

## Les oiseaux sont-ils des reptiles ?



Marc Girondot

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY

1

## Étymologie

- Du verbe latin *repere*, ramper dont le participe passé est *reptus* et le participe présent *reptilis*.
- Donnera aussi le mot français *reptation*.



3

## Les reptiles « classiques »

### • Lépidosaures

- Squamates (lézards dont serpents)
- Sphénodon



### • Archosaures

- Crocodiliens
- Dinosaures †

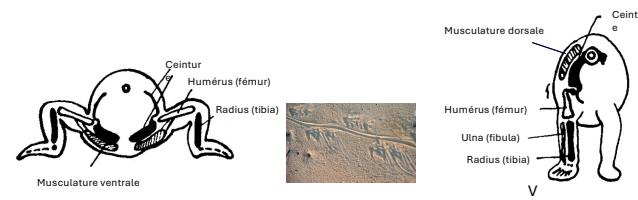
### • Chéloniens



2

## Les reptiles

- L'origine du terme vient de la démarche particulière des membres du groupe chez lesquels le corps traîne sur le sol lors de la marche. Cette démarche est liée à la position transverse des membres à l'opposition de la position parasagittale des mammifères par exemple.



4

**Les animaux à membres à position transverse**

*Ornithorhynchus anatinus*

L'ornithorynque, qui est un mammifère, présente aussi des membres à position transverse. C'est en fait une caractéristique ancestrale (plésiomorphie) des amniotes qui ne peut être utilisée pour justifier un rapprochement des reptiles entre eux.

5

**Synapomorphies des reptiles**

- Ornithine ou acide ornithurique
  - Un acide aminé produit de l'arginine par hydrolyse est excrété dans l'urine des reptiles et des oiseaux.

L-Arginine (B1)      Arginase      L-Ornithine (B2) + Urée (B3)

7

## Synapomorphies des reptiles

- Présence d'une quille ventrale sous les vertèbres cervicales, l'hypapophyse.

Sphénonodon

Lézard

Varan

Couleuvre

hy : quille ventrale (hypapophyse), arn : arc neural, cy : condyle, di : diapophyse, pap : parapophyse, ple : pleuroscentre, ply : pleurapophyse, pra : proatlas, pz : postzygapophyse, z : zygosphène

Figure 2  
Figure 3  
Figure 4

6

## Excration de l'azote chez les vertébrés

- Chez les animaux, ces déchets azotés produits par notre métabolisme se présentent sous trois formes : l'ammoniac, l'urée et l'acide urique.
- Chez les actinoptérygiens l'acide urique dégradé aboutit à la formation d'ammoniaque ( $\text{NH}_4^+$ ) éliminé principalement au niveau des branchies. Ils sont **ammoniétiques**. L'ammoniac, très毒ique, ne peut circuler qu'à l'état très dilué ce qui n'est pas un problème chez des animaux aquatiques.
- Les amphibiens, les Mammifères et certains poissons marins ainsi que des Reptiles, éliminent par contre de l'urée, forme de déchet azoté demandant beaucoup moins d'eau pour être excrété. Ils sont **urétiques**.
- Les oiseaux et les reptiles excrètent l'azote aussi sous forme d'acide urique. Cette forme de déchet leur permet une économie maximale d'eau. En effet l'acide urique peut être excrété sous forme quasi solide, souvent mélangé aux matières fécales lors de son passage dans le cloaque (le guano en est un exemple). L'ornithine est aussi excrétée chez ces espèces. Ils sont **uricotéliques**.
  - Un avantage de l'uricotélisme concerne le stockage de déchets azotés dans l'œuf sous forme insoluble : l'urée qui est soluble serait toxique pour l'embryon et nuirait à son bon développement.
  - Wideman, R. F. (1988). Avian kidney anatomy and physiology. CRC Critical Rev Poultry, 1, 133-176.
- Beaucoup de reptiles sont capables de changer de mode d'excration selon les conditions du milieu.

8

## Diversité des modes d'excrétion de l'azote chez les reptiles

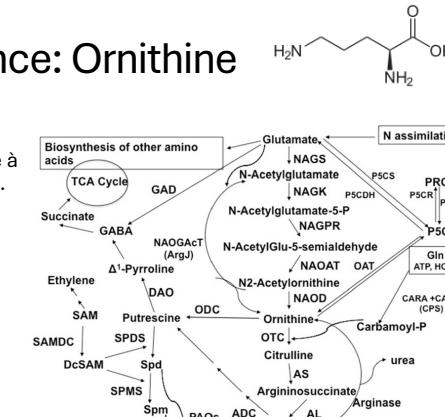
Divers, S. J., & Stahl, S. J. (2019). *Mader's reptile and amphibian medicine and surgery* (3rd edition ed.). Elsevier.

Spécies	% Total de déchet azotés		
	Ammoniac	Uréa	Acide unique
<b>Chéloniens (Aquatiques à semi-aquatiques)</b>			
<i>Turtlemydas</i>	4-44	45-95	1-24
<i>Pelomedusavariabilis</i>	19	24	5
<i>Chelydorserrapinosa</i>	11	80	10
<i>Erym'scincularis</i>	14	47	3
<i>Kinixyserosa</i>	6	61	4
<b>Chéloniens (Terrestres)</b>			
<i>Centrochelyssulcata</i>	3	20	55
<i>TestudoKleemannii</i>	4	49	34
<i>Testudo graeca</i>	4	22	52
<i>Gecocheloneelegans</i>	6	9	56
<i>Cophurabrevissima</i>	3-18	15-50	20-50
<b>Serpents (Serpents)</b>			
<i>Colubercaeruleocephalus</i>	0	0	58
<i>Spalerosophisdiadema</i>	4	2	69
<i>Gongylophiscolubrinus</i>	6	0	63
<b>Squamates (Sauriens)</b>			
<i>Ophiophagusjaponicus</i>	<1	1	99-99
<i>Anoliscarolinensis</i>	13	13	73
<i>Scincusseptemlineatus</i>	3	0	93
<b>Crocodiliens (d'eau douce)</b>			
<i>Crocodylusniloticus</i>	66	5	21
<i>Caiman crocodilus</i>	53	6	27
<b>Crocodiliens (d'eau de mer)</b>			
<i>Crocodylusporosus</i>	77	21	2

9

## Convergence: Ornithine

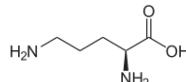
- Chez les plantes, l'ornithine est formée à partir du L-glutamate.



