (non monophylétique) disparu.





Remarquons la présence, dans ce groupe, de Mammifères volants, les **Chauves-souris** ou Chiroptères, qui ont, comme les Oiseaux, une excellente aptitude au vol actif (HEDENSTRÖM & JOHANSSON 2015), mais sans plumes, avec une membrane alaire appelée *patagium*, et dont le plus ancien fossile connu date de 55 millions d'années. Les Chiroptères comptent encore aujourd'hui plus d'un millier d'espèces.

Les **Sauropsides**, du grec *saura* lézard et *apsis* lien, constituent un clade très important depuis environ 315 millions d'années. On les qualifie souvent de « reptiles », mais, phylogénétiquement, cette appellation porte à confusion car seuls certains Sauropsides correspondent à l'idée que l'on se fait d'un « reptile ». Dans ce grand taxon, on trouve des animaux contemporains comme les Chéloniens (tortues) et les Lépidosaures (serpents, lézards, iguanes, etc.).

On y place aussi le groupe disparu des Ichtyosaures, animaux marins ayant vécu de 230 à 90 millions d'années. Ils respiraient à la surface de l'eau comme les dauphins actuels auxquels ils ressemblaient beaucoup par leur silhouette (bel exemple d'évolutions convergentes).

Les Sauroptérygiens (245 à 65 Ma) étaient également des Sauropsides marins, dont certains représentants ont inspiré le mythe du monstre du Loch-Ness.

Enfin la division des Archosaures, qui nous intéresse surtout ici, comprend des animaux volants, les célèbres **Ptérosaures**, dont le plus ancien fossile connu date de 210 millions d'années. Sans plumes, mais à os creux, ils possédaient une grande aptitude au vol grâce à leurs membranes alaires placées entre leurs membres. Premiers vertébrés volants, ce ne sont ni des reptiles, ni des Dinosaures. De taille très variable, leur envergure pouvait aller de 20 centimètres à 12 mètres ! Ils ont disparu il y a 65 millions d'années, en même temps que les Dinosaures.

Les Archosaures contiennent aussi les crocodiles et... **les Dinosaures**, qui nous amènent au schéma n°3.



Classification des Dinosaures

Les Dinosaures, du grec *deinos* terriblement grand et *sauros* lézard, sont des Archosaures "redressés", **digitigrades**, rendus célèbres dans le grand public par certaines productions cinématographiques, ainsi que par leur disparition probablement causée par la chute d'une météorite au large de la péninsule du Yucatán (Mexique), il y a 65 millions d'années, à la fin du Crétacé. Leur anatomie, en particulier au niveau du bassin et des pattes postérieures, leur permet des déplacements rapides et efficaces qui expliquent peut-être leur développement pendant une très longue période (au moins de 230 à 65 millions d'années).

Le plus ancien fossile connu date en effet de 230 millions d'années, dans le Trias moyen. Les plus grands Dinosaures pouvaient mesurer jusqu'à 27 mètres de longueur (*Diplodocus*) et peser jusqu'à 60 tonnes, peut-être même jusqu'à plus de 100 tonnes !... Le record de taille évolue au fil des découvertes de nouveaux fossiles et des estimations à partir de restes souvent très fragmentaires : il serait peut-être de 58 mètres de long pour *Amphicoelias fragillimus*, et le record de poids serait peut-être de 220 tonnes pour *Bruhathkayosaurus*. Pour mémoire, la Baleine bleue *Balaenoptera musculus* actuelle, qui est un Mammifère, rappelons-le, pèse plus de 180 tonnes et peut atteindre 31 mètres de longueur. Mais un Eléphant d'Afrique *Loxodonta africana* dépasse rarement les 7 tonnes.

Les Dinosaures (schéma n°3) se divisent en deux groupes, les **Ornithischiens** (à bassin d'oiseau), dont le fameux *Tricératops*, herbivore à trois cornes ayant vécu au Crétacé supérieur, il y a 68 à 65 millions d'années, et les **Saurischiens** (à bassin de lézard). Ces derniers comprennent les Sauropodomorphes, illustrés sur notre schéma par le célèbre Sauropode du genre *Diplodocus*, genre éteint daté vers 150 millions d'années, et les **Théropodes**.

Les Théropodes, du grec *theros* bête sauvage et *podos* pied, sont caractérisés par leur posture bipède et leurs membres pourvus de griffes. Leur taille allait de 40 centimètres à plus de 12 mètres. Le groupe des Théropodes se divise en de nombreux sous-groupes parmi lesquels on trouve celui du célèbre *Tyrannosaurus rex*, super-prédateur de plus de 13 mètres de longueur, et celui des **Oviraptoridés** (dont certaines espèces étaient supposées, à tort semble-t-il, manger des œufs d'oiseaux, d'où leur nom). Les Oviraptoridés, découverts en Chine et en Mongolie, étaient probablement couverts de duvet, ainsi que de plumes symétriques sur les ailes et la queue. Mais ils ne volaient pas. Leur étude est encore très incomplète.

