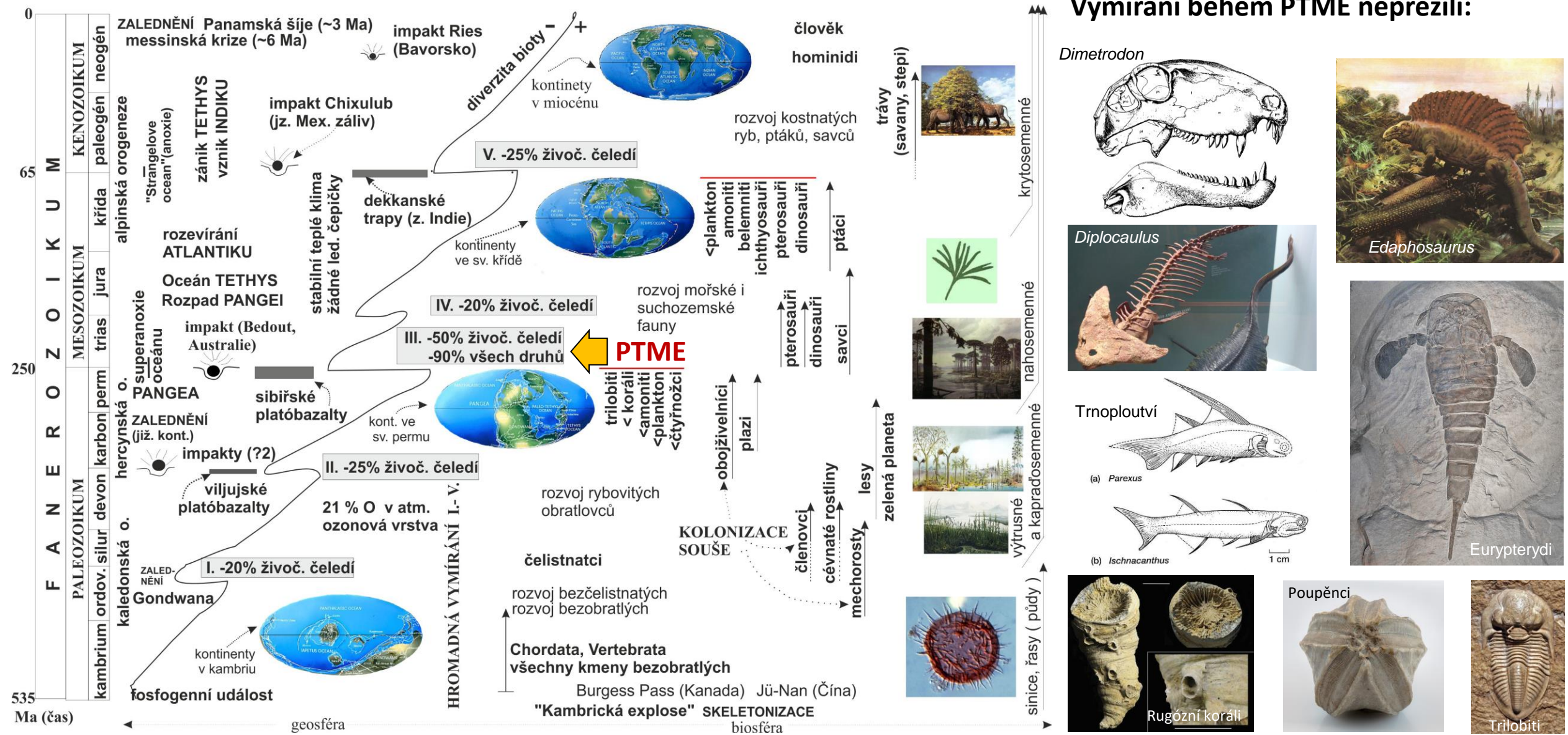


**Klima a vývoj života v triasu – svět
po největším vymírání v historii
Země**

Rozvoj života po největším vymírání za posledních 540 milionů let (PTME)

(PTME = Permian-Triassic Mass Extinction)



Přehled nejdůležitějších biotických krizí a důležitých mylníků ve vývoji života na Zemi za posledních 535 Ma.

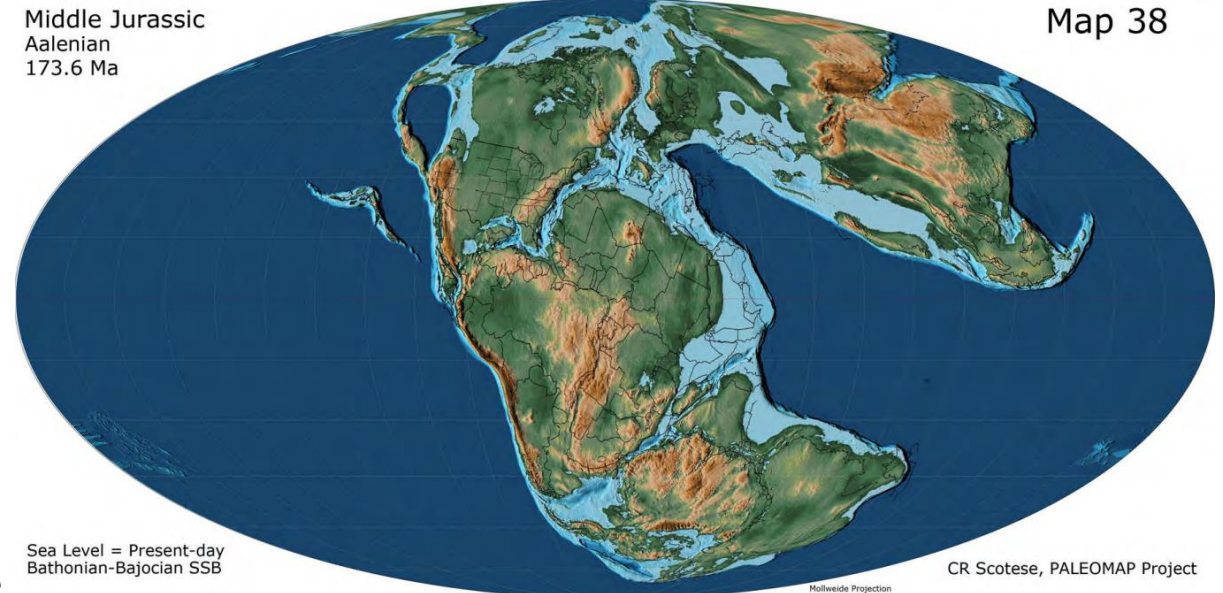
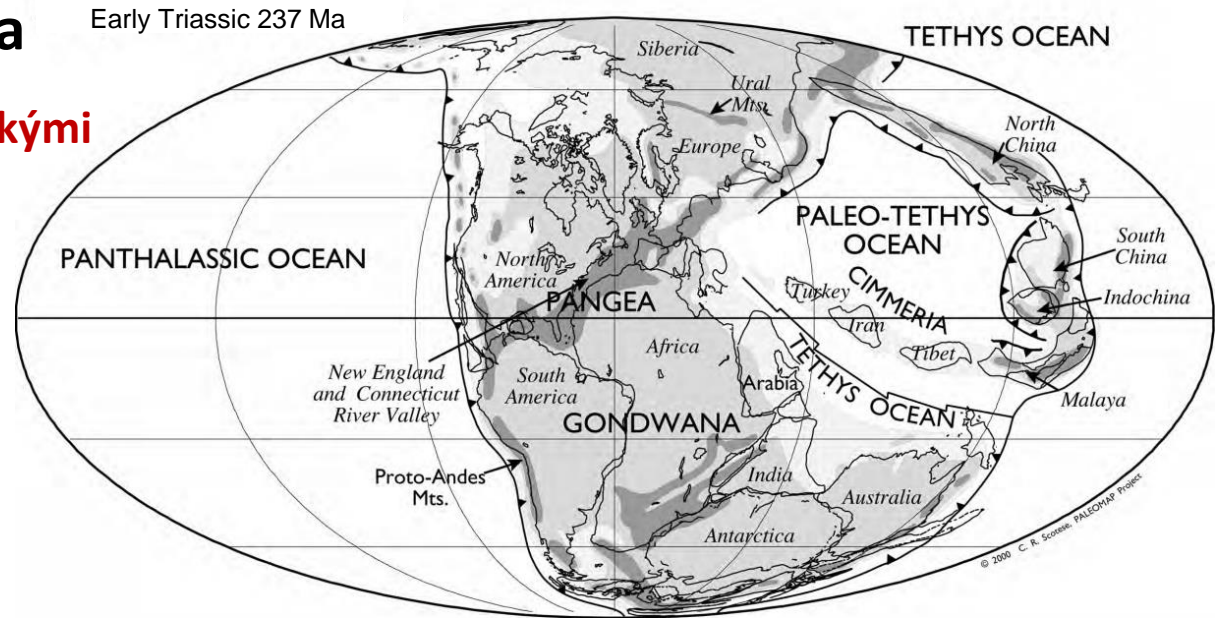
Paleogeografický vývoj v mesozoiku 252–66 Ma

Druhohory (**mesozoikum**) časově **vymezeny dvěma katastrofickými událostmi** – začínají vymíráním na hranici perm/trias a končí vymíráním K/T. Dělí se na útvary: trias, jura a křída

Hlavní události v období mesozoika

- **superkontinent Pangea se rozpadá na menší útvary**, na jihu Gondwana
- **vznik oceánu Panthalassa** – předchůdce dnešního Pacifiku
- v křídě **začátek alpínského vrásnění**, které vrcholilo během kenozoika
- **klima sušší počátkem triasu, později teplé a vlhké v průběhu jury a křídy**; široký tropický pás, i v polárních oblastech mírné klima, chybí doklady zalednění

Rozmístění kontinentů v raném triasu před 237 miliony let a o asi 60 milionů let později během střední jury, kdy vznikl zárodek dnešního Atlantického oceánu (dle Scotese et al. 2014).

