

## Les oiseaux sont-ils des reptiles ?



Marc Girondot

université  
PARIS-SACLAY

FACULTÉ  
DES SCIENCES  
D'ORSAY

1

## Les reptiles « classiques »

- Lépidosaures
  - Squamates (lézards dont serpents)
  - Sphénodon
- Archosaures
  - Crocodiliens
  - Dinosauriens †
- Chéloniens



2

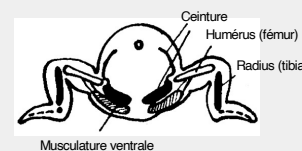
## Ethymologie

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

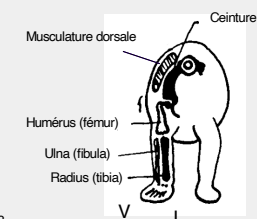
3

## 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.



Trace de varan, Gabon 2008



4

Hall BK (1999) The Paradoxical *Platypus*. Bioscience 49: 211–218

## 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

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

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

6

## Synapomorphies des reptiles

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

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 (L'atropine, présente par exemple dans la belladone. La cocaïne, de la coca ; *Erythroxylum coca*).

7

## La systématique des "reptiles"

8



Henry Fairfield Osborn  
1857-1935

Osborn, 1903

- Synapsides
- Diapsides
- Diapsides Archosaures
- Euryapsides
- Anapsides

9

Amniotes

- Synapsides - Mammifères
- Diapsides - Lépidosaures
- Diapsides Archosaures - Oiseaux, crocodiliens
- Euryapsides – Ichthyosaures, plésiosaures
- Anapsides - Tortues

10

Les os du crâne

Anapside

Diapside

Synapside

Euryapside


j : jugal, p : pariétal, po : postorbitaire, q : carré, qj : quadratojugal, sq : squamosal.

11

Les euryapsides

Le taxon des euryapsides est un taxon qui regroupait des Sauropsida dont le crâne possède une seule fosse temporale.

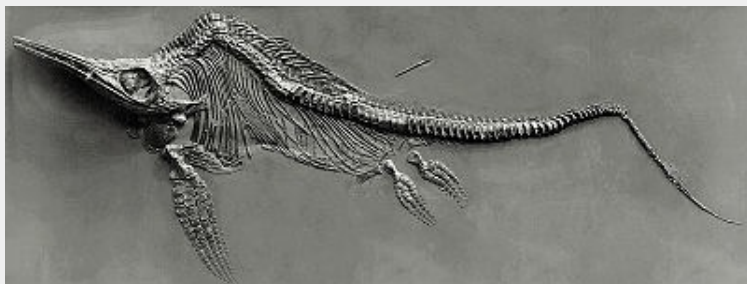
Les **Plésiosaures** « proches du lézard » constituent un groupe très important de reptiles marins de l'ère Mésozoïque. Les Plésiosaures, à long cou et à tête réduite, sont réunis dans les Plesiosauria. Ce groupe est apparu au début du Jurassique, probablement à partir de formes primitives à cou rigide.



12

### Les euryapsides

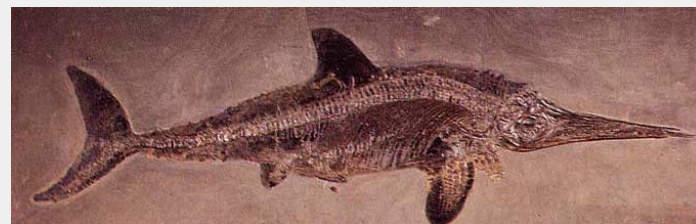
Les **ichthyosaures** « lézards-poissons » étaient parfaitement adaptés à la vie marine. Ce sont les reptiles marins les plus spécialisés. La poussée, au cours de la nage, était surtout le fait de la caudale, grâce aux ondulations du corps, rendues possibles par la transformation des vertèbres axiales,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