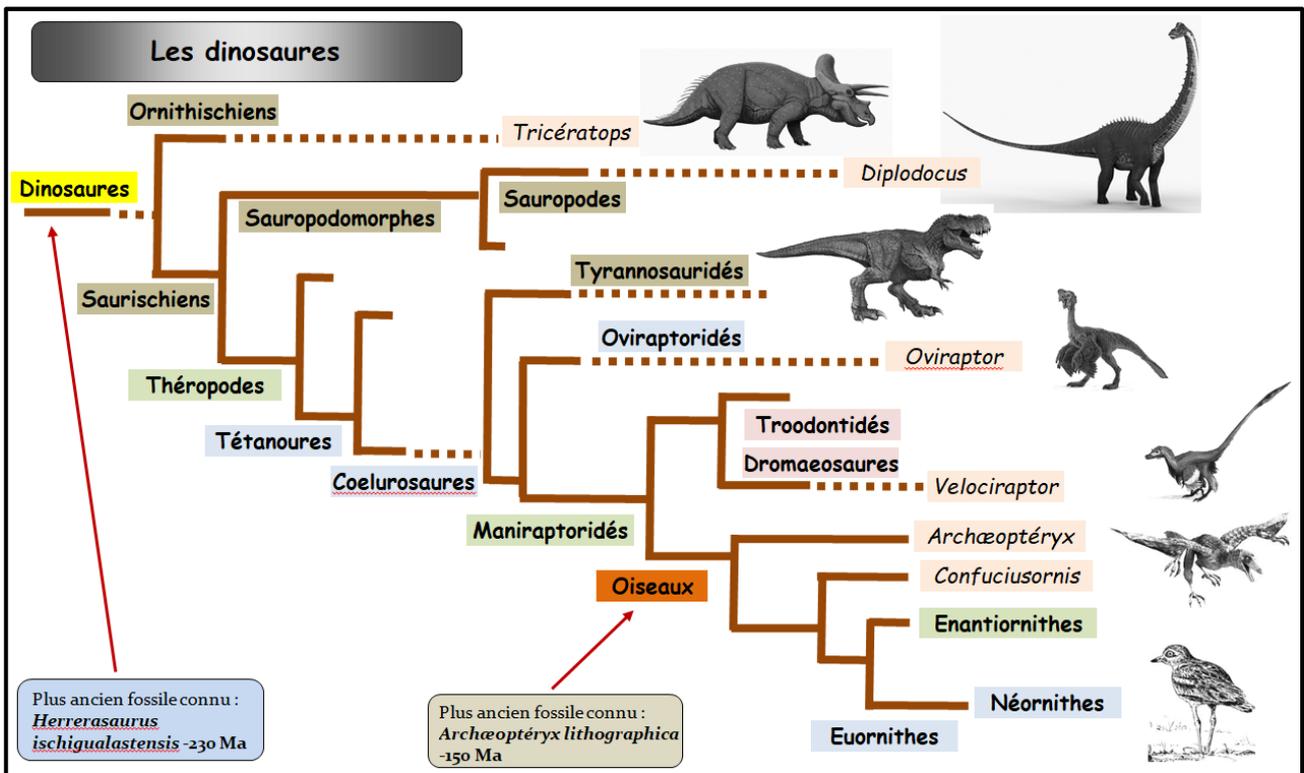


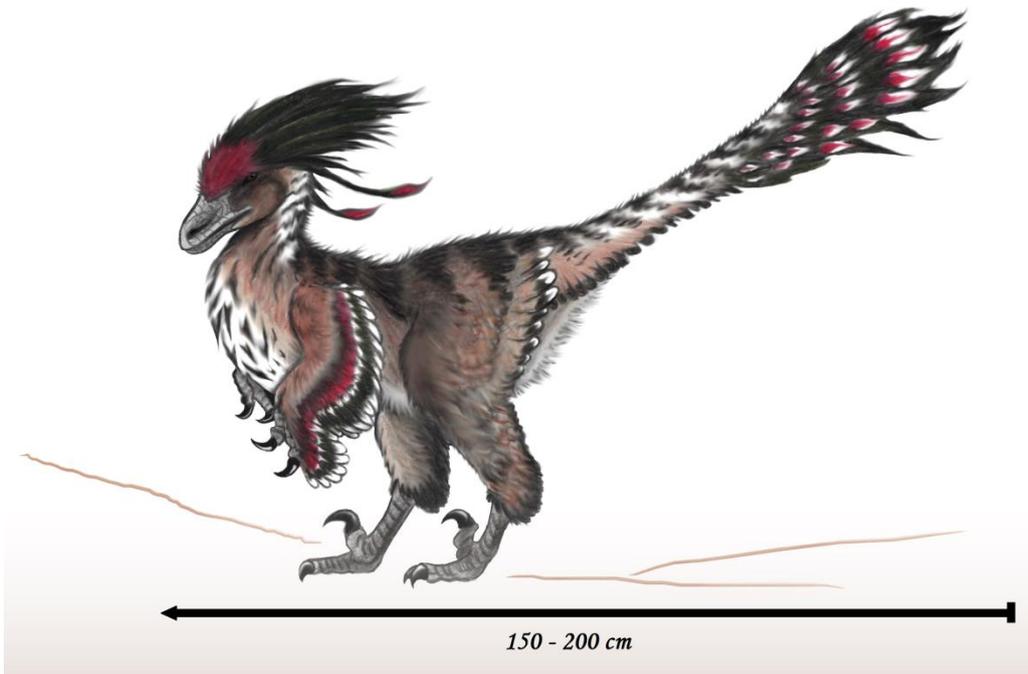
Schéma n°3 : Classification simplifiée des **Dinosaures**. Ce groupe monophylétique appartient au groupe des Archosaures et contient les oiseaux modernes.

Parmi ces Dinosaures Théropodes, on trouve aussi le groupe des **Compognathidés**, groupe cousin des Oviraptoridés et des Maniraptoridés, mais non porté sur notre schéma très simplifié et dont la classification est encore débattue. Ces petits Dinosaures sont parmi les premiers animaux connus ayant des plumes. Plusieurs espèces ou genres y ont été rattachés, dont *Sinosauropteryx prima*, découvert en Chine, dans la province de Liaoning, qui abrite un site célèbre pour les découvertes récentes de fossiles datant de 130 à 125 millions d'années. Ils avaient un plumage ressemblant plus à une fourrure et formé de filaments de collagène ou de plumes rudimentaires à deux ramifications.

On y trouve aussi le groupe des **Maniraptoridés** (à capture par les mains) dont les plus anciens sont datés d'approximativement 170 millions d'années. Leur systématique est encore discutée. Ce groupe de Dinosaures, probablement tous à plumes, se divise en :

- **Troodontidés**,
- **Dromaeosaures** (dont le fameux *Velociraptor mongoliensis* trouvé en Mongolie et en Chine et daté de 70 à 80 millions d'années)
- et, enfin, **Oiseaux (Aves)**.