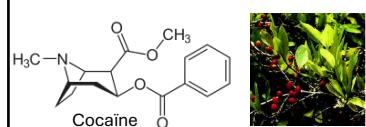
Majumdar, R., Barchi, B., Turlapati, S. A., Gagne, M., Minocha, R., Long, S., & Minocha, S. C. (2016). Glutamate, ornithine, arginine, proline, and polyamine metabolic interactions: The pathway is regulated at the post-transcriptional level. *Front Plant Sci*, 7, 78. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00078>

10

## Ornithine chez les plantes



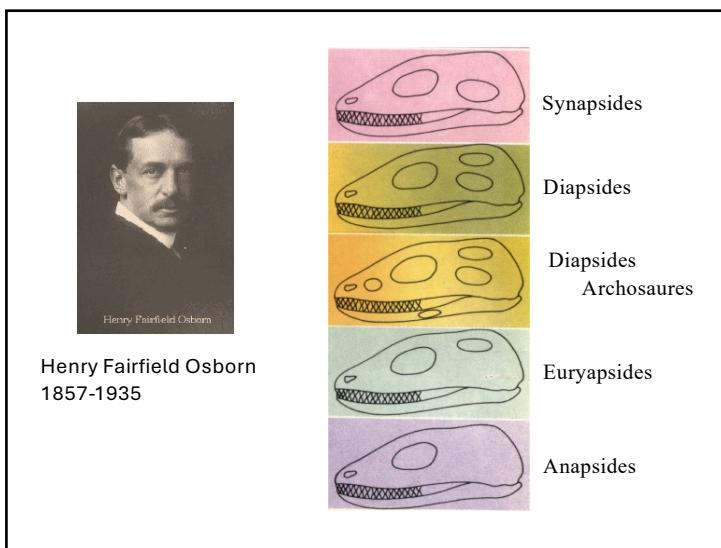
- Chez les plantes, l'ornithine est un des précurseurs des alcaloïdes tropaniques.
  - Ces derniers sont des esters d'alcools tropaniques et d'acides carboxyliques. L'ornithine est à l'origine du cycle pyrrolidinique du noyau de l'alcool tropanique.
  - Les alcaloïdes tropaniques sont une classe d'alcaloïdes et de métabolites secondaires caractérisée par un cycle de tropane.
  - Ils sont présents dans de nombreuses Solanacées et Érythroxylacées
    - L'atropine, présente par exemple dans la belladone (*Atropa belladonna*).
    - La cocaïne chez le cocaier (*Erythroxylum coca*).



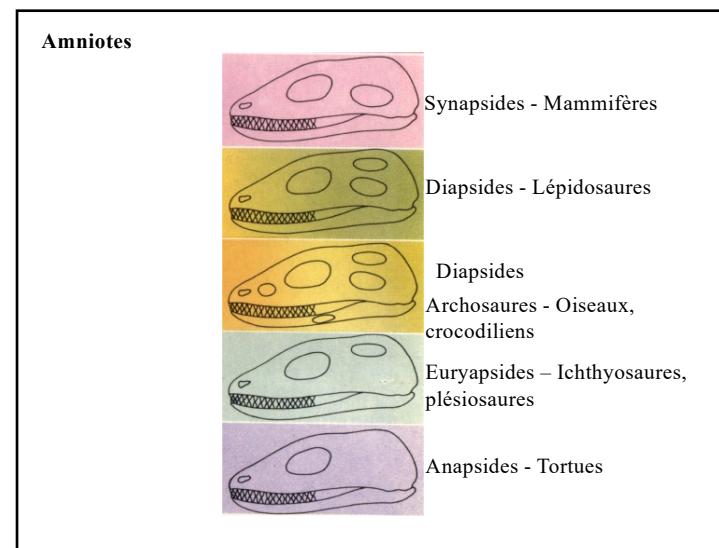
## La systématique des “reptiles”

11

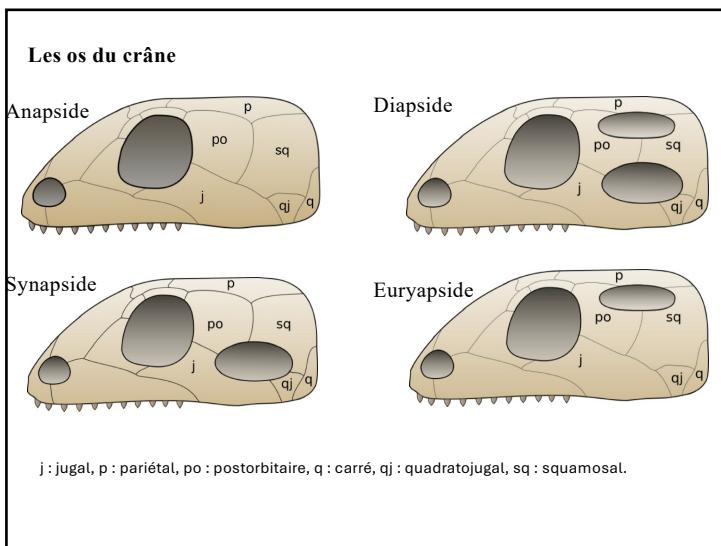
12



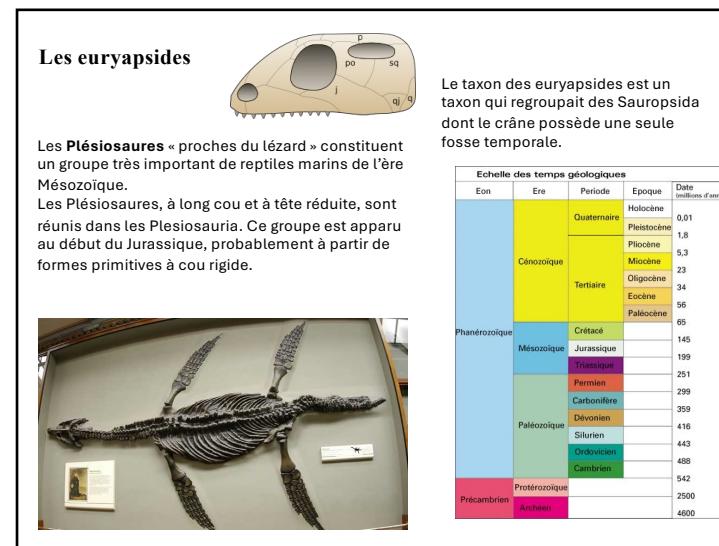
13



14



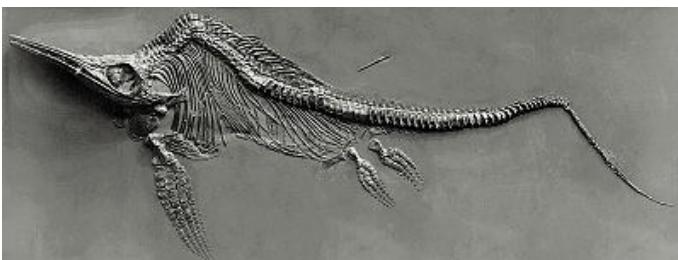
15



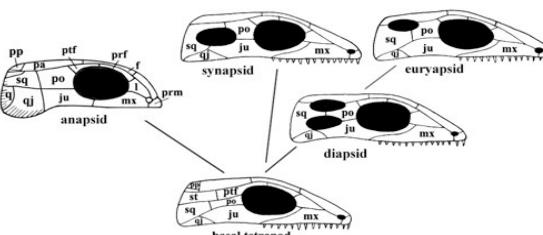
16

### Les euryapsides

Les **Ichthyosaures** « lizards-poissons » étaient parfaitement adaptés à la vie marine. Ce sont les reptiles marins les plus spécialisés. La poussée, au cours de la nage, était surtout le fait de la caudale, grâce aux ondulations du corps, rendues possibles par la transformation des vertèbres axiales, devenues semblables à celle des Poissons.