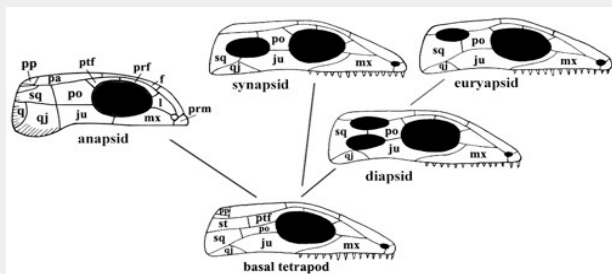
13

### 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.



14



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

15

### Les oiseaux sont des diapsides

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



16

## Caractéristiques des oiseaux communes avec celles des reptiles

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

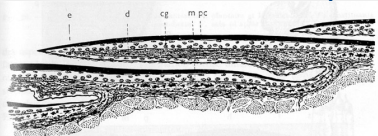
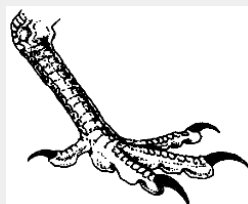


FIG. 18. — Coupe de peau de Lézard (*Lacerta*): ep, couche épidermique; d, derme; m, muscle; p, plique cornée.

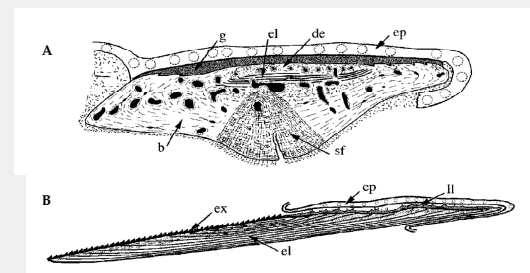


Scutes, scutellae et reticulae de la patte des oiseaux

Écailles de lézards

17

## L'écaille épidermo-dermique, rappel



A: Écaille ganoïde de polyptéridé ; B : Écaille 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).

18

## 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 ?

19

## 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

20

## Les plumes

- Présence de plumes ...



21

## Les premiers oiseaux avaient déjà des plumes



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



22

## Origine des plumes

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

23

## Origine des plumes

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



24

## Un dinosaure à plumes ?

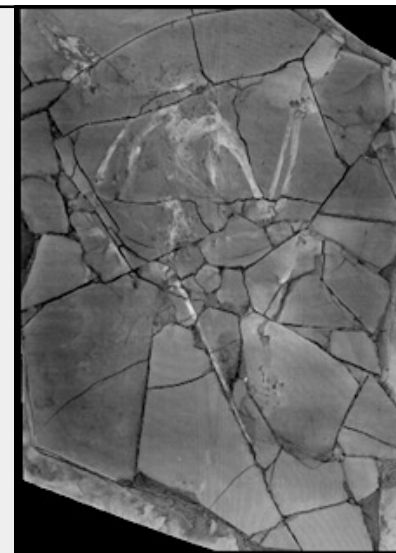


*Archaeopteryx liaoningensis*,  
décrit dans National Geographic  
1999



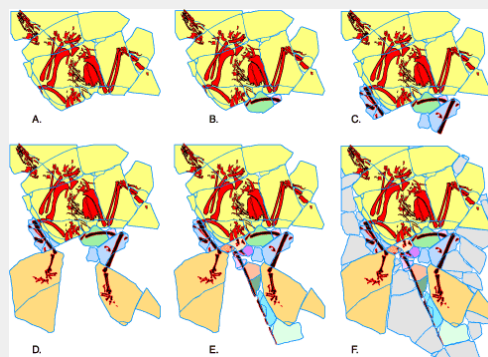
25

## Analyse de la structure de la roche par tomographie



26

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



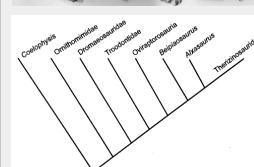
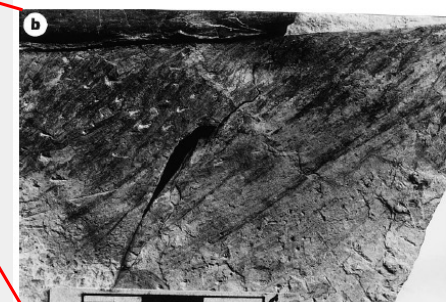
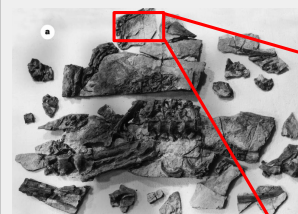
27