Notons que l'acquisition de la bipédie chez les Dinosaures Théropodes a libéré les pattes antérieures de leur fonction locomotrice et créé un découplage neuromoteur des deux paires de pattes. Complété par quelques modifications de la structure osseuse des pattes autorisant le pivotement de la main et une flexion du poignet, ceci a permis ensuite l'évolution (non intentionnelle, rappelons-le) vers la possibilité des battements d'ailes des Maniraptoridés.



Dessin n°1 : *Velociraptor mongoliensis*, Élodie ROSINSKI

C'est à partir de la fin du XX^e siècle, en Chine, où les paléontologues accueillent alors des scientifiques d'Europe occidentale et d'Amérique du Nord, que sont découverts de nombreux fossiles de Dinosaures à plumes ! Aujourd'hui, plus de vingt genres de Dinosaures Théropodes ayant des plumes sont connus, la plupart venant du site de Liaoning.

Les premiers Oiseaux

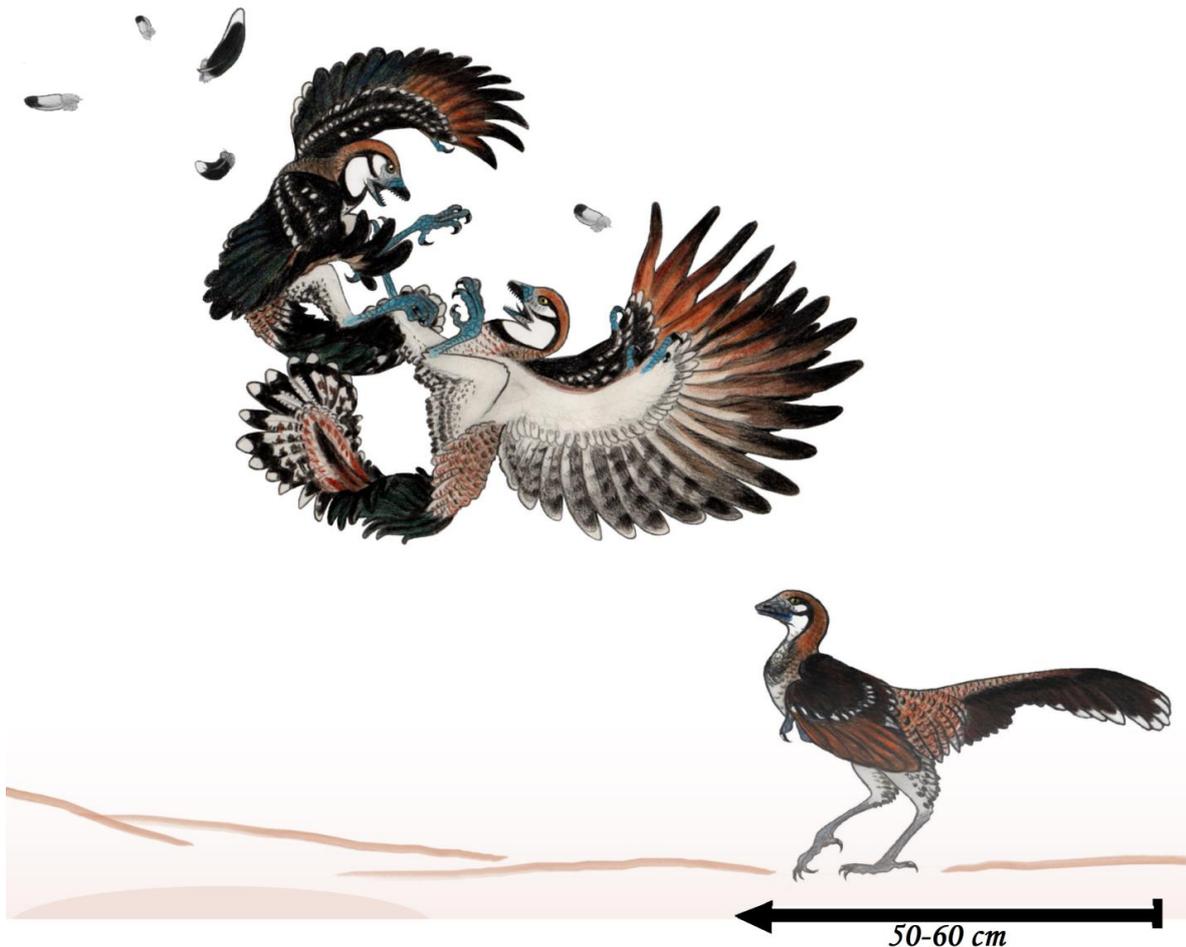
Mais c'est en Allemagne qu'a été découvert *Archæopteryx lithographica*, du grec *archaios* ancien et *pteryx* plume, qui reste à ce jour le plus ancien fossile connu d'Oiseau. Il en existe 12 spécimens plus ou moins fragmentaires découverts de 1860 à 2011. L'espèce a vécu de -150,8 à -145,5 millions d'années, à la fin du Jurassique, dans le territoire de l'Allemagne actuelle, alors milieu insulaire au climat tropical. En moyenne, les fossiles d'*Archæopteryx* font 45 cm (taille d'une pie), le plus gros retrouvé faisait 60 cm (taille d'un Grand Corbeau).

Il appartient à la famille des Archæoptérygides, ordre des Archæoptérygiformes, dans la classe des Oiseaux et la sous-classe des Archæornithes. Trois espèces ont été identifiées dans le même genre.

Un consensus quasi général chez les paléontologues est de le classer dans le clade des Dinosaures. Ses plumes asymétriques lui permettaient le vol battu, probablement par une course au sol suivie du décollage, bien que ceci soit encore débattu ! C'est donc bien le plus ancien animal à plumes à vol actif connu à ce jour, donc **un Oiseau** !