17

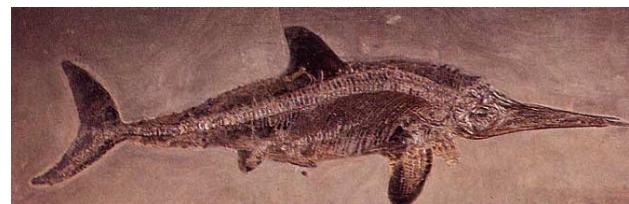


La structure euryapside est une régression à partir d'une structure diapside.

19

### Les euryapsides

Cette nageoire caudale était hypocerque c'est-à-dire que le lobe inférieur était plus allongé que le lobe supérieur. Ces membres étaient transformés en véritables nageoires. Les doigts constituaient un ensemble flexible en forme de palette, grâce à l'augmentation des phalanges et des doigts eux-mêmes. Leur nombre pouvait varier d'un minimum de 3 à un maximum de 8. Ces nageoires ne furent découvertes que lorsque l'on eut mis au jour, dans le gisement d'Holzmaden, des exemplaires complets avec leur peau. Les empreintes de peau fossilisée révèlent une peau lisse et sans écaille. Les ichthyosaures étaient vivipares.



18

### Les oiseaux sont des diapsides

- Diapsides même si la barre entre les fenêtres et l'orbite a été perdue.

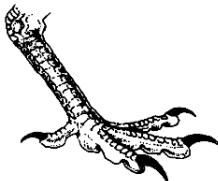
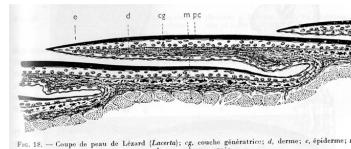


Le squelette des oiseaux est réduit par rapport à celui de leurs ancêtres en raison des contraintes de masse liées au vol.

20

## Caractéristiques des oiseaux communes avec celles des reptiles

- Acide ornithurique: un amino-acide produit de l'arginine par hydrolyse  
 $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CHNH}_2\text{COOH}$
- Hypophyse de la vertèbre
- Présence d'écaillles épidermiques



Scutes, scutellae et reticulae de la patte des oiseaux

FIG. 18. — Coupe de peau de Lizard (*Lacerta*): e: couche granuleuse; d: derme; e: épiderme; m: muscle; pc: plaque osseuse.

21

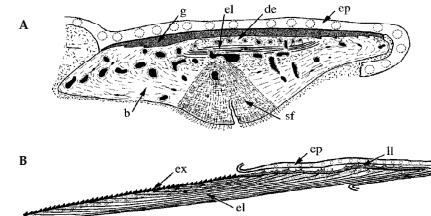
## Caractéristiques des oiseaux communes avec les mammifères

- Membre dressé
- Homéotherme
- Cœur à 4 cavités séparées deux à deux

— Les oiseaux sont-ils des reptiles ou des mammifères qui s'ignorent ?

23

## L'écaille épidermo-dermique, rappel



A: Ecaille ganoïde de polyptéridé ; B : Ecaille élasmoïde d'un téléostéen cichlidé (b: os; d: derme; de: dentine; ep: épiderme; el: élasmodine; ex: couche externe; g: ganoïne; hy: hyaloïne; ll: couche limitante; od: odontode; sf: fibres de Sharpey; sl: couche superficielle).

22

## Caractéristiques des oiseaux distinctes de celles des “reptiles” et des mammifères

- Présence de plumes
- Présence d'un gésier
- Présence d'un seul arc aortique droit
- Fusion des clavicules
- Sacs aériens dans les os
- Pelote de réjection
- Comportement

24

## Les plumes

- Présence de plumes ...



25

## Les premiers oiseaux avaient déjà des plumes



*Archaeopteryx lithographica*  
Jurassique supérieur  
150-130 millions d'années



26

## Origine des plumes

- Lorsque un embryon d'oiseau est traité avec de l'acide rétinoïque, les écailles sur la partie supérieure des pattes (reticulae) se transforment en plumes.



Dhouailly D, Hardy MH, Sengel P.  
1980. Formation of feathers on chick foot scales: a stage-dependent morphogenetic response to retinoic acid. J Embryol Exp Morphol 58:63-78.

27

## Origine des plumes

- Les poulets de la race Faverolles présentent un développement important des plumes à la place des écailles des pattes (scutes).



28

## Un dinosaure à plumes ?

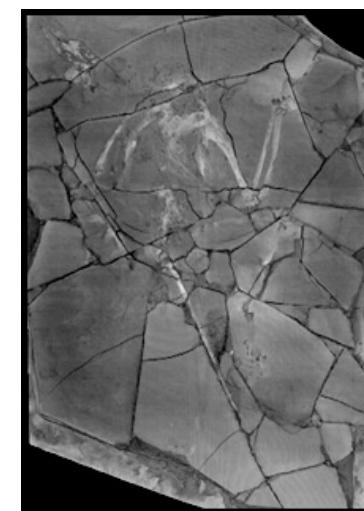


*Archaeoraptor liaoningensis*,  
décrit dans National Geographic  
1999



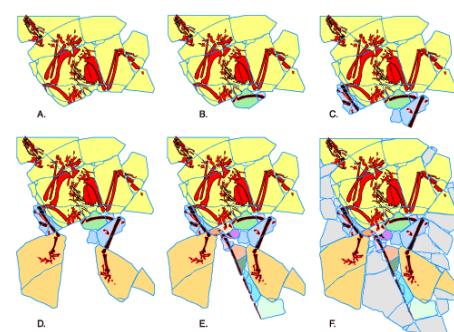
29

## Analyse de la structure de la roche par tomographie



30

C'était un faux qui est un mélange de plusieurs dinosaures et d'un oiseau primitif

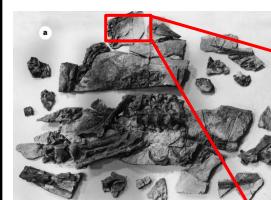


31

## A therizinosauroid dinosaur with integumentary structures from China

Xing Xu\*, Zhi-lu Tang\* & Xiao-lin Wang\*†

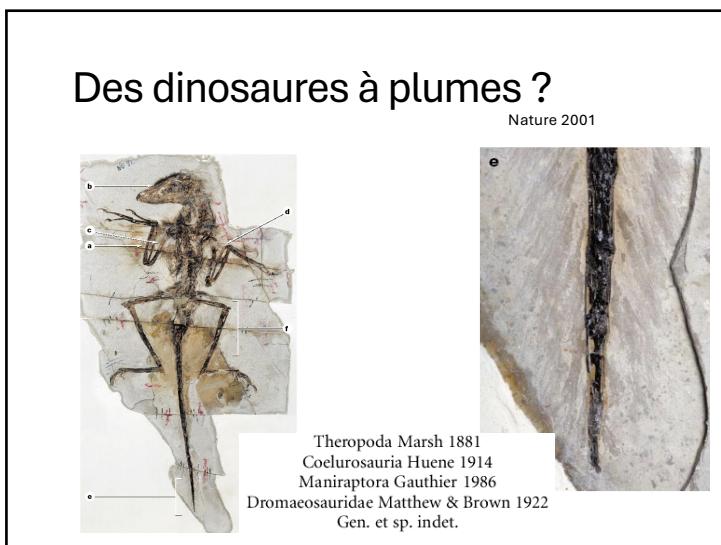
Dinosauria Owen 1842  
Theropoda Marsh 1881  
Coelurosauria sensu Gauthier 1986  
Therizinosauroides Russell and Dong 1993  
*Beipiaosaurus inexpectus* gen. et sp. nov.