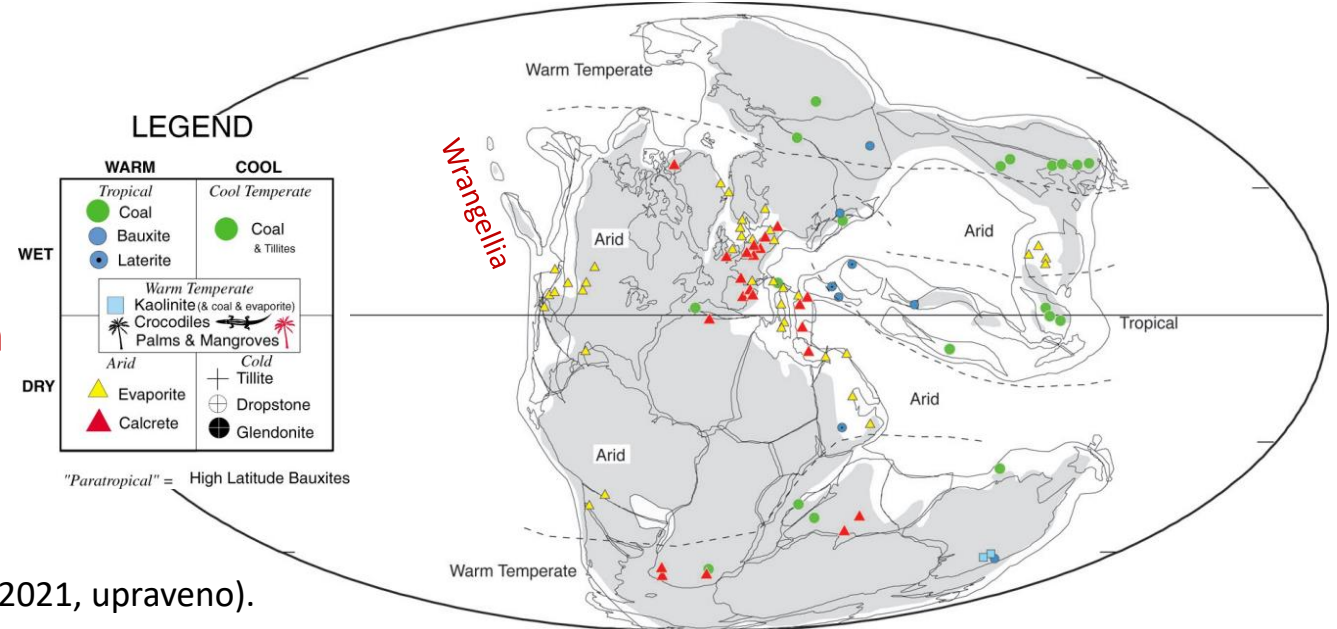
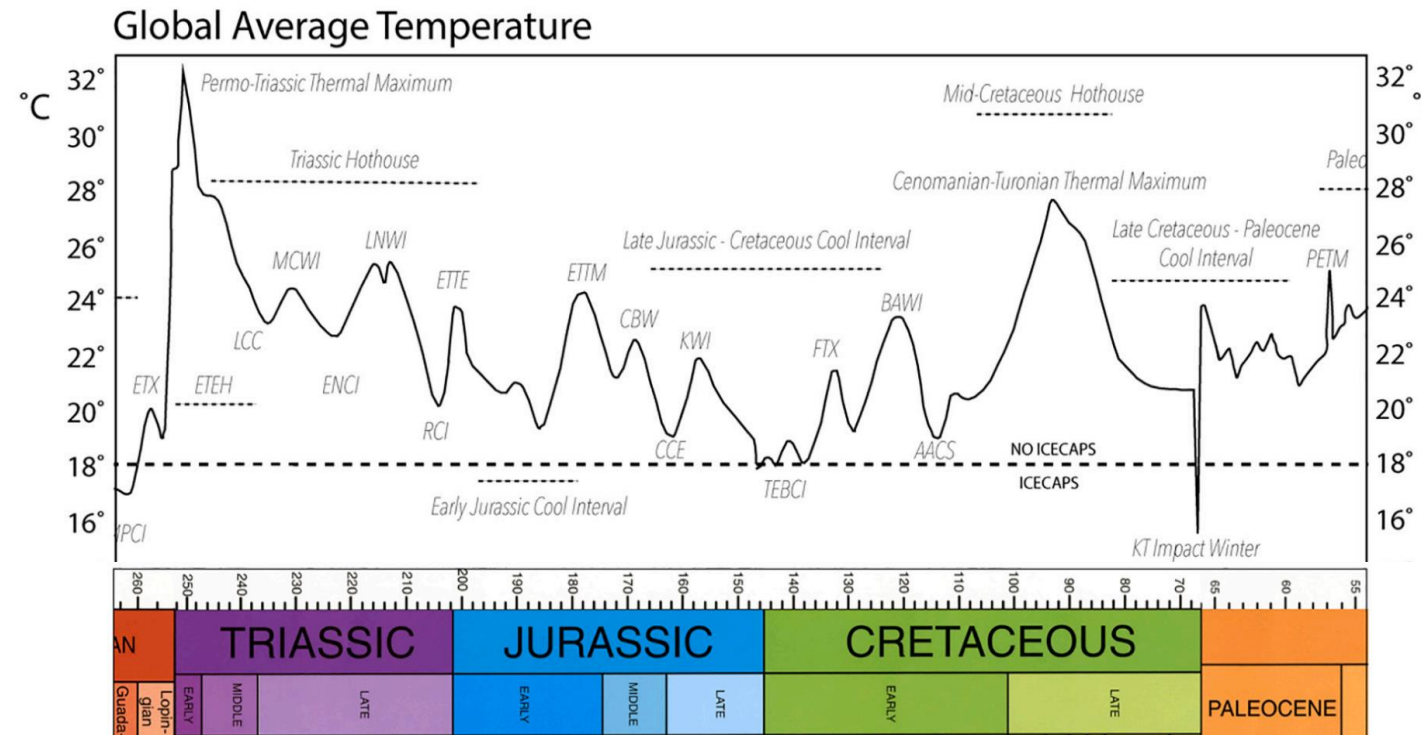


Paleogeografický a klimatický vývoj v triasu

Hlavní události v období triasu

- začátek **štěpení Pangey na severní Laurasii a jižní Gondwanu**, počátek **otvírání Atlantického oceánu**
- rozšiřování oceánu Tethys
- **v prvních 5 Ma vyšší hodnoty CO₂ v atmosféře - klima teplé a suché**, centrální část Pangey okolo rovníku – aridní klima, typicky červené pískovce a ložiska evaporitů
- na pólech teplo a vlhko, **raný trias je nejteplejším obdobím v historii Země, absence zalednění**
- počátkem pozdního triasu **karnská pluvialní epizoda (236–232 Ma) – intenzivní vulkanismus (Wrangellian eruptions)**, skleníkové plyny (CO₂, metan, vodní páry) zvýšená acidita oceánů, **vymírání hlavně v mořích**, výrazně vlhčí klima

Rozmístění kontinentů v raném triasu před asi 237 Ma (Scotese et al. 2021, upraveno).