Dessin n°2 : *Archæopteryx*, Élodie ROSINSKI



Dessin n°3 : *Archæopteryx lithographica*, femelle et combat entre mâles, Élodie ROSINSKI

D'un point de vue phylogénéticien, il possède une « mosaïque de caractères, en l'occurrence un mélange dinosaure – maniraptorien – oiseau basal » (LECOINTRE *in supra*). Ce n'est pas un oiseau moderne, ni leur ancêtre (au sens de la phylogénétique qui ne définit que des liens de parenté), mais leur plus proche parent dans l'arbre phylogénétique. Il n'a pas certains caractères des oiseaux modernes, comme l'absence de dents, le bec corné, le sternum avec bréchet, l'alula, etc., mais bon nombre des caractères ancestraux des Oiseaux : structure de l'aile (large et de grande surface portante), plumes de contour asymétriques, rectrices à double vexille, présence très probable de sacs aériens, etc.

Notons la présence **de griffes aux quatre membres**, donc aussi aux poignets des ailes. Aujourd'hui, on ne trouve plus ce caractère que chez les touracos (Musophagidés d'Afrique tropicale et méridionale) et chez l'Hoazin huppé *Opisthocomus hoazin*, seule espèce de l'ordre de Opisthocomiformes, curieux oiseau "ruminant" d'Amérique du Sud qui pourrait être un des plus anciens oiseaux actuels avec un fossile daté de 18 millions d'années (MILLER 1953). Seuls les juvéniles possèdent ces griffes qu'ils utilisent pour grimper aux arbres.

Une autre espèce d'Archæornithe, *Confuciusornis sanctus*, est encore plus proche parent des oiseaux modernes, puisqu'elle avait un bec sans dents et des plumes asymétriques. Vivant en Chine entre -130 et -112 millions d'années, cet oiseau mesurait environ 60 centimètres. Il avait, semble-t-il, deux rectrices très allongées jouant probablement un rôle dans les parades nuptiales.

En 2014, un oisillon conservé dans un morceau d'ambre de moins de 8 cm, depuis près de 100 millions d'années, a été trouvé sur un marché au Myanmar (Lida XING, revue *Gondwana Research*). Sa tête et ses ailes étaient déjà pourvues de plumes et il était probablement capable de voler. Il est classé dans le groupe disparu des Énantiornithes (oiseaux à dents et à griffes aux quatre membres). Il ne s'agit donc pas d'un ancêtre des oiseaux modernes qui sont dans le groupe "cousin" des Euornithes.

Très récemment, a été découvert à Las Hoyas, en Espagne, le fossile très bien conservé d'un tout petit oisillon (moins de 5 cm) vivant il y a 127 millions d'années, au Crétacé (MARTIN, KNOLL *et al.*, *Nature Communications* 2018). Il est classé également dans le groupe des Énantiornithes.

Après l'extinction de la fin du Crétacé (voir *infra*), nous ne trouvons plus que des espèces appartenant au groupe des **Euornithes**, dont font partie les **Néornithes** (oiseaux modernes) et quelques espèces ou familles disparues. Par exemple, le genre *Gastornis*, vivant pendant l'Éocène (de -56,0 à -33,9 millions d'années) en Europe, se caractérise par sa grande taille puisque certaines espèces atteignaient les 2 mètres. Cet oiseau géant ne pouvait pas voler, mais devait courir comme les autruches actuelles. Une autre espèce d'il y a 62-60 millions d'années, *Waimanu manneringi*, était un oiseau piscivore de 80 centimètres, nageant sous l'eau, assez semblable aux manchots actuels.

Sans aller beaucoup plus loin dans la classification, signalons que le groupe des Néornithes se divise en deux super-ordres monophylétiques (FAIN & HOUDE 2004) : les **Palæognathes** et les **Néognathes**.

- Les Palæognathes (sans bréchet) comprennent les Ratites (grands oiseaux non volants : autruches, nandous, casoars, émeus et kiwis), ainsi que l'ordre des Tinamiformes (une seule famille de 47 espèces, les Tinamidés ou Tinamous d'Amérique centrale et du Sud) regroupant de petits oiseaux terrestres.
- Les Néognathes comprennent tous les autres oiseaux (avec bréchet et volants pour la plupart).

Les Oiseaux

Les caractères (bipédie, plume, vol) qui nous permettent d'affecter une espèce au groupe des Oiseaux, Vertébrés/Tétrapodes/Amniotes/Sauropsides/Archosaures/Dinosaures/Théropodes ailés, digitigrades, ovipares et homéothermes⁵, sont :

- un plumage et des écailles cornées,
- des membres antérieurs servant d'ailes et très allongés (par rapport à d'autres Théropodes comme *Tyrannosaurus rex*),
- des ailes non liées aux membres postérieurs leur donnant une meilleure mobilité au sol que celle des Ptérosaures,
- une main allongée, avec trois doigts dès les premiers Théropodes, puis la fusion des métacarpiens et des trois premières phalanges chez les Oiseaux,
- cinq doigts pourvus de griffes aux membres postérieurs, mais marche avec appui sur trois doigts (les Théropodes sont digitigrades alors que l'Homme et tous les autres mammifères bipèdes sont plantigrades),
- un cou long et courbé,
- moins de 26 vertèbres caudales,
- l'incubation des œufs sur un nid,
- une coquille à deux couches superposées,
- un taux de croissance très rapide (PADIAN & DE RICQLES 2009),



et, pour les oiseaux modernes (Néornithes) :

- deux clavicules fusionnées en une fourchette en V,
- une queue osseuse courte dont les vertèbres sont fusionnées (pygostyle),
- fusion des vertèbres inférieures pour former le synsacrum,
- une mâchoire sans dents avec un bec corné,
- le premier orteil (hallux) retourné vers l'arrière et porteur,
- des os pneumatiques et des sacs aériens (cf. *infra*) facilitant le vol, avec un système respiratoire particulier,
- des plumes asymétriques et à barbes accrochées entre elles (cf. *infra*),
- une alula qui diminue les turbulences en vol (peut-être déjà présente chez des Énantiornithes),
- une coquille à trois couches superposées, etc.