A  
Caudipteryx  
Oviraptoridae  
Troodontidae  
Ornitholestidae  
Baryonychidae  
Alvarezsauroidea  
Therizinosauroides



32



33

Les structures décrites posent problème car elles ne ressemblent pas aux plumes actuelles

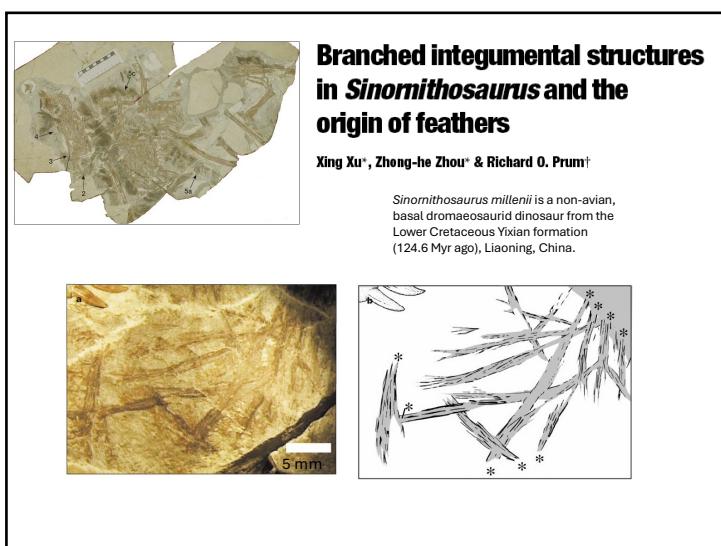
Fibres de collagène sur la queue d'un serpent



« S'il s'agissait de morceaux de peau, de tissu conjonctif ou de quelque chose d'autre, ils ne contiendraient pas de mélanosomes. »

Michael J. Benton  
Professeur de paléontologie des vertébrés à l'Université de Bristol

34



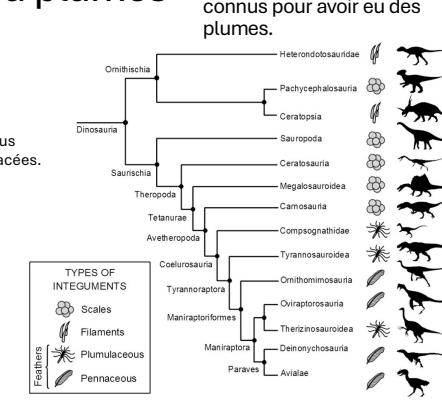
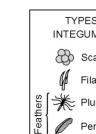
35

Pascal Godefroit, Andrea Cau, Dong-Yu Hu, François Escuillié, Wenhao Wu et Gareth Dyke, « A Jurassic avian dinosaur from China resolves the early phylogenetic history of birds », Nature, vol. 498, no 7454, 2013, p. 359-362

## Dinosaures à plumes

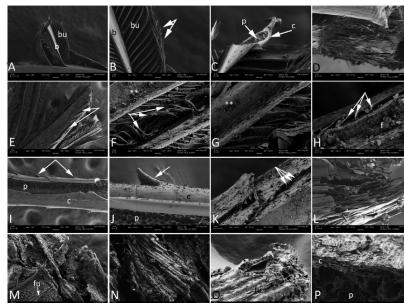


Une plume de duvet d'autruche est un exemple de plumulacée. Son rachis rudimentaire avec de longues barbes flexibles et de barbules allongées ne peuvent pas former d'ailettes.



36

## Dinosaures à plumes



Schweitzer MH, Zheng W, Moyer AE, Sjovall P, Lindgren J (2018) Preservation potential of keratin in deep time. PLoS One 13: e0206569 doi 10.1371/journal.pone.0206569

37

Plumes fossiles

Plumes actuelles

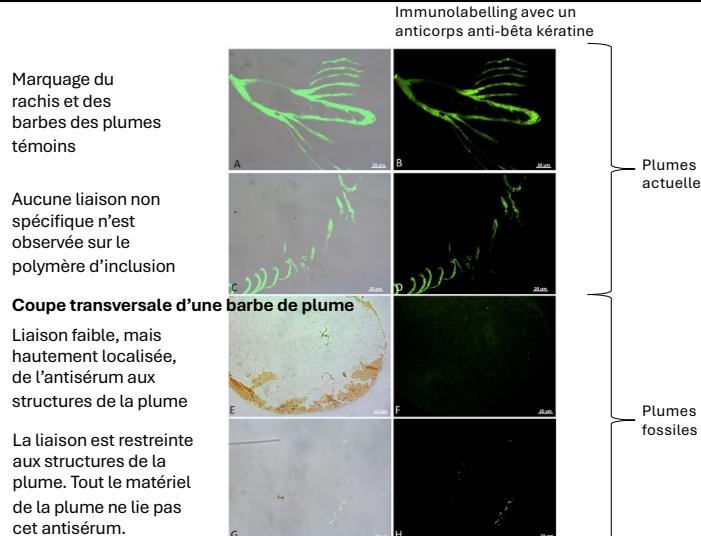
## La couleur des plumes

- La coloration des plumes des oiseaux est un signal très fort utilisé pour le choix du partenaire sexuel et génère la sélection sexuelle:



Le Passerin nonpareil (*Passerina ciris*) ou Pape de Louisiane, est une espèce de passereau de la famille des Cardinalidae.

39



38

## Couleur des plumes chez les dinosaures

- La coloration des dinosaures est généralement l'une des grandes inconnues du domaine de la paléontologie, car la pigmentation de la peau est presque toujours perdue au cours du processus de fossilisation.
- Cependant, des études portant sur des dinosaures à plumes ont montré que la couleur de certaines espèces peut être déduite grâce à l'analyse d'organites déterminant la couleur, appelés mélanosomes, qui sont préservés dans les plumes fossilisées.

40

## Couleur des plumes chez les dinosaures

- En 2010, un squelette bien conservé d'*Anchiornis*, un avéraptorien de la formation de Tiaojishan en Chine, possédait des mélanosomes dans ses plumes fossilisées. Comme des mélanosomes de formes différentes déterminent des couleurs différentes, l'analyse de ces mélanosomes a permis d'inférer qu'*Anchiornis* possédait des plumes noires, blanches et grises sur l'ensemble de son corps, ainsi qu'une crête de plumes rouge foncé ou ocre sur la tête.