## Nouveau dinosaure en 1999

### 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  
Therizinosauroida Russell and Dong 1993  
*Beipiaosaurus inexpectus* gen. et sp. nov.



28

## Des dinosaures à plumes ?

Nature 2001



Theropoda Marsh 1881  
 Coelurosauria Huene 1914  
 Maniraptora Gauthier 1986  
 Dromaeosauridae Matthew & Brown 1922  
 Gen. et sp. indet.

29

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

Fibres de collagène sur la queue d'un serpent




30

## Branched integumental structures in *Sinornithosaurus* and the origin of feathers

Xing Xu\*, Zhong-he Zhou\* & Richard O. Prum†

*Sinornithosaurus millenii* is a non-avian, basal dromaeosaurid dinosaur from the Lower Cretaceous Yixian formation (124.6 Myr ago), Liaoning, China.

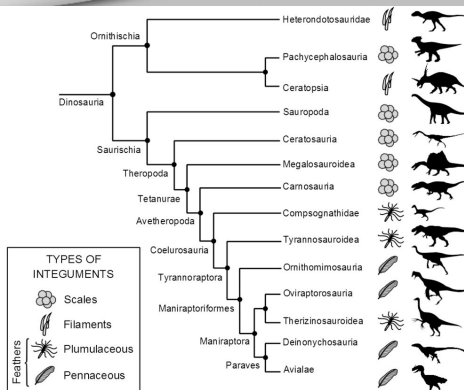


31

## Dinosaures à plumes

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

- plus de vingt genres de dinosaures, pour la plupart des théropodes, sont connus pour avoir eu des plumes.