⁵ Homéotherme : qui garde une température corporelle constante.

Notons qu'au cours de l'histoire du groupe, l'aptitude au vol a été perdue chez plusieurs familles, dès le Crétacé, et ensuite à plusieurs reprises. Aujourd'hui, on sait que plusieurs familles comme les manchots, les autruches, l'Emeu d'Australie *Dromaius novaehollandiae*, les casoars, le Kiwi austral *Apteryx australis*, etc., n'ont pas la possibilité de voler. Citons également les moas, sans ailes, décimés par les Maoris au XIII^e siècle en Nouvelle-Zélande, et qui pouvaient atteindre 4 mètres et 300 kg ; ainsi que l'Oiseau-éléphant de Madagascar *Aepyornis* qui atteignait une masse de 500 kg avec des œufs de 34 cm de longueur, exterminé aussi par les humains à une date mal connue, entre les XI^e et XIX^e siècles.

Le groupe des oiseaux modernes compte aujourd'hui plus de 10400 espèces, de taille allant de 5 centimètres pour le plus petit, le Colibri d'Elena *Mellisuga helenae* ou Colibri-abaille (*Humming bird*), endémique de Cuba, à près de 2,80 mètres pour l'Autruche d'Afrique *Struthio camelus*.

Les fonctions du plumage

On pense aujourd'hui que les plumes et le duvet étaient présents chez une majorité de Dinosaures Saurischiens Théropodes. Mais des structures filamenteuses – proto-plumes - ont également été retrouvées sur des fossiles de *Kulindadromeus*, *Tianyulong* et *Psittacosaurus*, des Dinosaures Ornithischiens (GODEFROIT *et al.* 2014). Plus étonnant encore, une forme de pelage filamenteux aurait peut-être recouvert le corps des Ptérosaures. La « plume », ou du moins sa structure basale, serait donc potentiellement antérieure à l'apparition des Dinosaures.

Il est probable que le plumage ait eu d'abord un rôle de **thermorégulation** protégeant des animaux à sang chaud et de petite taille contre les variations de température.

On sait que le plumage joue aussi un rôle important dans les parades sexuelles des oiseaux modernes. Il en était peut-être ainsi chez les Maniraptoridés non aviens, aujourd'hui disparus. La sélection sexuelle, très importante dans les processus de sélection naturelle, aurait conduit à l'apparition de plumages colorés et très variables.

N'oublions pas non plus que le plumage a un rôle important de protection contre l'environnement extérieur, par sa souplesse et surtout son imperméabilité.

L'apparition des plumes au cours de l'évolution a donc été favorisée par plusieurs avantages. Leur usage pour le vol plané ou battu serait donc une **exaptation**, c'est-à-dire l'acquisition d'une nouvelle fonction grâce à une structure ancienne. Comme dit plus haut, le vol n'a été rendu possible que par l'acquisition d'une posture bipède chez les Théropodes.



Les plumes, appendices non vivants formés de β -kératines, peuvent être de simples filaments ou des duvets. La présence de plumes à deux vexilles est déjà attestée chez les Maniraptoridés non aviens. Seule une structure asymétrique à deux vexilles différenciés et un accrochage des barbes entre elles permettent le vol plané ou battu grâce à une surface portante plane serrée. C'est le cas des ailes des Oiseaux et peut-être d'un petit Maniraptoridé Dromaeosaure, *Microraptor gui*, découvert en 2000, dont le fossile a été daté de 125 millions d'années et qui était peut-être capable de voler (LECOINTRE 2009, LANGLOIS 2010).

Le processus évolutif d'apparition des plumes est très proche des étapes de formation de celles-ci chez nos oiseaux modernes (voir schéma n°4). Les proto-plumes (stade 1), constituées d'un unique filament, se retrouvent dans les deux groupes de Dinosaures, Saurischiens et Ornithischiens. Le duvet simple (stade 2) se retrouve uniquement chez les Saurischiens Coelurosaures ; et les Tyrannosaures, si terrifiants, étaient probablement couverts de duvet. Quant aux plumes complexes de stades 3 et 4, elles apparaissent chez les Oviraptoridés et seront conservées chez certains oiseaux : les plumes sans barbules se retrouvent chez les Ratites actuels et les plumes symétriques à barbules modifiées et non modifiées sont observées chez les Maniraptoridés. Le stade 5 n'est présent que chez les oiseaux capables de voler, ce qui ne signifie pas qu'elles sont strictement nécessaires au vol.

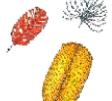
Modèle de Richard O. Prum (1999)		
Groupe où est apparue la structure		Description de la structure
Dinosaures →		STADE 1 : Filament simple
Coelurosaures →		STADE 2 : Duvet formé de plusieurs filaments simples assemblés à leur base
Oviraptoridés →		STADE 3 : Les filaments / barbes partent d'un rachis central et sont parfois munis de barbules microscopiques
		STADE 4 : Modification des barbules en crochets et gouttières, permettant aux barbes d'adhérer entre elles, la plume est ainsi imperméable
Oiseaux →		STADE 5 : La plume est asymétrique avec des barbes plus courtes d'un côté du rachis que l'autre, ce qui donne une forme aérodynamique

Schéma n°4 : différentes structures de plume, d'après PRUM et BRUSH in « Pour la Science »

La plume n'est donc plus ce qui caractérise les Oiseaux puisque des Dinosaures non aviens en possédaient (LANGLOIS 2010). Les Oiseaux seraient alors caractérisés par le vol (battu ou plané), mais grâce à des plumes, contrairement aux Chiroptères⁶.