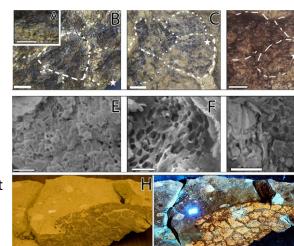
Reconstruction de la couleur du plumage du troodontidé du Jurassique *Anchiornis huxleyi*.

Li, Q., Gao, K. Q., Vinther, J., Shawkey, M. D., Clarke, J. A., D'Alba, L., Meng, Q., Briggs, D. E., & Prum, R. O. (2010). Plumage color patterns of an extinct dinosaur. *Science*, 327(5971), 1369-1372. <https://doi.org/10.1126/science.1186290>

41

## Et chez les dinosaures sans plumes ?

- La peau fossile provient de diplodocidés juvéniles. La microscopie électronique à balayage révèle deux couches épidermiques fossilisées dans les écailles, qui diffèrent par la densité en inclusions et en carbone. Deux types distincts d'inclusions sont regroupés et dispersés au sein de la couche épidermique potentiellement la plus externe.
  - Les premiers sont de forme oblongue et sont interprétés comme des mélanosomes. La nature du second type d'inclusions, de forme discoïde, n'est pas claire, mais leur morphologie aplatie rappelle celle des mélanosomes en plaquettes, bien qu'ils soient de plus petite taille.



**En conclusion, les jeunes diplodocus avaient un patron de coloration non-uniforme.**

Gallagher, T., Folkes, D., Pittman, M., Kaye, T. G., Storrs, G. W., & Schein, J. (2025). Fossilized melanosomes reveal colour patterning of a sauropod dinosaur. *Royal Society Open Science*, 12, 251232. <https://doi.org/10.1098/rsos.251232>

43

## Couleur des plumes chez les dinosaures

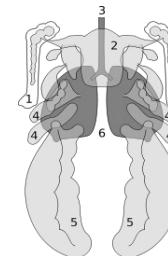
- En 2015, un autre spécimen a été signalé comme possédant des mélanosomes induisant une coloration grise et noire, mais aucune coloration rouge ou brune. Cela pourrait être dû à un dimorphisme sexuel, à des différences dans les méthodes d'analyse, ou encore à un âge ou une espèce différente pour le second spécimen étudié.

Lindgren, J., Sjovall, P., Carney, R. M., Cincotta, A., Uvdal, P., Hutcheson, S. W., Gustafsson, O., Lefevre, U., Escuillie, F., Heimdal, J., Engdahl, A., Gren, J. A., Kear, B. P., Wakamatsu, K., Yans, J., & Godefroit, P. (2015). Molecular composition and ultrastructure of Jurassic paravian feathers. *Sci Rep*, 5, 13520. <https://doi.org/10.1038/srep13520>

42

## Les sacs aériens

- Chez les oiseaux, les os sont creux et les sacs aériens s'étendent vers de nombreux organes.



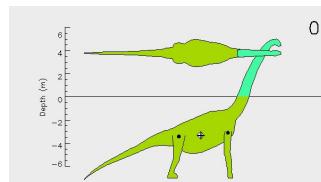
Système respiratoire du pigeon  
1 Humérus "creux".  
2 Sac aérien interclaviculaire.  
3 Trachée.  
4 Sacs aériens thoraciques.  
5 Sacs aériens abdominaux.  
6 Poumons.

44

Henderson DM (2004) Tipsy punters: sauropod dinosaur pneumaticity, buoyancy and aquatic habits. Proc Biol Sci 271 Suppl 4: S180-183 doi 10.1098/rsbl.2003.0136

### Sacs aériens chez les sauroptéries

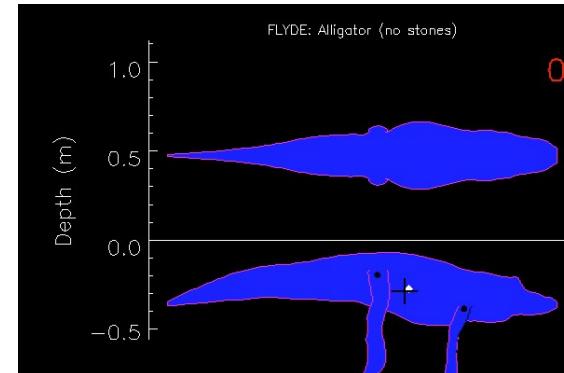
- Donald Henderson (University of Calgary, Canada) propose que les sacs aériens présents sur les vertèbres des sauroptéries leur servaient à flotter.



Cette hypothèse expliquerait pourquoi on trouve toujours des traces de pattes avant fossilisées.

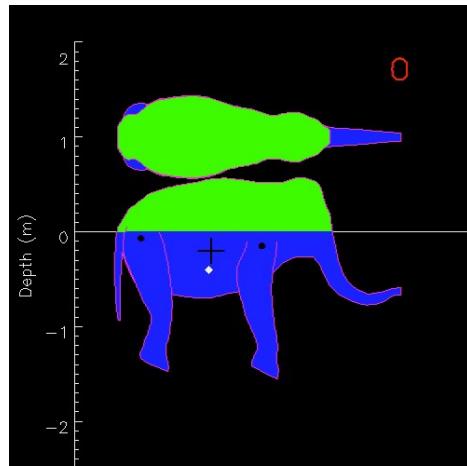
45

### Exemple chez un crocodilien



46

### Exemple chez un mammifère



47

### Le problème

- Si on trouve des sacs aériens chez les sauroptéries, ne serait-ce pas une convergence car ils n'ont pas été décrits chez les fossiles des premiers oiseaux ?



48

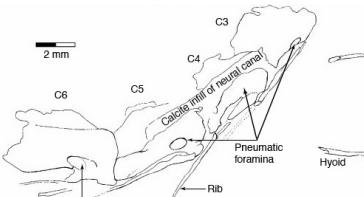
## Réexamen d'Archéopteryx



### Postcranial pneumatization in *Archaeopteryx*

Brooks B. Britt\*, Peter J. Makovicky†, Jacques Gauthier‡ & Niels Bonde§

Nature 1998



The purported lack of postcranial pneumatic features in *Archaeopteryx* has been interpreted as a primitive condition of avians; this raises doubts about the homology between postcranial pneumatic features of birds and non-avian theropods. Here we re-examine two specimens of *Archaeopteryx*. These specimens show evidence of vertebral pneumaticity in the cervical and anterior thoracic vertebrae, thus confirming the phylogenetic continuity between the pneumatic systems of non-avian theropods and living birds.

49

## Posture lors du sommeil



## Le comportement

- Comment se fossilise un comportement ?

50

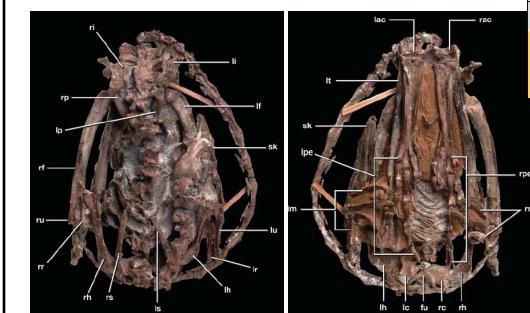
## Posture lors du sommeil

Theropoda Marsh, 1881  
Maniraptora Gauthier, 1986  
Troodontidae Gilmore, 1924  
*Mei long* gen. et sp. nov.