Příroda v triasu – vývoj života po největším faneorozoickém vymírání (PTME)

Rostliny v mořském prostředí

- na počátku triasu dochází k přestavbě řasových flór

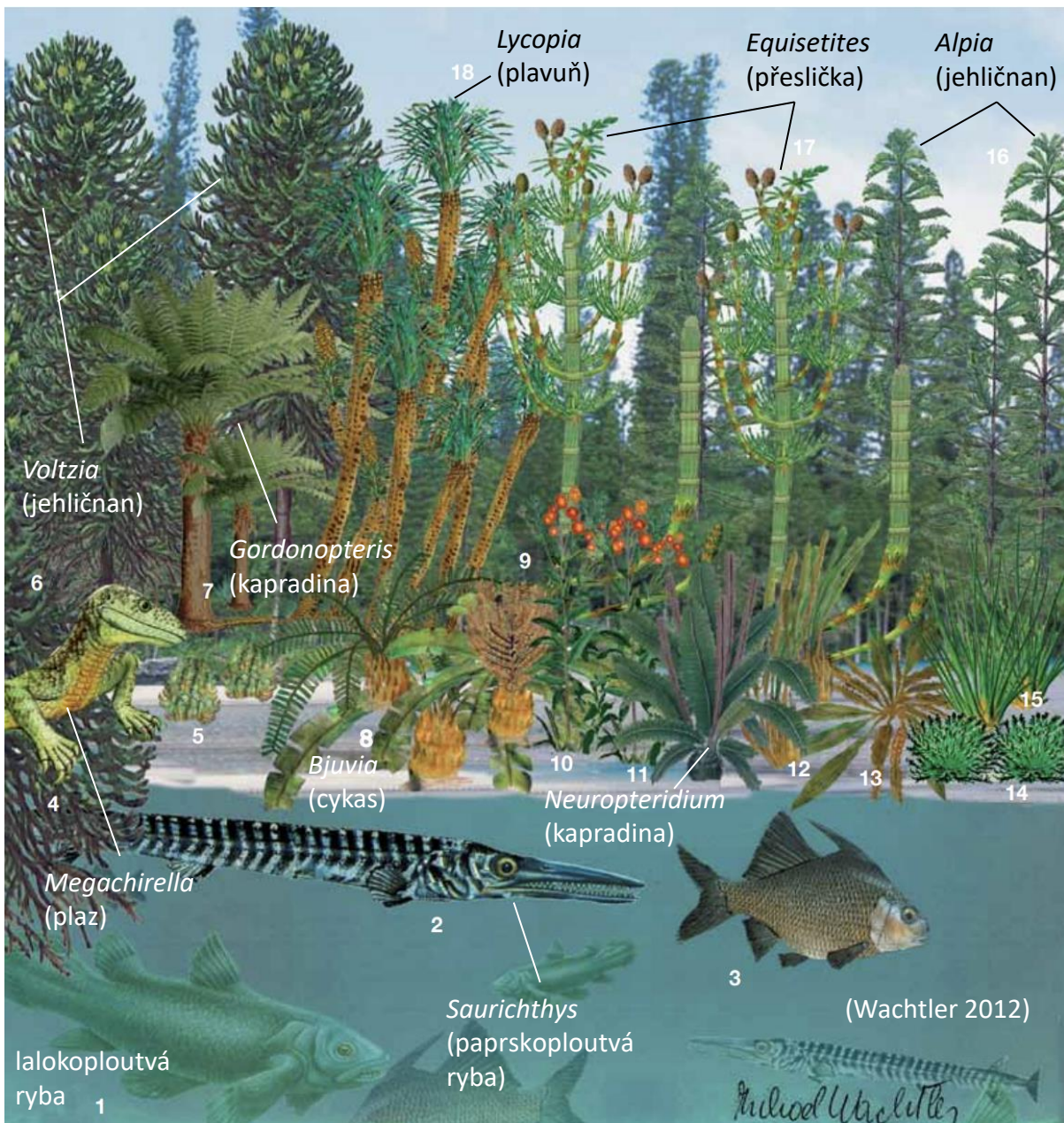


- Rhodophyta (červené řasy)** - vznikají modernější typy tzv. koralinní červené řasy, ty mimo jiné **vytvářejí krustovité pevné povlaky** tvořící zpevnění vnější strany korálových rifů - tzv. řasový hřeben

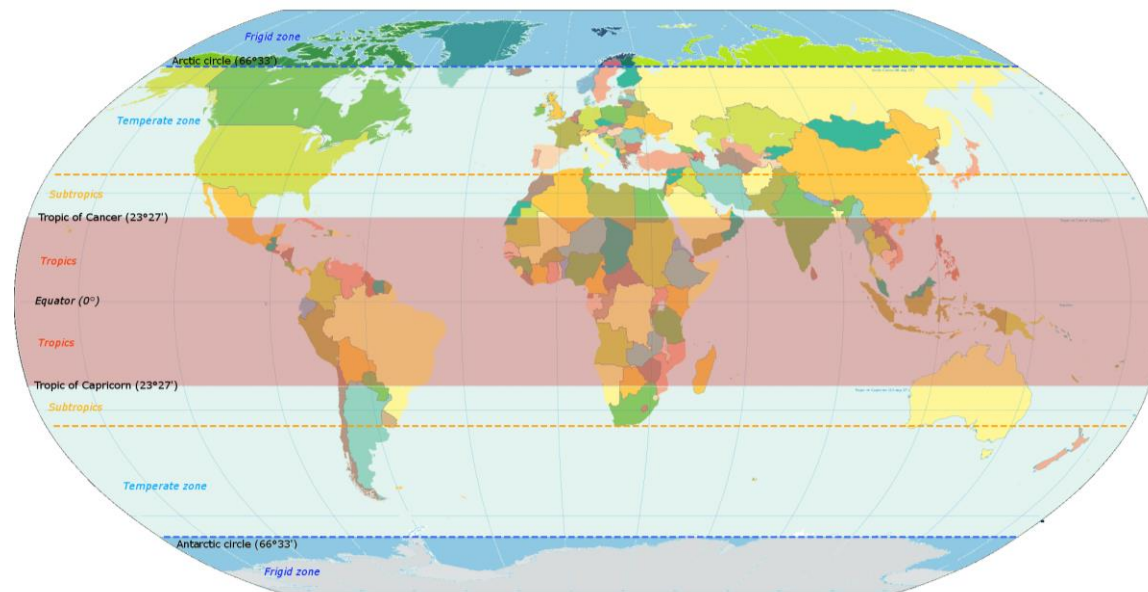


Mesophyllum, recentní červená řasa.

Příroda v triasu – vývoj života po největším faneorozoickém vymírání (PTME)



- kontinentální aridní klima s výraznou sezonalitou, polární oblasti odpovídaly temperátní zóně – **vlhké a teplé**



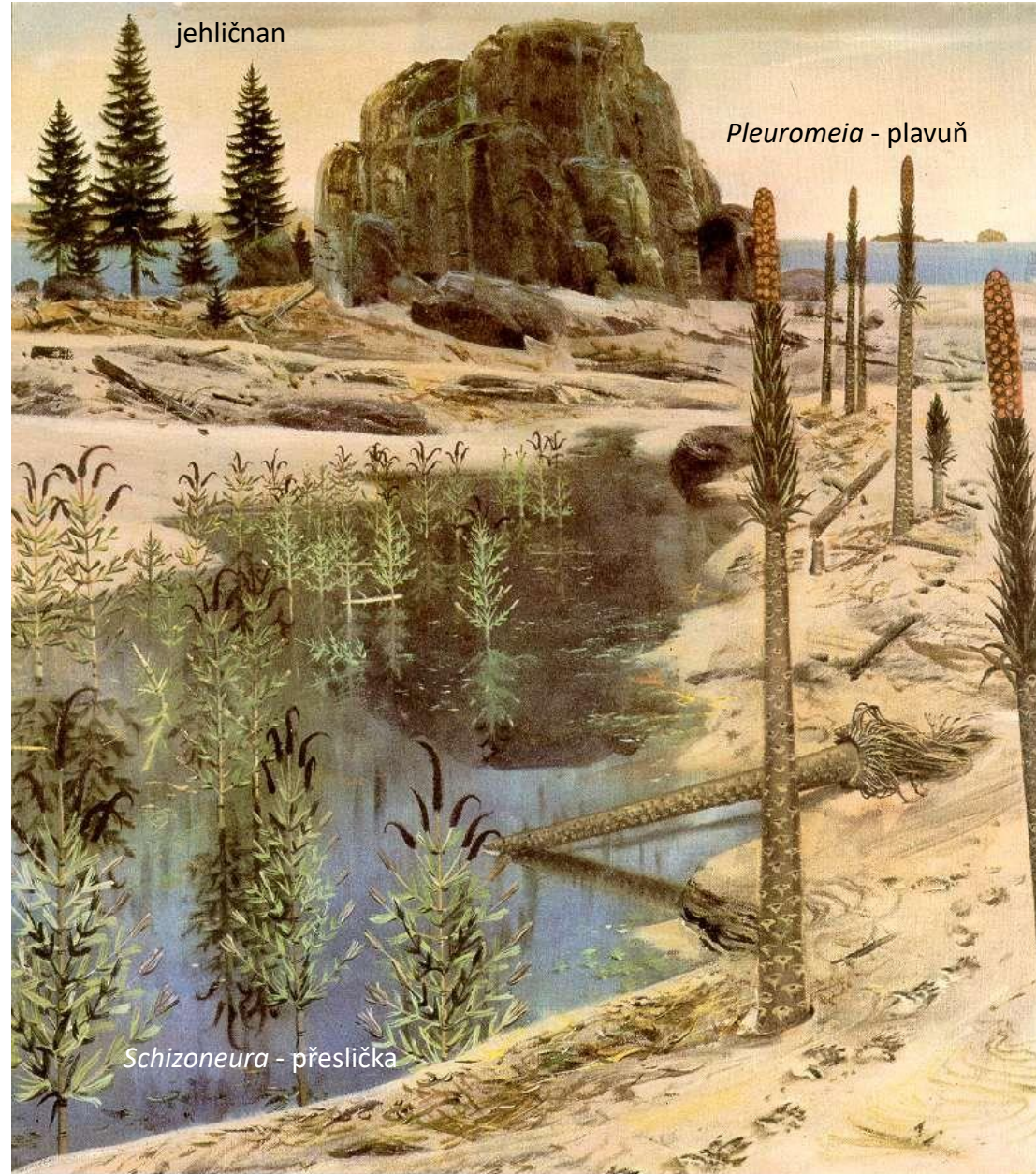
https://en.wikipedia.org/wiki/Temperate_climate

Pojem temperátní zóna v současném geografickém pojetí. V Köppenově klasifikaci > -3°C až < 18°C.