A noter que des études récentes de fossiles du Liaoning (FUCHENG ZHANG *et al.* 2010, QUANGUO LI *et al.* 2010, MANNING *et al.* 2013) permettent même de se faire une idée de la coloration des plumes (qui semblait devoir rester à jamais inconnue) !

Les œufs

De très nombreux Vertébrés pondent ou pondaient des œufs (parmi les groupes actuels, les poissons, les Lissamphibiens, les crocodiles, les tortues, la plupart des reptiles, etc...). Mais on conçoit facilement qu'il soit extrêmement rare d'en trouver des traces fossiles ! On a découvert cependant de nombreux œufs d'Archosaures, mais sans savoir quelles espèces les avaient pondus. Ce n'est qu'en 1993, en Mongolie, puis ensuite en Chine et en Amérique du Nord, qu'on a découvert des nids fossilisés avec des œufs et des squelettes de dinosaures en position de couveurs. Il s'agissait principalement d'Oviraptoridés et de Maniraptoridés Troodontidés. Depuis lors, il est avéré que la couvaison des œufs sur un nid est une caractéristique des Oiseaux, partagée avec les Oviraptoridés et les Maniraptoridés non aviens. C'est même une confirmation forte de la parenté très étroite entre les Oiseaux et les Dinosaures Théropodes. D'autres découvertes futures nous en apprendront certainement plus sur les modes de construction des nids et la reproduction. Aujourd'hui, la couvaison n'est observée que chez les Oiseaux.

Les sacs aériens

Le système respiratoire des Oiseaux est très différent de celui des Mammifères et leur permet de maintenir une température interne constante et plus élevée que celle des Mammifères. L'air circule dans des poumons à structure capillaire et non alvéolaire. Au repos, le volume des poumons varie, mais, pendant le vol qui nécessite un appui fort des muscles alaires sur la cage thoracique, les poumons sont bloqués par les apophyses uncinées. Ce sont de longues excroissances sur les côtes, perpendiculaires à l'axe des os de cette cage. La circulation de l'air est permise grâce à des sacs aériens soumis à la pression des muscles en mouvement. Ces sacs aériens sont des prolongements des bronches, certains allant jusqu'à l'intérieur des os qui sont creux.

⁶ Certains auteurs préconisent d'utiliser le terme de **Dinosauriens** pour l'ensemble des Dinosaures, Oiseaux inclus, et de réserver le terme usuel de dinosaures pour les Dinosauriens non aviens.

L'extinction Crétacé-Tertiaire

Depuis l'apparition de la vie multicellulaire, probablement la faune dite d'Ediacara (-600 à -540 millions d'années), puis, au Cambrien, la radiation massive d'animaux à squelette ou à coquille comme la faune de Burgess (-540 millions d'années) (GARGAUD *et al.* 2009), il y a eu plusieurs périodes d'extinctions massives dont la plus connue, mais pas la plus importante, est la grande crise de la fin du Crétacé (-65 millions d'années) qui a fait disparaître les Dinosaures non aviens, mais aussi de nombreux autres groupes. 50% des genres connus disparaissent. Parmi les Oiseaux, 9 familles sur 12 connues disparaissent, comme celles du groupe des Énantiornithes.

Les hypothèses couramment avancées pour expliquer cette crise, l'une des cinq crises majeures répertoriées, sont, on le sait, l'impact d'une météorite, ou plusieurs impacts simultanés, mais aussi une vague de grandes éruptions volcaniques (peut-être provoquées par ces impacts ?) dont on retrouve les traces sous forme des trapps du Deccan (Inde), ou une variation des conditions climatiques et du niveau des mers ; peut-être d'ailleurs y a-t-il plusieurs causes simultanées ?

Une étude assez récente menée par Nicholas LONGRICH, de l'université Yale, basée sur des observations de fragments de fossiles non encore analysés, conclut que les Oiseaux non Néornithes ont bien disparu brusquement en même temps que les Dinosaures non aviens. Mais quelques familles du clade des oiseaux actuels, les Néornithes, existaient déjà avant la crise K/T (mais on n'en aurait pas encore trouvé de fossile) et quelques-unes ont réussi à survivre. Ce groupe se développe ensuite beaucoup durant le Cénozoïque (anciennement Tertiaire et Quaternaire) jusqu'à nos jours.

Peut-être la petite taille des Oiseaux, donc aussi des besoins en nourriture plus faibles, un régime alimentaire plus varié que celui des gros herbivores ou des carnivores stricts, une plus grande mobilité et une meilleure capacité à se cacher (LANGLOIS & THOMAS 2003), ont-ils été des avantages ? Peut-être que des oiseaux granivores ont pu continuer à trouver des graines au sol. Mais tout ceci reste indéterminé et largement discuté parmi les spécialistes.

Conclusion

Deux ans après la publication de « *L'origine des espèces* » de DARWIN, Thomas Henry HUXLEY, biologiste britannique très célèbre, avait comparé des fossiles d'*Archaeopteryx* et de *Compsognathus*, deux petits Dinosaures Théropodes découverts en Allemagne et datant du Jurassique. Il avait alors, en 1861, avancé l'hypothèse que les Oiseaux étaient bien des Dinosaures. Longtemps débattue, cette hypothèse avait été abandonnée avant d'être reprise par John OSTROM en 1969 sur la base d'autres fossiles. Puis la découverte au début des années 1990, dans le Liaoning, en Chine, de nombreux fossiles de dinosaures à plumes datant de 125 millions d'années a confirmé cette hypothèse. Comme les fossiles d'*Archaeopteryx* sont plus anciens, il est donc quasi certain que des Maniraptoridés à plumes non aviens ont vécu à une date encore antérieure, peut-être vers 170 millions d'années ou encore avant, mais on n'en a pas encore trouvé de fossiles. Il faut dire que le site du Liaoning est exceptionnel en ce sens que de très nombreux animaux (oiseaux, mammifères, insectes, poissons, amphibiens, tortues, lézards, crocodiles et dinosaures), mais aussi premières plantes à fleurs comme *Archeafructus liaoningensis*, ont été particulièrement bien conservés par des couches de cendres volcaniques très fines qui ont permis de retrouver de très petits détails anatomiques. Mais ce n'est pas le cas des autres sites, surtout ceux datant du Jurassique, période pauvre en fossiles. On a toutefois trouvé récemment en Chine un fossile d'*Anchiornis huxleyi*, Troodontidé daté de 161 à 151 millions d'années et ayant de grandes plumes aux quatre membres et à la queue (LANGLOIS 2010). L'apparition et la diversification des Maniraptoridés remonteraient alors au Jurassique moyen.