32



## Dinosaures à plumes

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

33

Immunolabelling avec un anticorps anti-bêta kératine

34

## 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.

35

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

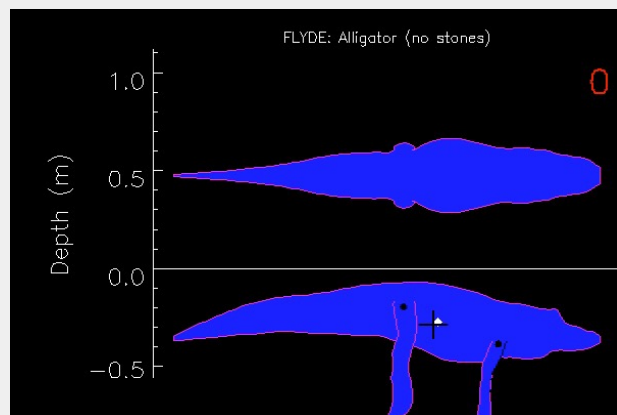
## Sacs aériens chez les sauropodes

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

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

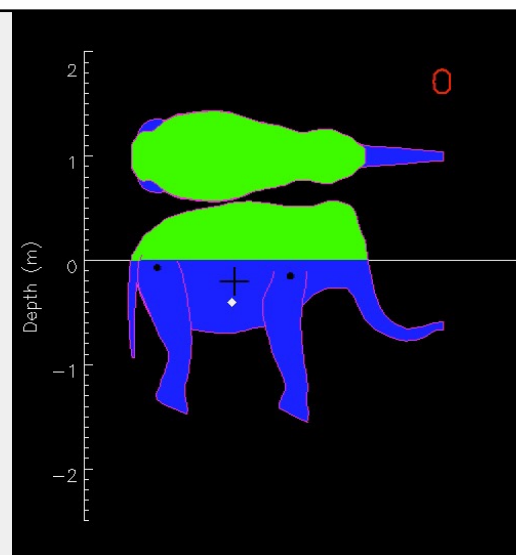
36

## Exemple chez un crocodilien



37

## Exemple chez un mammifère



38

## Le problème

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

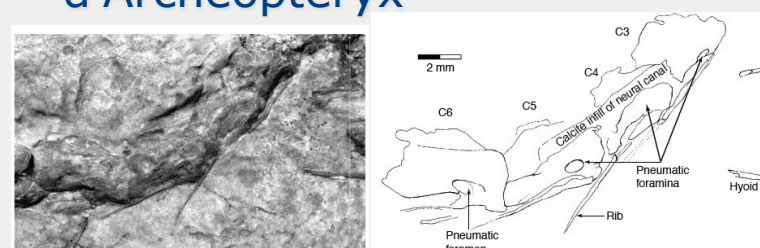


39

## Réexamen d'Archéopteryx

### Postcranial pneumatization in *Archaeopteryx*

Brooks B. Britt<sup>1</sup>, Peter J. Makovicky<sup>1</sup>, Jacques Gauthier<sup>1</sup> & Niels Bonde<sup>2</sup>  
Nature 1998



The purported lack of postcranial pneumatic features in *Archaeopteryx* has been interpreted as a primitive condition of avialans; 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.

40

## Le comportement

- Comment se fossilise un comportement ?

41

## Posture lors du sommeil



42

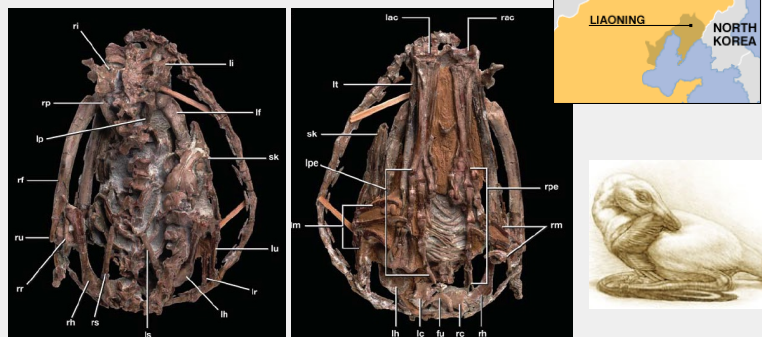
## Posture lors du sommeil

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

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

Nature, octobre 2004

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



43

## 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.



44

## Présence de pelotes de réjection

Présence de trois squelettes différents.

Mais qui a fait cette pelote ?  
Soit un ptérosaure  
Soit un dinosaure

Os dans la pelote montrant la structure classique des os rongés par les sucs gastriques dans les pelotes

45

## Soins parentaux chez les crocodiliens et les oiseaux

Nid d'*Alligator mississippiensis*

2000, Soins paternel chez *Crocodylus siamensis*

46

## 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. Varricchio†, Timothy Huang‡, Chunling Gao\*

Nature, Septembre 2004

47

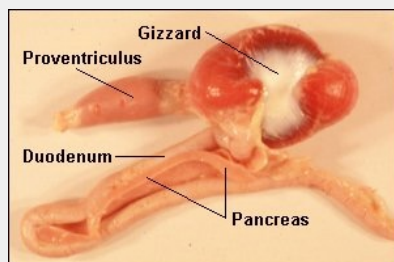
## Le système digestif

Oesophage  
Jabot  
Proventricule  
Gésier  
Pancréas  
Foie  
Intestin grêle  
Colon  
Cloaque