- vedle **výtrusných** (kaprad'orosty – kapradiny, plavuně, přesličky) a **kaprad'osemenných** (první benetity) se objevují i **nahosemenné**, v temperátní zóně růst lesů

The Anisian landscape from Kühwiesenkopf in the Dolomites (241 million years ago). Reconstruction based on the findings of Michael Wachtler 1999–2009: 1) Coelacanth; 2) *Saurichthys*; 3) *Dipteronotus*; 4) *Megachirella wachtleri* (reptile); 5) *Lepacyclotes bechstaedtii* (lycopod); 6) *Voltzia agordica* (conifer); 7) *Gordonopteris lorigae* (fern); 8) *Bjuvia olangensis* (cycad); 9) *Scytophyllum bergeri* (seed fern); 10) *Bjuvia olangensis* and *Dioonitocarpidium cycadea* (cycad); 11) *Neuropteridium elegans* (fern); 12) *Pizperesia* (cycad); 13) *Ladinia simplex* (cycad); 14) *Selaginellites leonardii* (lycopod); 15) *Isoetites brandneri* (lycopod); 16) *Alpia anisica* (conifer); 17) *Equisetites mougeotii* (horsetail); 18) *Lycopodia dezanchei* (lycopod).

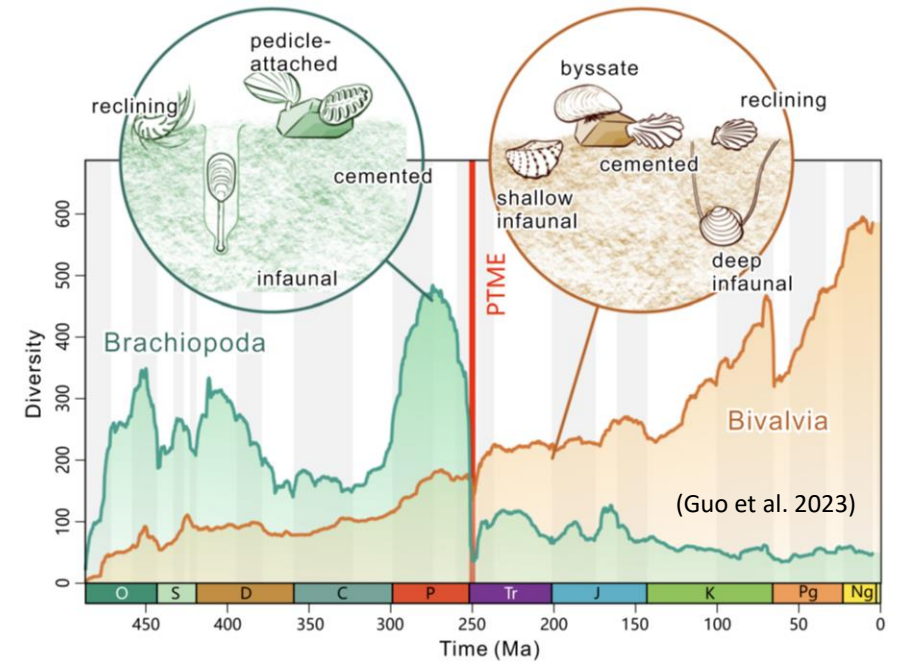
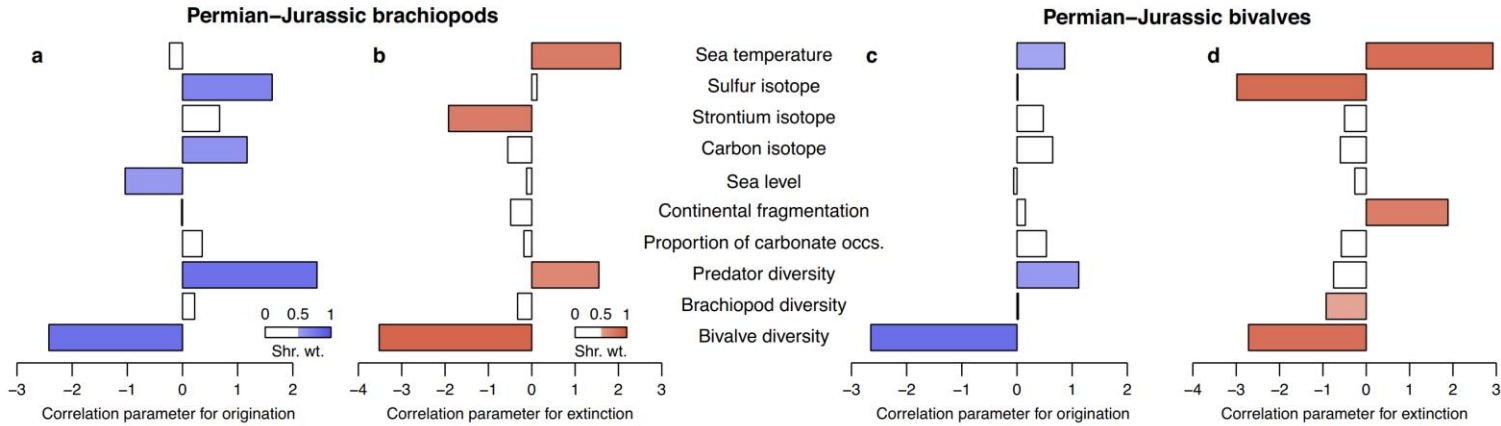
Příroda v triasu – vývoj života po největším faneorozoickém vymírání (PTME)



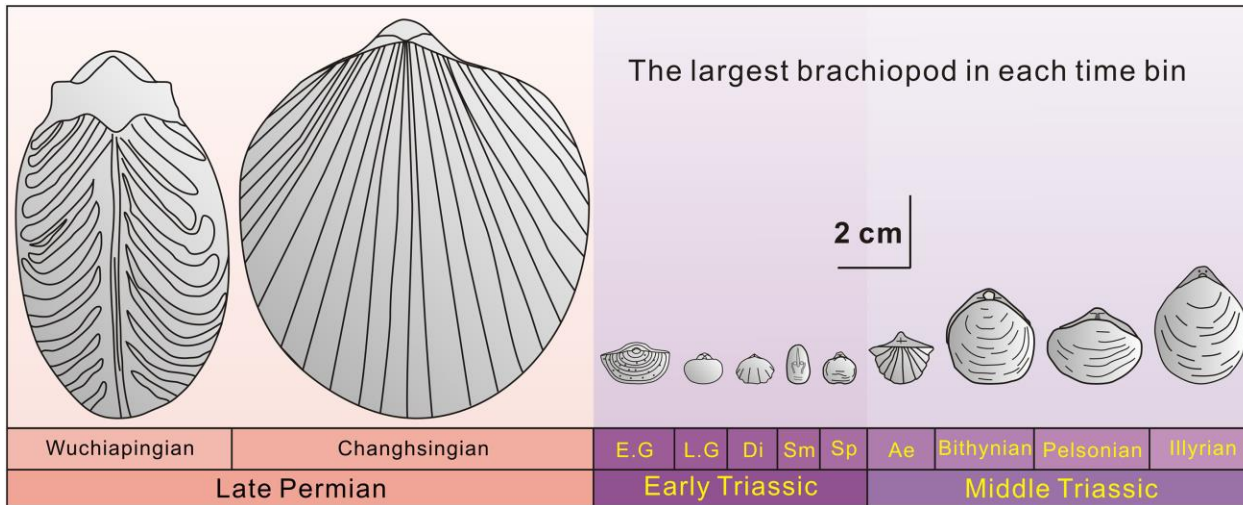
Příklady triasové krajiny s plavuněmi, přesličkami a jehličnany.

Příroda v triasu – vývoj života po PTME

- rozvoj skupin bezobratlých**, které nebyli příliš postiženy předchozí krizí - **mlži, plži, ježovky**



Odlisný vývoj ramenonožců (Brachiopoda) a mlžů (Bivalvia) po PTME - dán jejich rozdílnou fyziologií a reakcí na zvyšující se teplotu v průběhu jury a křídly (Guo et al. 2023).