La plupart des paléontologues se sont ralliés à cette classification des Oiseaux, l'analyse comparative des structures de squelette et l'analyse génétique étant venues la confirmer.

Les Oiseaux sont des animaux bipèdes, ovipares, endothermes⁷ et pourvus de plumes. Placés auparavant comme intermédiaires entre les reptiles et les Mammifères, les Oiseaux sont aujourd'hui classés dans le groupe des Dinosaures comme le montrent désormais la paléontologie et la phylogénétique.

⁷ Endotherme : leur chaleur interne est produite par leur propre organisme.

« L'apparement très étroit des Oiseaux et des [autres] Dinosaures Théropodes est aujourd'hui établi de manière fiable à la fois sur la base du partage d'une multitude de caractères dérivés et de toute une série de transformations affectant des éléments squelettiques » (LECOINTRE in supra).

Les Oiseaux ne dérivent pas des Ptérosaures, ces animaux volants qui ne sont pas des Dinosaures, mais ils dérivent de Dinosaures Théropodes. Même si plusieurs questions restent encore discutées, un consensus parmi les spécialistes définit ainsi les Oiseaux comme un groupe monophylétique de Dinosaures aviens, dont les premiers représentants ont vécu il y a 150 à 200 millions d'années, et qui a échappé à l'extinction de la fin du Crétacé.

De nombreuses espèces d'oiseaux modernes sont aujourd'hui très menacées, directement ou indirectement, par les activités humaines et l'on pourrait assister à la 6^e grande crise du Vivant, après celle qui a décimé les Dinosaures non aviens, cette 6^e crise étant exceptionnelle par sa rapidité !



Élodie ROSINSKI, Dominique TISSIER
LPO Rhône

Dessin n°4 : *Archaeopteryx lithographica*, combat entre mâles, Élodie ROSINSKI

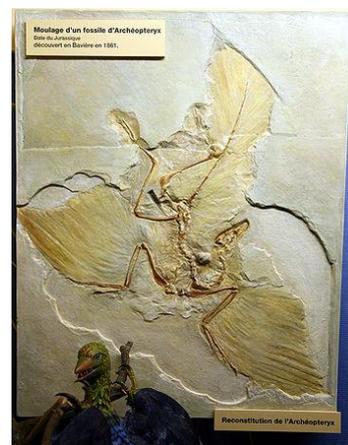
Bibliographie

- DARWIN C. (1859). *L'origine des espèces*. Flammarion (texte établi par Daniel BECQUEMONT à partir de la traduction d'Edmond BARBIER), novembre 2008, Paris, 621 pages.
- DAWKINS R. (2011). *Le plus grand spectacle du monde*. Free Press/Simon & Schuster. Librairie Arthème Fayard - Pluriel (pour la traduction française), Paris, 514 pages.
- DONGYU HU, LIANHAI HOU, LIJUN ZHANG & XING XU (2009). A pre-Archaeopteryx troodontid theropod from China with long feathers on the metatarsus. *Nature*, 461, 640-643.
- FAIN M. G. & HOUDE P. (2004). Parallel radiations in the primary clades of Birds. Department of Biology, New Mexico State University. *Evolution* 58(11), 2004, pp. 2558-2573.
- FUCHENG ZHANG, KEARNS S.L., ORR P.J., BENTON M.J., ZHONGHE ZHOU, JOHNSON D., XING XU & XIAOLIN WANG (2010). Fossilized melanosomes and the colour of cretaceous dinosaurs and birds. *Nature*, 463, 1075-1078.
- GARGAUD M. (dir.), MARTIN H., LOPEZ-GARCIA P., MONTMERLE T. & PASCAL R. (2009). *Le Soleil, la Terre... la vie*. Belin, Paris, 302 pages.
- GODEFROIT P., SINITSA S.M., DHOUILLY D., BOLOTSKY Y.L., SIZOV A.V., MCNAMARA M.E., BENTON M.J., SPAGNA P. (2014). A Jurassic ornithischian dinosaur from Siberia with both feathers and scales. *Science* vol. 345.
- GOULD S.J. (1989). *La vie est belle*. Editions du Seuil (pour la traduction française), mai 1991, Paris, 470 pages.