**A new troodontid dinosaur from China with avian-like sleeping posture**

Xing Xu<sup>1,2</sup> & Mark A. Norell<sup>3</sup>

Nature, octobre 2004



51

52

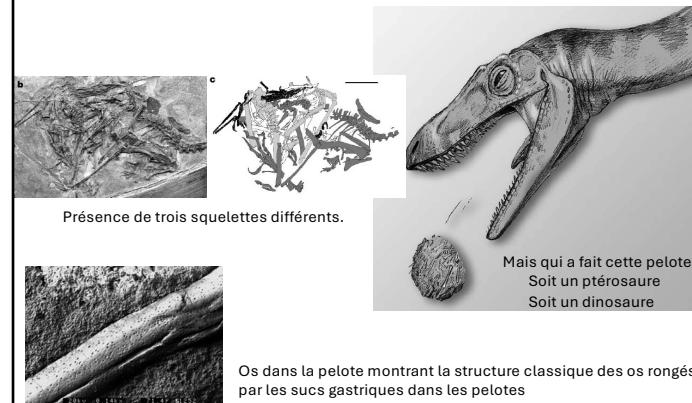
## Pelotes de réjection

- Les oiseaux avalent leurs proies entières, d'un seul coup sans retirer la peau, ni les os. Lorsque les proies sont de grosses tailles, tout ce qui n'est pas digéré (os, poils et plumes) se rassemble lentement et remonte dans l'oesophage pour être expulsé à l'extérieur sous forme d'une pelote. Ainsi, l'estomac est vidé, ce qui lui permet de remanger à nouveau.



53

## Présence de pelotes de réjection



54

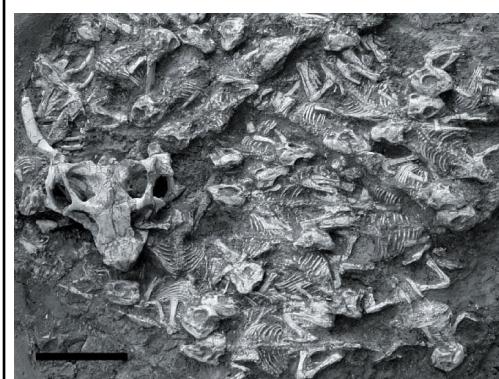
## Soins parentaux chez les crocodiliens et les oiseaux



55

## Parental care in an ornithischian dinosaur

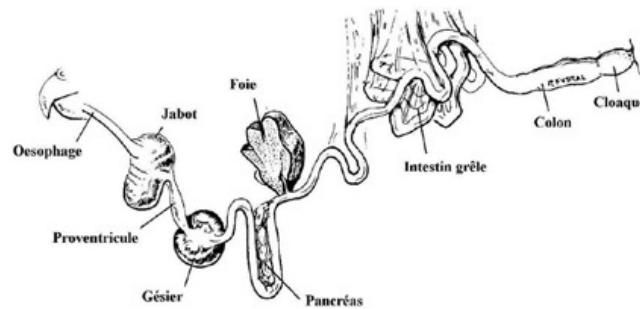
A dramatic fossil may shed light on how modern archosaurs became devoted parents.



Qingjin Meng\*, Jinyuan Liu\*,  
David J. Varrichio†, Timothy Huang‡,  
Chunling Gao\*  
Nature, Septembre 2004

56

## Le système digestif



57

## Le gésier

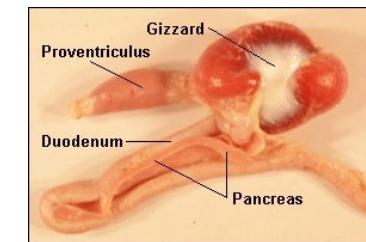
Exemple de contenu de gésier chez un canard:  
présence de plomb de pêche en plus de  
gastrolithes !



59

## Le gésier (*gizzard* en anglais)

Différenciation glandulaire de l'œsophage permettant une mastication grâce à la présence de pierres stockées par l'animal.  
Compense l'absence de dents.

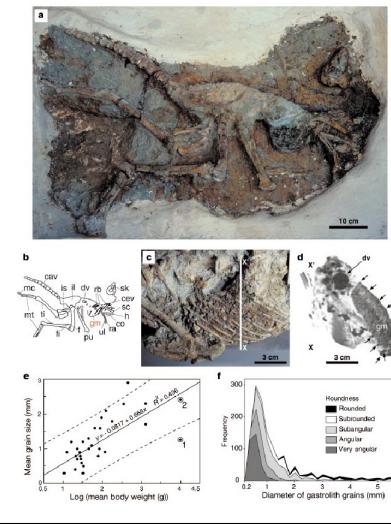


58

## Gastrolithes chez un Ornithomimid

Nature 1999

Saurischien, Théropode



60

## Utilisation particulière du gésier chez des amazones du Pérou



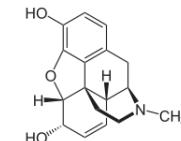
61

## Pourquoi manger de l'argile ?



Fruit du guarana

Les alcaloïdes sont des molécules organiques hétérocycliques azotées ayant souvent des actions pharmacologiques très puissantes (morphine ci-contre, strychnine).

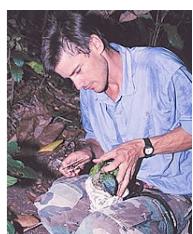


Un certain nombre de fruits possèdent un enveloppe charnue comestible mais des graines toxiques. Ainsi la plante s'assure une dispersion efficace car ses fruits sont mangés et les graines dispersées intactes. En effet, si un prédateur digère les graines, il s'intoxique.

Or les graines possèdent des éléments nutritifs très riches et les perroquets les brisent avec leur bec pour les manger. Comment résistent-ils alors aux alcaloïdes présents dans la graine ?

62

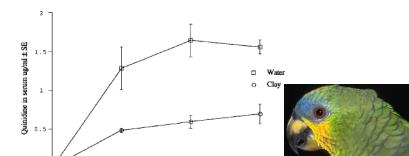
## Pourquoi manger de l'argile ?



James Gilardi a proposé que l'argile soit un chélatant pour ces alcaloïdes.

Une pitulle contenant un alcaloïde faiblement毒ique (quinidine) a été donnée à huit perroquets captifs.

Huit autres oiseaux ont été nourris de la même pitulle avec une petite cuillerée d'argile. Ensuite, des échantillons de sang de tous les perroquets ont été analysés afin de voir comment la quinidine a été absorbée par les perroquets.



La réponse fut très claire, ceux ayant ingurgité aussi de l'argile n'avaient qu'un tiers de quinidine dans le sang en comparaison de ceux n'en ayant pas reçus.

Fig. 7. Effect of clay ingestion on the bioavailability of quinidine in orange-winged Amazon parrots (*Amazona amazonica*).