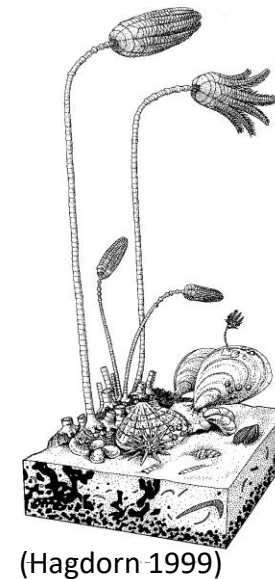
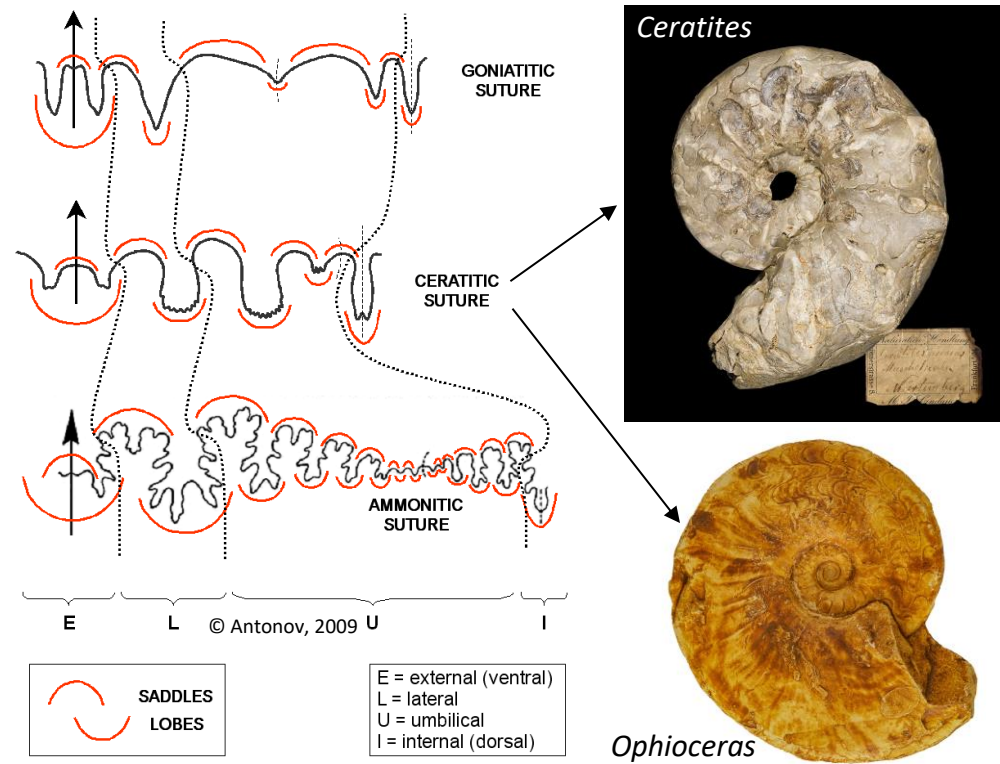
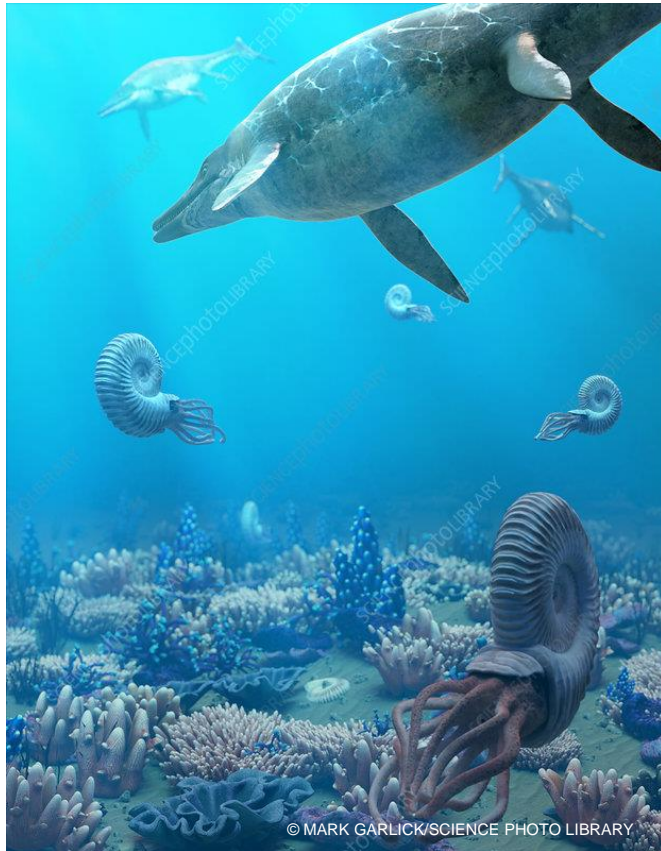


- revitalizace skupin, které na hranici P/T téměř vymřely: ramenonožci, lilijice, mořské houby** (rozvoj v prostředí útesů)
- multitrofitický potravní řetězec vznikl krátce po PTME **kompletní revitalizace života však trvala asi 5–10 milionů let**, znesnadněna **vulkanickou aktivitou**, periodami **globálního oteplování, acidifikací oceánů, anoxií oceánů** v průběhu raného triasu

Vzrůst rozměrů schránky ramenonožců po vymírání na hranici P/T (Chen et al. 2019).

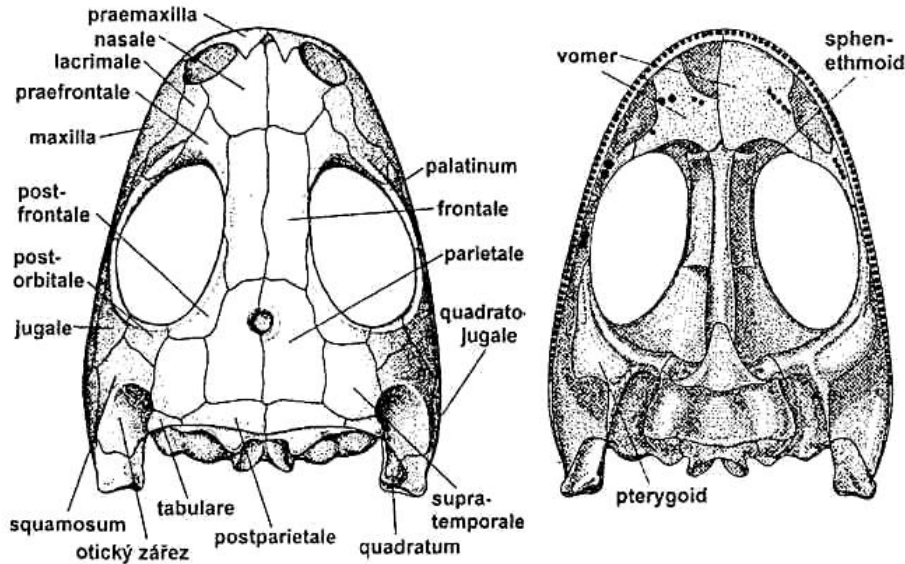
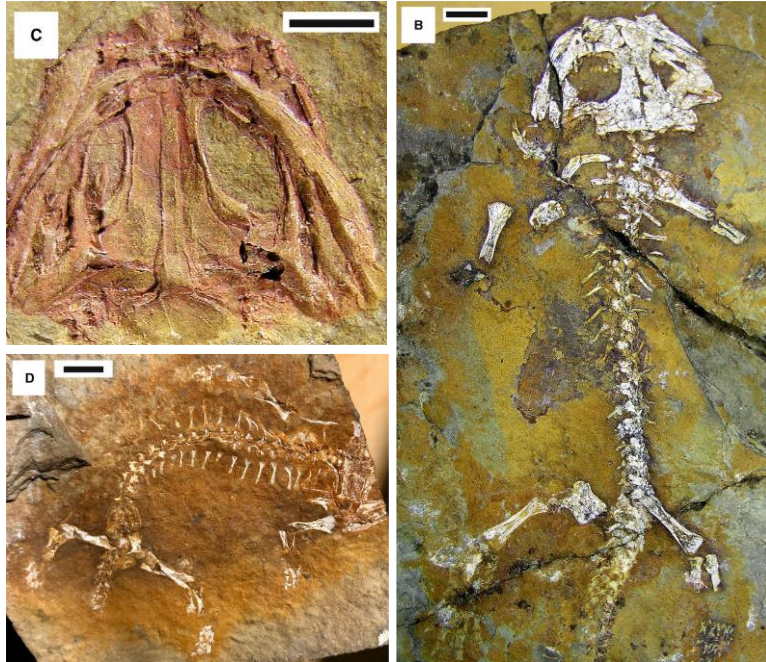
Příroda v triasu – vývoj života po největším vymírání v historii Země

- **hlavonožci - amoniti s ceratitovým typem švu**, např. *Ophiceras*: velké rozrůznění ~ 100 rodů, 3000 druhů), rozvoj **belemnitů**
- **karnská pluvialní epizoda – intenzivní vulkanismus**, CO₂, metan, kyselá dešť, **pokles biodiverzity v mořích o 33 %** - postihlo **konodonty, hlavonožce, ostnokožce (lilijice), zelené řasy**

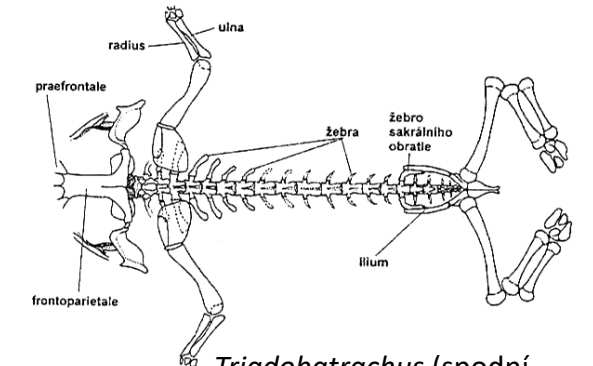


Encrinurus liliiformis, lasturnatý vápenec, severní Německo

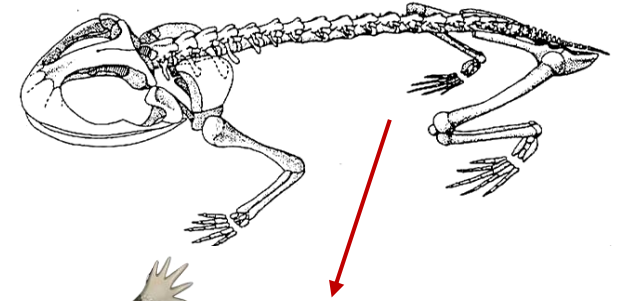
Kde se vzaly žáby?