48

## 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.



49

## Le gésier

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

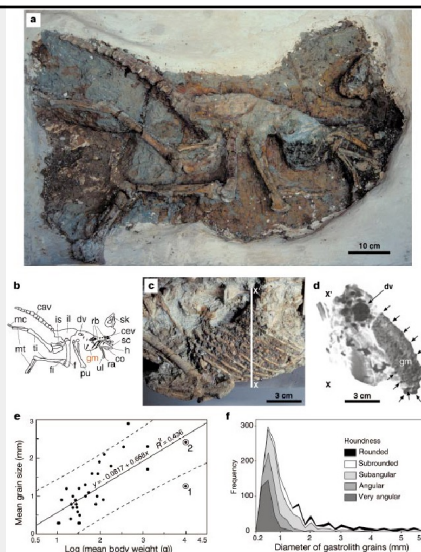


50

## Gastrolithes chez un Ornithomimid

Nature 1999

Saurischien, Théropode



51

## Utilisation particulière du gésier chez des amazones du Pérou



52

## Pourquoi manger de l'argile ?

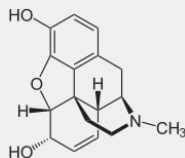


Fruit du guarana

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

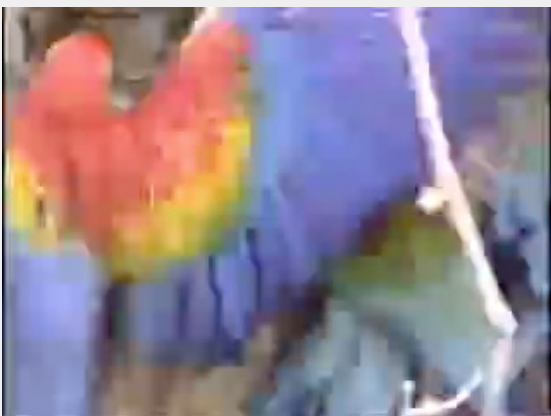
Un certain nombre de fruits possèdent un enveloppe charnue comestible mais des graines toxiques. Ainsi la plante s'assure une dispersion efficace car ses fruits sont mangés et les graines dispersées intactes. En effet, si un prédateur digère les graines, il s'intoxique.

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 ?



53

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



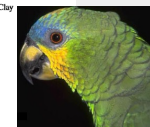
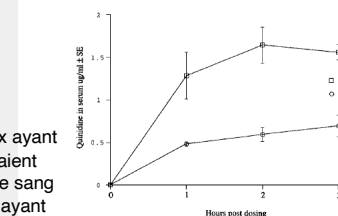
55

Gilardi, J. D., S. S. Duffey, C. A. Munn, and L. A. Tell. 1999. Biochemical functions of geophagy in parrots: detoxification of dietary toxins and cytoprotective effects. *Journal of Chemical Ecology* 25:897-922.

## Pourquoi manger de l'argile ?



James Gilardi a proposé que l'argile soit un chélatant pour ces alcaloïdes. Une pilule contenant un alcaloïde faiblement toxique (quinidine) a été donnée à huit perroquets captifs. Huit autres oiseaux ont été nourris de la même pilule 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 reçu.

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

54

## Ou convergence ? Chez des cacatoès d'Australie



56

## 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.

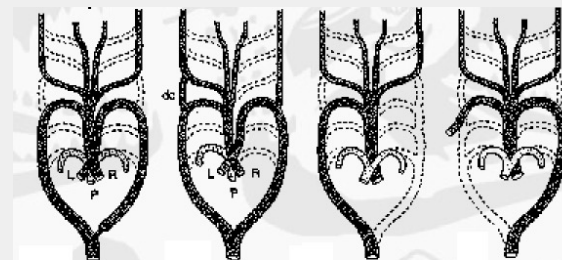
57

## Anatomie des arcs aortiques

Reptiles: 2 arcs aortiques

Oiseaux: arc aortique droit

Mammifères: arc aortique gauche



Reptile

Serpent

Oiseau

Mammifère

58

## Anatomie des dinosaures



Figure 1 The holotype of *Sceloporus samniticus*, gen. et sp. nov., fossilized in a southern Italy). Scale bar, 2 cm. Courtesy of the Soprintendenza Archeologica, Salerno.