- HEDENSTRÖM A. & JOHANSSON L.C. (2015). Bat flight. *Current Biology* 25(10): R399-R402. Voir aussi : https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/le-vol-de-la-chauve-souris-ou-comment-se-passer-des-plumes_3854 Le vol de la chauve-souris ou comment se passer des plumes, d'après les travaux d'Anders HEDENSTRÖM (Lund University, Suède) – 2007.
- LANGLOIS C. (2010). *Plumes fossiles et évolution des oiseaux*. EPOC, Université Bordeaux 1. Forum Planet Terre éducol. ENS de Lyon. Sur : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/plumes-dinosaures-oiseaux.xml>
- LANGLOIS C. & THOMAS P. (2003). *Les survivants de la crise Crétacé-Tertiaire*. Forum Planet Terre éducol. ENS de Lyon. <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/extinction-limite-kt.xml>
- LECOINTRE G. (dir.), FORTIN C., GUILLOT G. & LE LOUARN-BONNET M.L. (2009). *Guide critique de l'évolution*. Belin, Paris, 572 pages.
- MANNING P.L., EDWARDS N.P., WOGELIUS R.A., BERGMANN U., BARDEN H.E., LARSON P.L., SCHWARZ-WINGS D., EGERTON V.M., SOKARAS D., MORIB R.A. & SELLERSE W.I. (2013). Synchrotron-based chemical imaging reveals plumage patterns in a 150 million year old early bird. *Journal of analytical atomic spectrometry*, 31 mai 2013.
- MARTIN R., KNOLL F. *et al.* (2018). Un rare fossile de bébé oiseau découvert. *Nature Communication*. In <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/paleontologie-rare-fossile-bebe-oiseau-decouvert-70411/>. Voir aussi Lida XING in : <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/paleontologie-oisillon-100-millions-annees-decouvert-ambre-67598/>.
- MILLER A.L. (1953). A fossil Hoatzin from the Miocene of Colombia. *Auk*, vol. 70, 484-489.
- PADIAN K. & DE RICQLES A. (2009). L'origine et l'évolution des oiseaux : 35 années de progrès. *Comptes Rendus Palevol*, 8, 2-3, 257-280.
- PRUM R.O. & BRUSH A. (2005). Pour la science n°48 - Paléontologie. Les plumes de dinosaures. <https://www.pourlascience.fr/sd/paleontologie/les-plumes-de-dinosaures-5729.php>
- QUANGUO LI, KE-QIN GAO, VINTHER J., SHAWKEY M.D., CLARKE J.A., D'ALBA L., QINGJIN MENG, BRIGGS D.E.G. & PRUM R.O. (2010). Plumage color patterns of an extinct dinosaur, *Science*, vol. 327, n°5971, 1369-1372.
- STEYER S. (2009). *La Terre avant les dinosaures*. Belin, Paris, 203 pages.
- TURNER A.H., MAKOVICKY P.J. & NORELL M.A. (2007). Feather quill knobs in the dinosaur Velociraptor. *Science*, vol. 317, n° 5845.

Pour aller un peu (ou beaucoup) plus loin :

- Longtemps, il était impossible de représenter toutes les espèces sur un même schéma. Aujourd'hui, grâce à la puissance des ordinateurs, on peut "naviguer" de taxon en taxon sur un écran. Par exemple, le site « Lifemap » <http://lifemap.univ-lyon1.fr/> permet de zoomer depuis les cellules eucaryotes jusqu'à chaque espèce, parmi plus de 14 millions ! Une option simplifiée pour le grand public décrit seulement 800.000 espèces anciennes ou actuelles.
- Un autre site (aussi en anglais) présente tous les schémas de la classification phylogénétique de façon beaucoup plus détaillée que les trois schémas très simplifiés que l'on a présentés dans cet article. Il s'agit du site <http://tolweb.org/tree/phylogeny.html>. « Tree of Life »



Fossile d'Archaeopteryx

Voir aussi : https://fr.wikipedia.org/wiki/Dinosaures_à_plumes et ses liens.

Et, pour les illustrations qui ont inspiré celles de cet article :

- <https://emilywilloughby.com>
- <https://danneart.deviantart.com/art/Velociraptor-mongoliensis-736973103>



Age de la Terre : -4.568.000.000
 Premières traces de vie : environ -3.500.000.000
 Premier oiseau connu : vers -150.000.000
 Première espèce du genre *Homo* : *Homo habilis* (vers -2.900.000)
Homo sapiens : à partir de -200.000 ou peut-être -300.000

Velociraptor mongoliensis, É. ROSINSKI

Echelle des temps géologiques					
d'après la Commission internationale de stratigraphie					
ère	période		à partir de		
HADÉEN			-4540,0	formation de la Planète	
ARCHÉEN			-4000,0	bactéries et archées	
PROTÉOZOÏQUE	...		-2500,0	eucaryotes	
	Édiacarien		-635,0	faune d'Édiacara	
PALÉOZOÏQUE	Cambrien		-541,0	faune de Burgess	
	Ordovicien		-485,4	invertébrés	
	Silurien		-443,8	arthropodes terrestres	
	Dévonien		-419,2	vertébrés terrestres	
	Carbonifère		-358,9	sauropsides	
	Permien		-298,9	archosaures	
MÉZOZOÏQUE	Trias		-252,17	premiers dinosaures	
	Jurassique		-201,30	premiers mammifères	
	Crétacé		-145,00	premiers oiseaux	
CÉNOZOÏQUE	Paléogène		-66,00	primates	
	Néogène		-23,03	hominidés	
	Quaternaire	Pléistocène		-2,58	<i>Homo sapiens</i>
		Holocène		-0,0117	agriculture
			Ma		

Résumé :

Une approche phylogénétique de la systématique permet de classer aujourd'hui les Oiseaux dans le groupe monophylétique des Dinosaures. Ce sont des Dinosaures Théropodes Maniraptoridés, digitigrades, ovipares et homéothermes, ayant un plumage et des ailes permettant à la plupart de voler. Le plus ancien fossile connu d'Oiseau est *Archaeopteryx lithographica* daté de 150 millions d'années. Les oiseaux modernes constituent un groupe monophylétique dont quelques-unes des plus anciennes familles vivant au Crétacé ont survécu à la grande crise de la fin du Crétacé qui a décimé les autres Dinosaures.

Summary:

A phylogenetic approach of the systematics allows Birds to be classified today in the monophyletic group of Dinosaurs. They are homothermous, oviparous, digitigrade, Maniraptor, Theropodous Dinosaurs and having plumage and wings enabling most to fly. The oldest known Bird fossil is *Archaeopteryx lithographica* dated 150 million years. Modern birds make up a monophyletic group including some of the oldest families living in the Cretaceous which survived the great crisis at the end of the Cretaceous which decimated other Dinosaurs.