Doleserpeton (raný perm, Sev. Amerika)



Triadobatrachus (spodní trias, Madagaskar)



Xerodromeus, branchiosaurid (raný perm, Sev. Amerika, Schoch & Werneburg 2023).

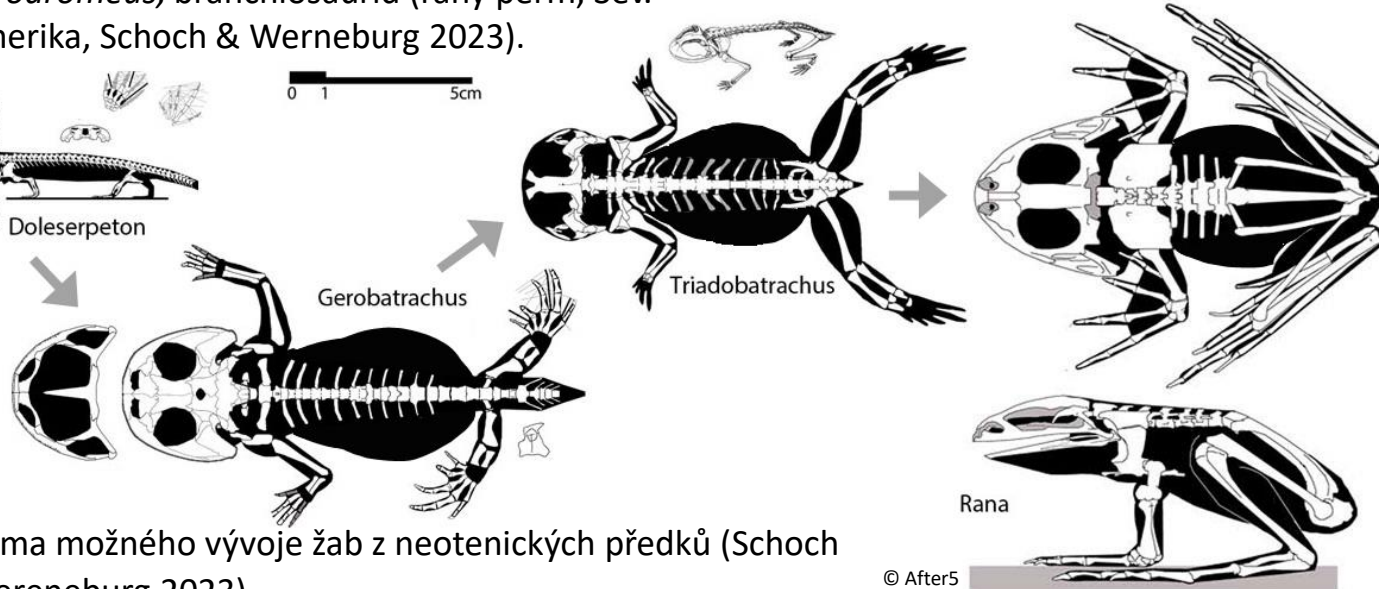
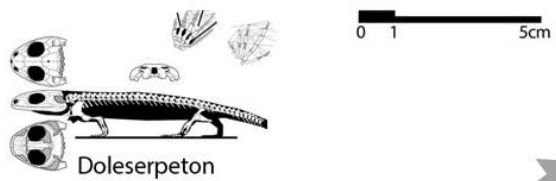
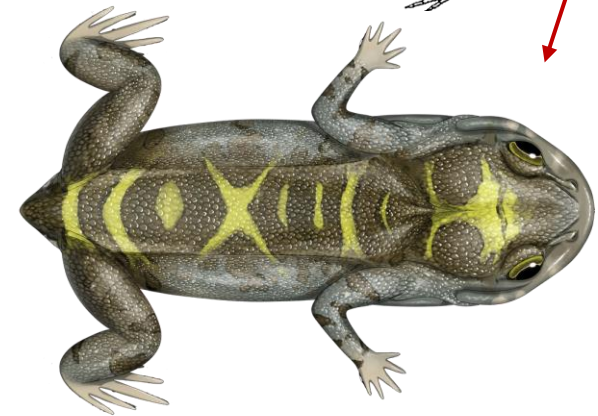


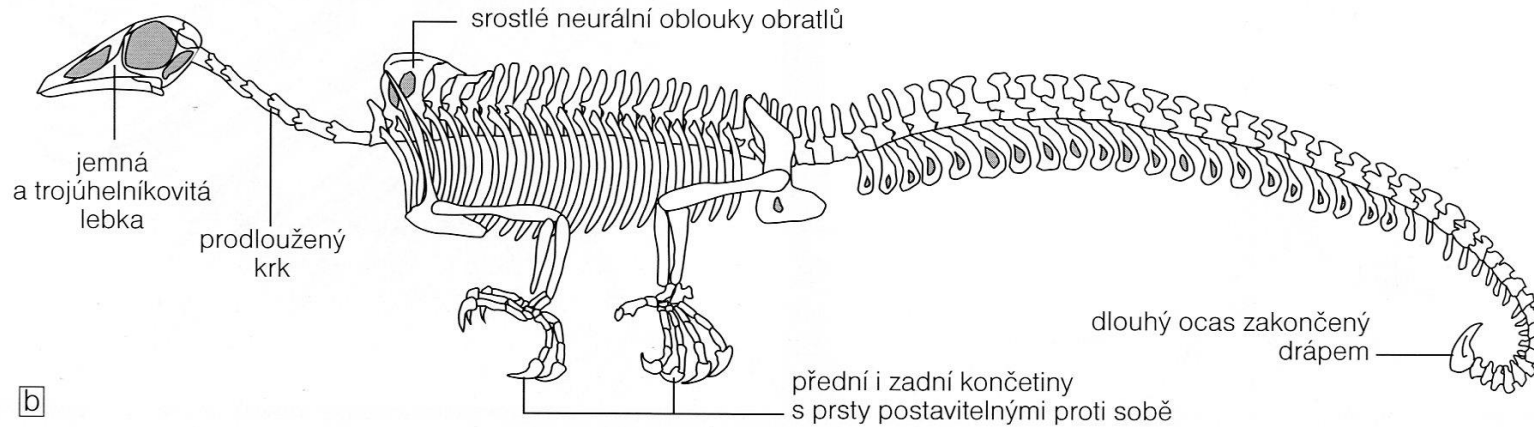
Schéma možného vývoje žab z neotenických predkú (Schoch & Werneburg 2023).



- **Neotenie** – zvláštny typ heterochronie, pri ktorom reprodukčné orgány dozrávajú, zatímco ostatné časti tela vývojom zůstávajú na úrovni larválného stadia.

Prapodivní triasoví sauropsidi

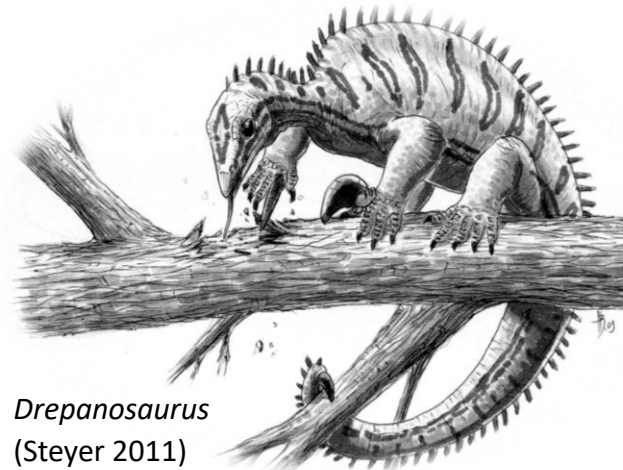
- „**Avicephala**“ – skupina nejistého systematického postavení s diapsidním typem lebky; **dnes někteří řazeni k archosauromorfům** - velmi bizarní, znaky podobné s ptáky, avšak je to výsledek elovuční konvergence



Megalancosaurus preonensis – stromový zástupce z pozdního triasu Itálie (Steyer 2011).