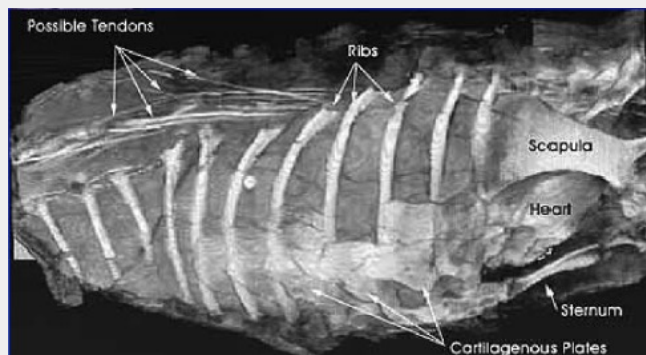
59

## Anatomie des dinosaures, l'intestin



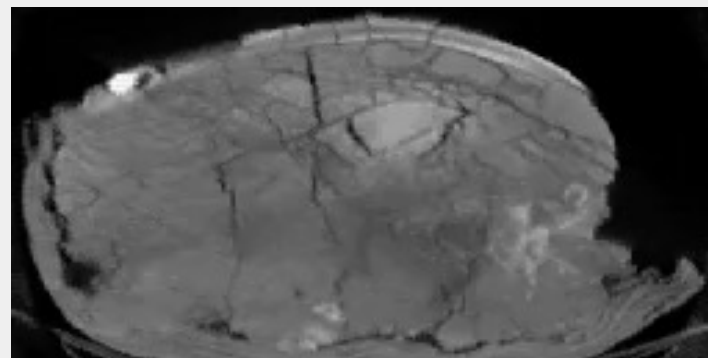
60

## Willo, Thescelosaurus (Ornithischien)



61

## En coupes...



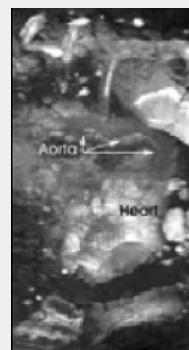
62

## Passage au scanner de Willo



63

## Interprétation...



Dinosaure: 1 arc aortique droit comme les oiseaux

64




## Caractéristiques communes des oiseaux avec les mammifères

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

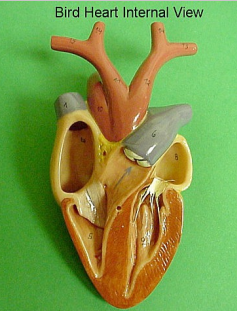
65

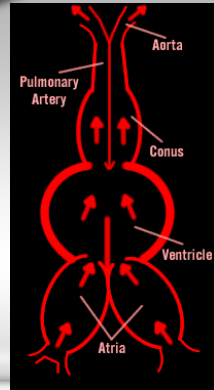
## Le cœur à 4 cavités séparées deux à deux

Bird Heart Ventral View



Bird Heart Internal View



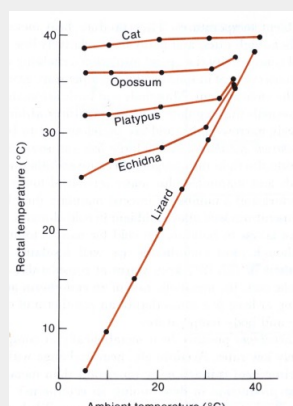


« Reptile »

66

## Homéothermie

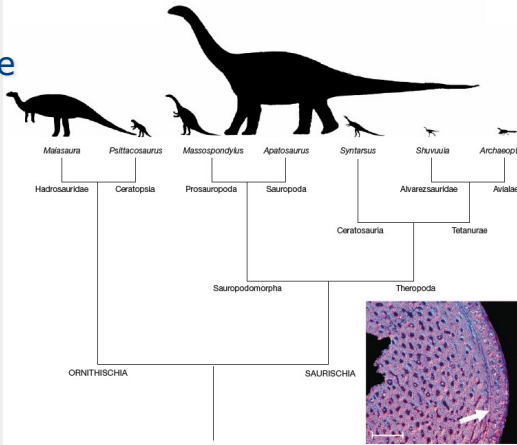
- Maintien d'une température corporelle constante