63

## Transmission culturelle de l'habitude ? Chez des aras d'Amazonie



64

Où convergence ?  
Chez des cacatoès d'Australie



65

Géophagie chez des populations humaines



Mais cette pratique peut conduire à des occlusions intestinales ainsi qu'à une chélation du fer d'où une adsorption moindre de celui-ci et à des carences.

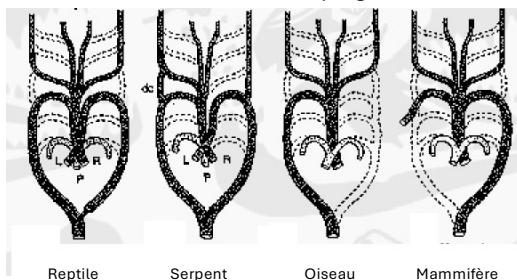
66

### Anatomie des arcs aortiques

Reptiles: 2 arcs aortiques

Oiseaux: arc aortique droit

Mammifères: arc aortique gauche



67

### Anatomie des dinosaures



Figure 1 The holotype of *Diplopois semicirculus*, gen. et sp. nov., fossilized in a beige limestone from the Lower Orotaccio (Albian) of Pietraroia (Benevento, Salerno).

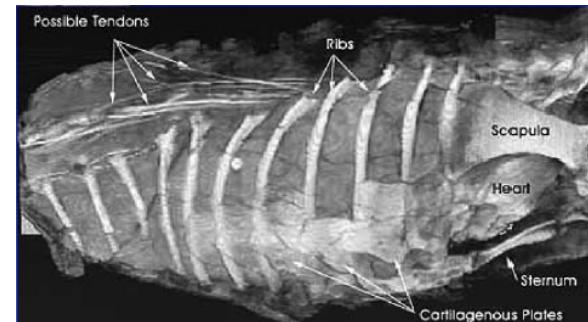
68

Anatomie des dinosaures, l'intestin



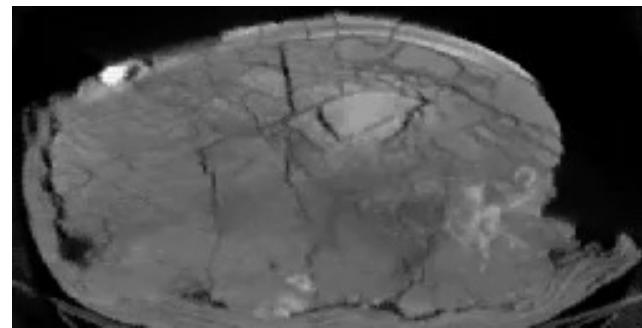
69

Willo, *Thescelosaurus*  
(Ornithischien)



70

En coupes...



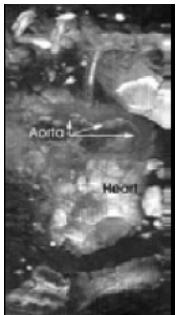
71

Passage au scanner de Willo



72

### Interprétation...



Dinosaure: 1 arc aortique droit comme les oiseaux

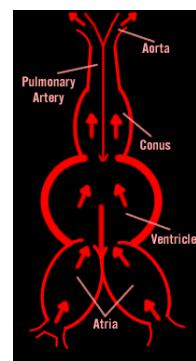
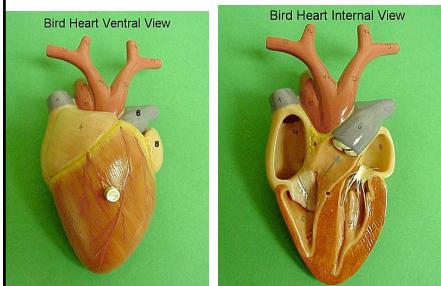
73

### Caractéristiques communes des oiseaux avec les mammifères

Y-a-t'il un groupe *Homeothermia* ?