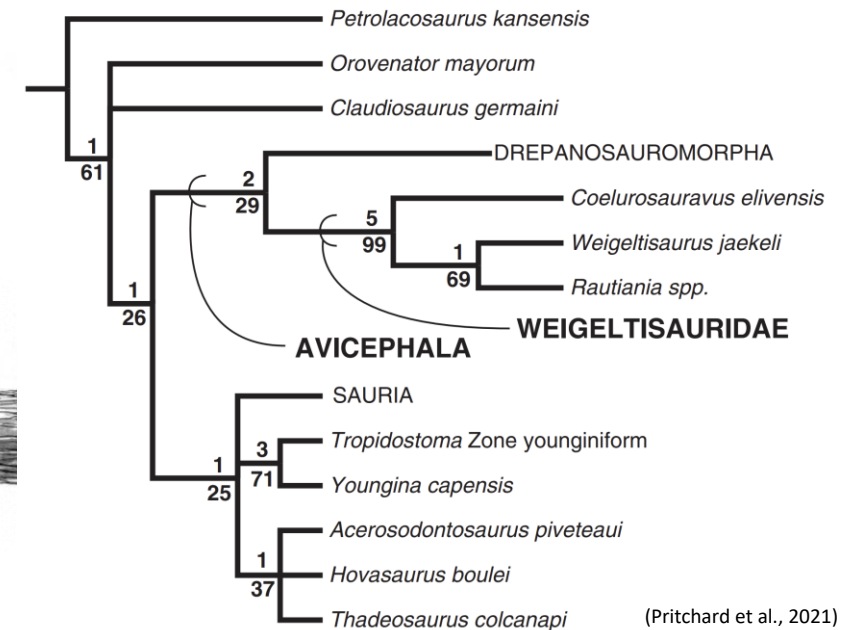
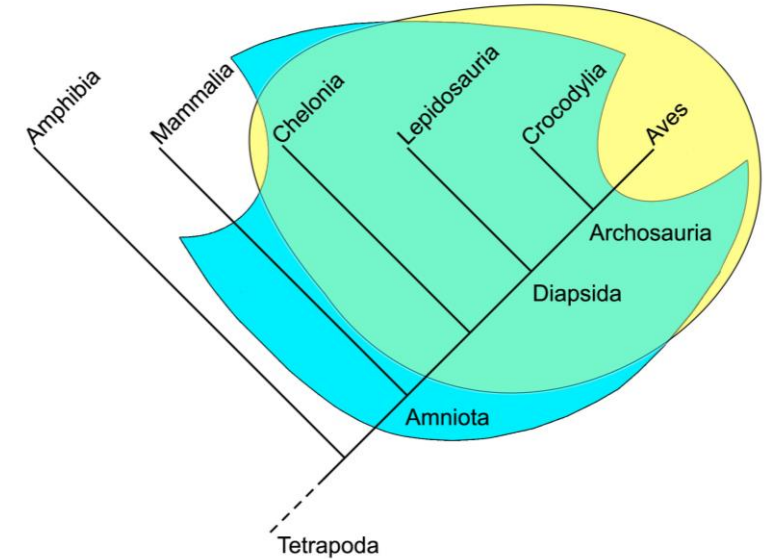
Megalancosaurus (Steyer 2011)



Drepanosaurus (Steyer 2011)

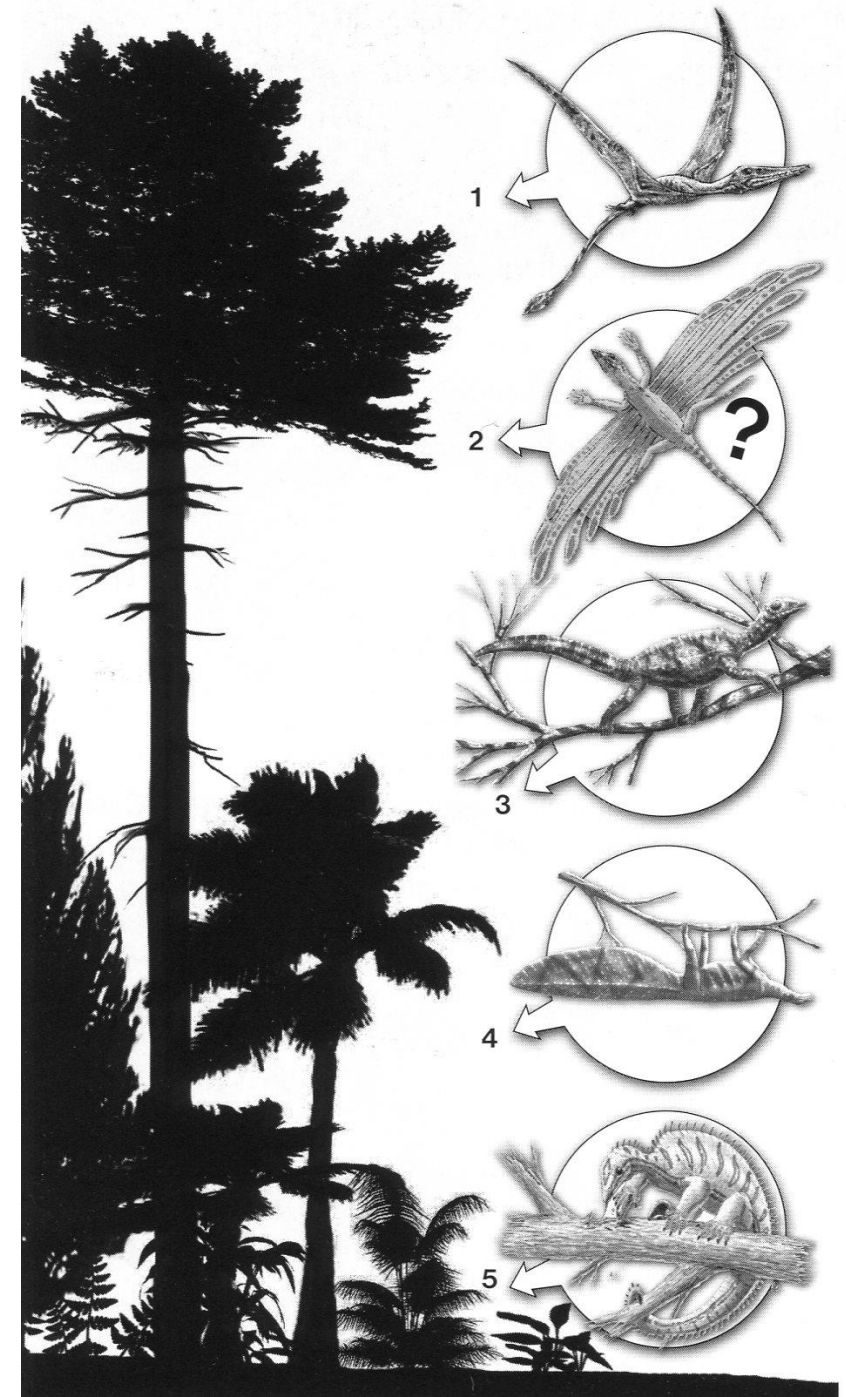
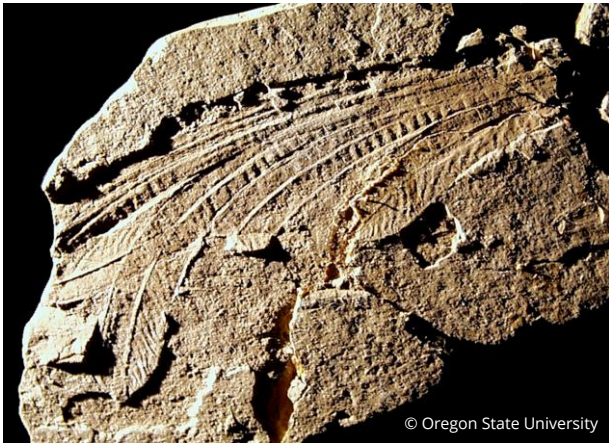
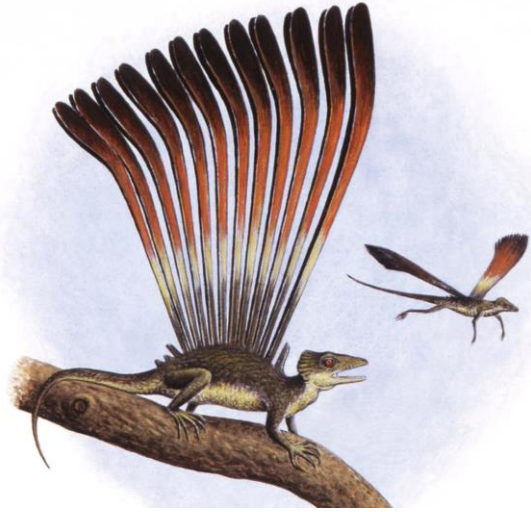
Sauropsida
Reptilia

kladogram skupiny Tetrapoda (čtvernožci)



(Pritchard et al., 2021)