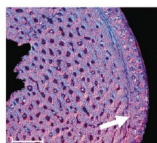
Ambient temperature (°C)	Cat (°C)	Opossum (°C)	Platypus (°C)	Echidna (°C)	Lizard (°C)
0	~38	~35	~32	~28	~5
10	~38	~35	~32	~28	~10
20	~38	~35	~32	~28	~20
30	~38	~35	~32	~28	~30
40	~38	~35	~32	~28	~40

67

## L'homéothermie chez les dinosaures ?







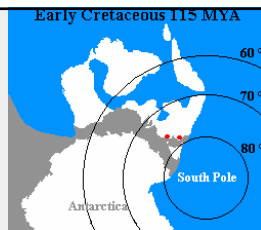
Os enchondral très vascularisé comme celui des oiseaux

68

## Des dinosaures polaires ?

Des dinosaures du crétacé ont récemment été trouvés au sud de l'Australie et au Nord de l'Alaska. A cette période, ces deux zones étaient plus proches du pôle qu'aujourd'hui. En assumant que l'obliquité de la Terre n'a pas changé, ces dinosaures doivent avoir vécu des nuits de six mois. La température annuelle moyenne locale y a été très grossièrement évaluée de 0° C à 13° C (utilisation de fossiles de plantes et d'isotopes d'oxygène), qui est plus haut qu'aujourd'hui, mais la température pouvait descendre à -11° C.

Cependant, quelques reptiles primitifs (champsosaurus) du crétacé moyen ont été trouvés à de très hautes latitudes au Canada. Les dinosaures australiens étaient plus petits que leurs parents tropicaux ce qui indiquent qu'il y avait des contraintes écologiques importantes, hypothèse encore en faveur d'une température basse. On a montré aussi que certains d'entre eux avaient des lobes optiques exceptionnellement grands, ce qui est probablement une adaptation aux nuits polaires.



69

## La résolution du problème ?

Dinosaur Fossils Predict Body Temperatures, Plos Biology 2006  
James F Gillooly, Andrew P Allen, and Eric L Charnov

Les données de croissance des dinosaures ont été analysées en utilisant un modèle récemment publié qui prévoit les effets combinés de taille du corps et la température,  $T_b$  (° C), sur le taux de croissance maximal  $G$ :

$$G = g_0 M^{3/4} e^{0.17 T_b} \quad (1)$$

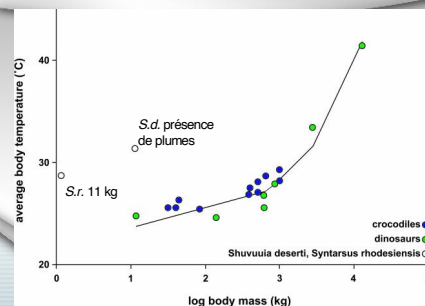
Il est alors facile de déterminer la température moyenne corporelle  $T_b$  en fonction du taux de croissance maximal  $G$  et de  $M$ , la masse estimée au point de croissance le plus fort:

$$T_b = 10 \ln(G M^{-3/4} / g_0) \quad (2)$$

$g_0$  est une constante indépendante du mode de régulation thermique

70

## La résolution du problème ?

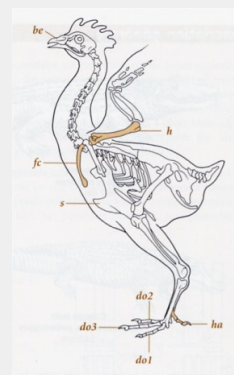


En conclusion, la température moyenne corporelle des dinosaures dépendrait de leur taille, soit donc un effet de gigantothermie (ou homéothermie inertielle) et non d'homéothermie métabolique. *S.r.* a été exclu de l'analyse car il était le plus petit et *S.d.* car il avait des plumes.

Notez que deux points des dinosaures sont très éloignés des points connus et on peut aussi se poser la question de la pertinence du modèle dans cette gamme de valeurs !