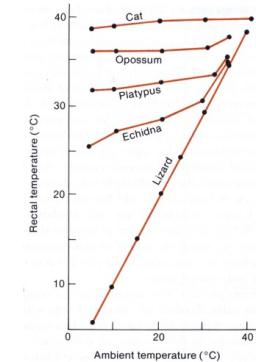
74

### Le cœur à 4 cavités séparées deux à deux



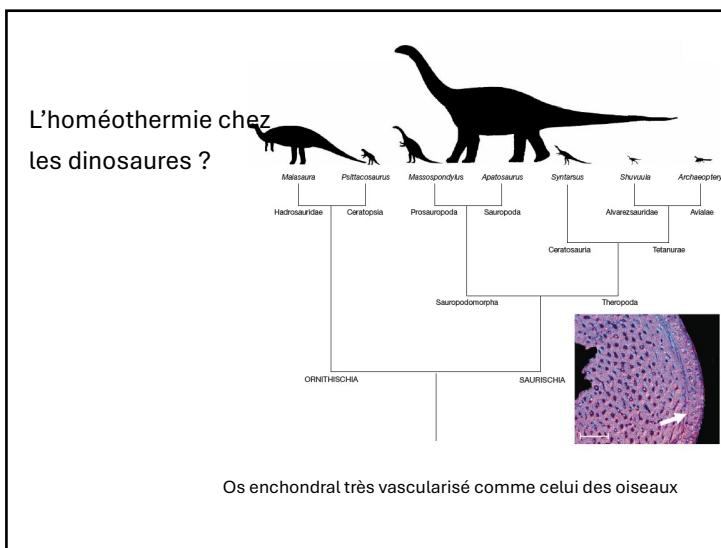
### Homéothermie

- Maintien d'une température corporelle constante



75

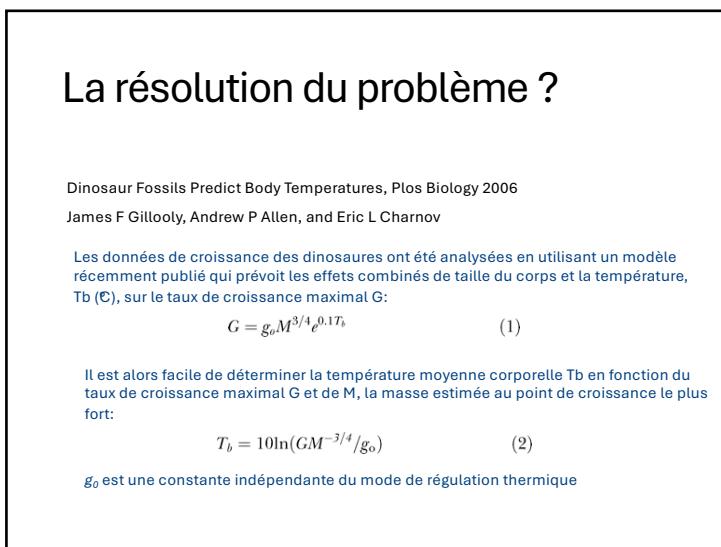
76



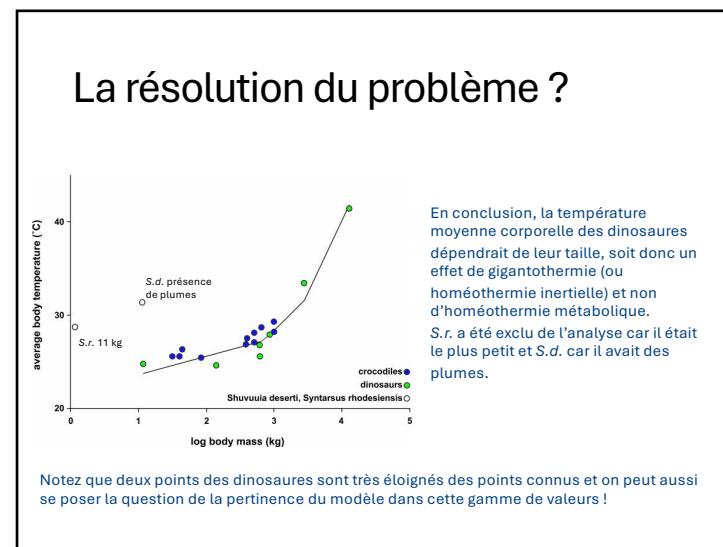
77



78

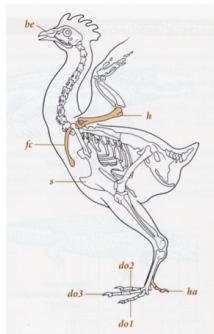


79



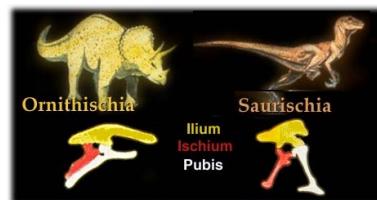
80

## Membre dressé



81

## Structure du bassin des dinosaures



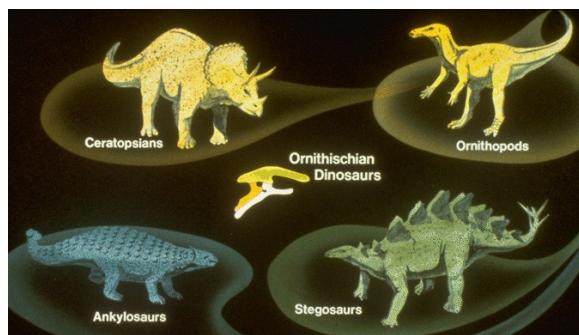
Ornithischiens= Bassin de type oiseau  
Saurischiens= Bassin de type lézard

H.G. Seeley (1888)

La principale différence tient à la direction du pubis.  
Chez les saurischiens, cet os pointe vers l'avant de l'animal et s'évase formant une carène vers l'avant. Les ornithischiens ont un pubis inversé qui pointe vers la queue et est parallèle à l'ischium.

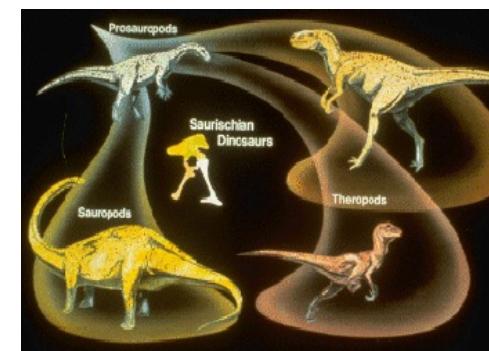
82

## Les ornithischiens



83

## Les saurischiens



84

## L'éthymologie complique les choses

L'éthymologie derrière les deux noms (bassin de type "oiseau" et "lézard") est plutôt gênante, puisque les hanches des ornithischiens étaient semblables à celle des oiseaux en raison de l'évolution convergente, non en raison de la généalogie partagée.

Les oiseaux sont apparemment descendus de dinosaures saurischiens, mais ont un pubis similaire à celui des ornithischiens. Quelques parents proches d'oiseaux chez les saurischiens ont aussi cette même caractéristique, ainsi, donc la dichotomie ornithischien-saurischien n'est pas si simple.

Les noms "Ornithischia" et "Saurischia" sont utilisés pour se référer à la généalogie commune de leurs membres respectifs et non aux caractéristiques des bassins.

85

## Analyses phylogénétiques

- Basées sur des caractères moléculaires, en particulier le génome mitochondrial entier, pour étudier la position des oiseaux parmi les reptiles.
- Basées sur des caractères morphologiques, notamment pour étudier la relation des oiseaux au sein des dinosaures.

86

Zardoya R, Meyer A, 1998. Complete mitochondrial genome suggests diapsid affinities of turtles. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 95: 14226-14231.

Les oiseaux sont groupes-frères des crocodiliens au sein des archosaures.

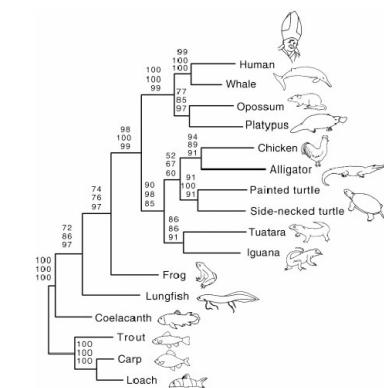


FIG. 3. Phylogenetic position of the turtle. A data set combining the two rRNA mitochondrial genes (12S and 16S) was analyzed with MP, NJ, and ML phylogenetic methods (upper, middle, and lower numbers above branches, respectively). Numbers shown above branches represent bootstrap values from 100 pseudoreplicates. Rainbow trout, carp, and loach were used as outgroup taxa.

87

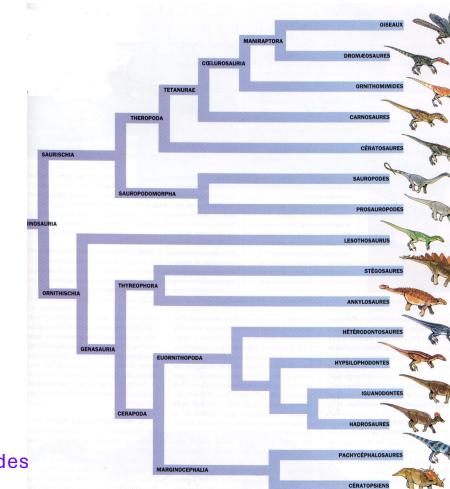
## Evolution des oiseaux

Saurischia

Dinosauria

Ornithischia

Les oiseaux sont des dinosaures saurischiens groupe-frère des Droméosaures au sein des Maniraptors.



88

Les oiseaux sont des dinosaures saurischiens  
groupe-frère des Droméosaures au sein des  
Maniraptors.

Les oiseaux sont donc des reptiles au sens  
phylogénétique du terme !



89

## Une idée ancienne...

Huxley T.H., On the animals which are most nearly intermediate between birds and reptiles, Ann. Mag. Nat. Hist. 2 (1868) 66–75.

Huxley T.H., Further evidence on the affinity between the Dinosaurian Reptiles and Birds, Proc. Geol. Soc. London 26 (1) (1870) 12–31.

Thomas Henry Huxley  
(1825-1895)



90