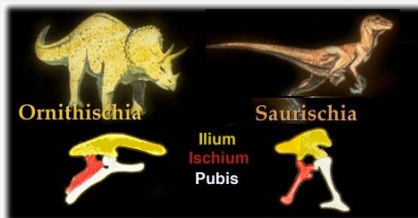
71

## Membre dressé



72

## Structure du bassin des dinosaures



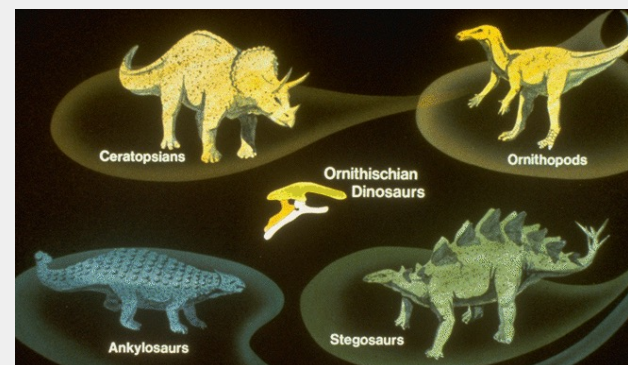
Ornithischiens= Bassin de type oiseau  
Saurischiens= Bassin de type lézard

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.

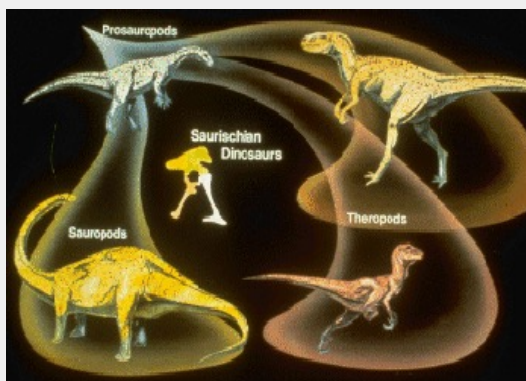
73

## Les ornithischiens



74

## Les saurischiens



75

## 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.

76

## 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.

77

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.

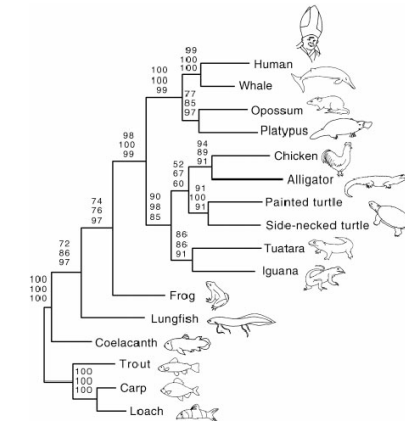


FIG. 3. Phylogenetic position of the turtle. A data set combining the two rRNA mitochondrial genes (12S and 16S) was analyzed with MP, NJ, and ML phylogenetic methods (upper, middle, and lower numbers above branches, respectively). Numbers shown above branches represent bootstrap values from 100 pseudoreplicates.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

78

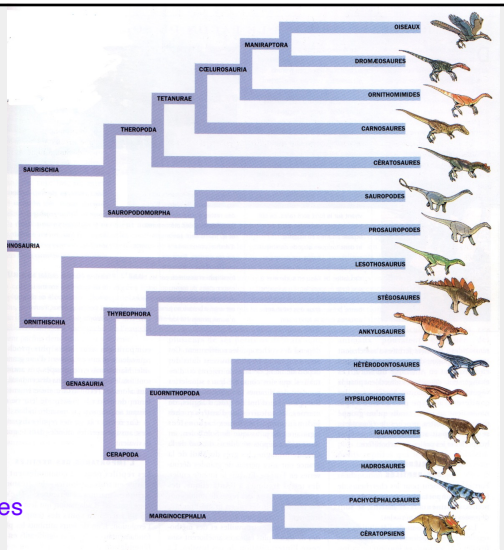
## Evolution des oiseaux

Saurischia

Dinosauria

Ornithischia

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



79

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

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



80

## 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)