Prapodivní triasoví sauropsidi

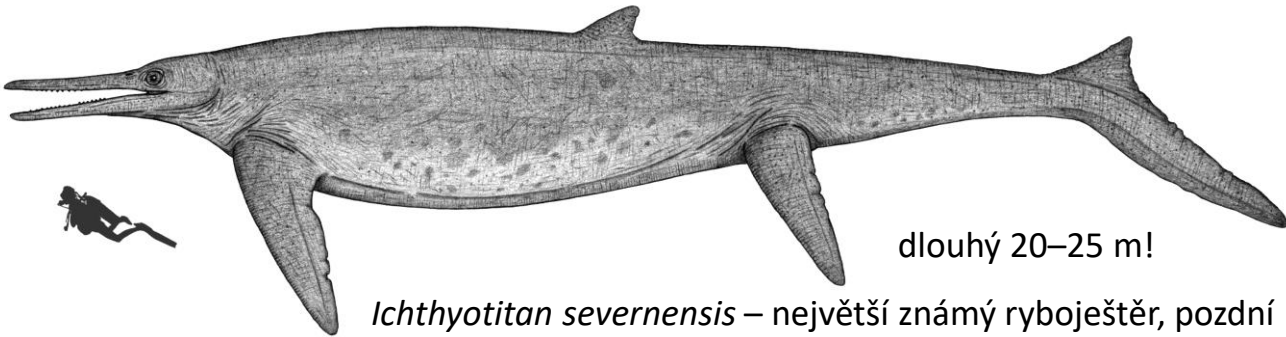


Longisquama insignis z pozdního triasu Kyrgystánu. Povaha hřbetních „šupin“ není jasná, dle některých hypotéz struktury připomínající peří mohly pomáhat ke klouzavému letu. S ptáky ale neměla *Longisquama* nic společného.

Lesy pozdního triasu s různými společenstvy neptačích plazů – 1. první ptakojestěři, 2. *Longisquama*, 3. *Megalancosaurus*, 4. *Hypuronector*, 5. *Drepanosaurus* (dle Steyer 2011).

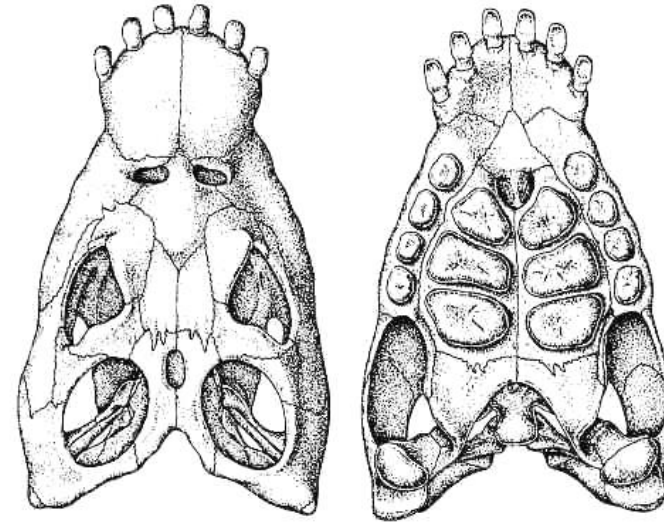
Ovládnutí moří i souší sauropsidy

- **v mořském prostředí ryboještěři** (Ichthyosauromorpha), **ještěroploutví** (Sauropterygia) zahrnující bizarní plakodonty, notosaury a první plesiosaury

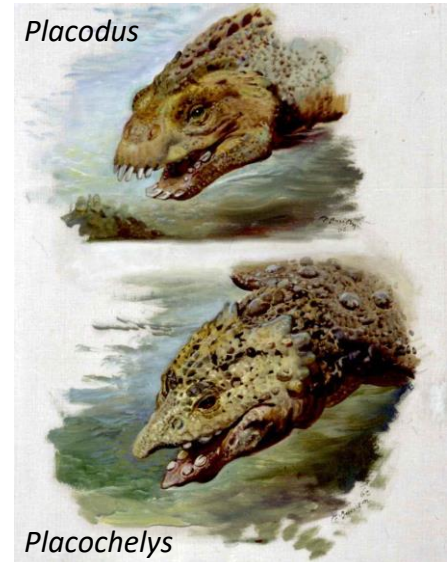


dlouhý 20–25 m!

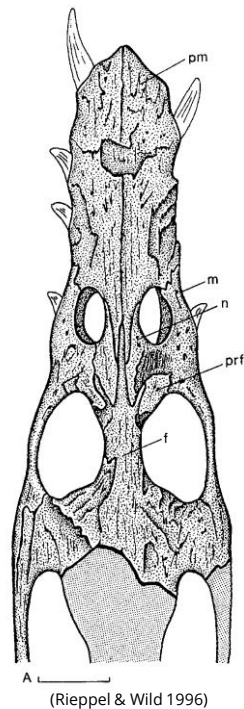
Ichthyotitan severnensis – největší známý ryboještěř, pozdní trias, UK (Lomax et al. 2024)



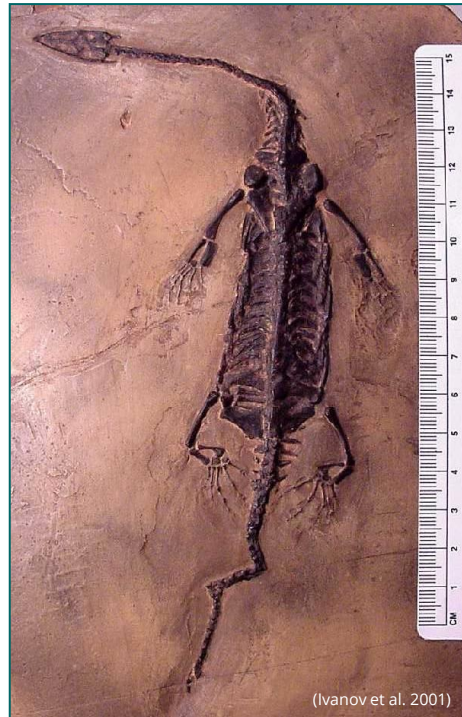
Lebka rodu *Placodus* s typicky knoflíkovitými zuby.



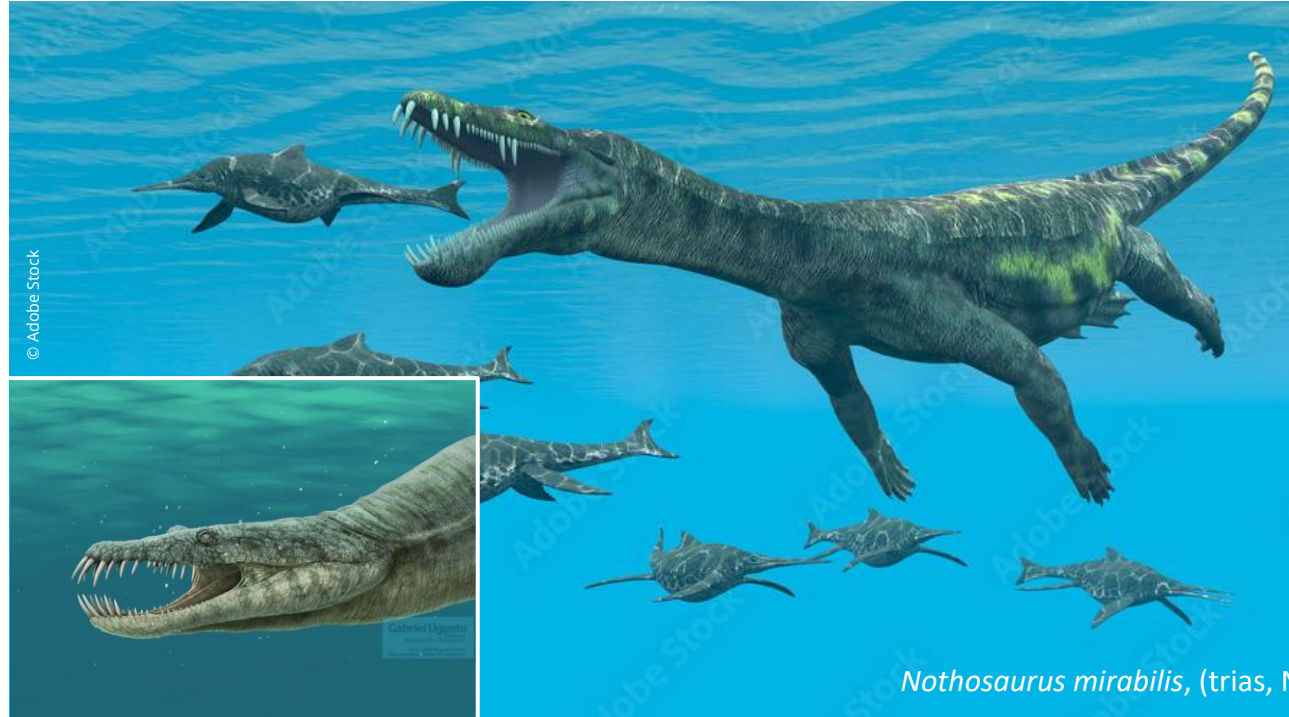
Placochelys



(Rieppel & Wild 1996)



(Ivanov et al. 2001)



Nothosaurus mirabilis, (trias, Německo)

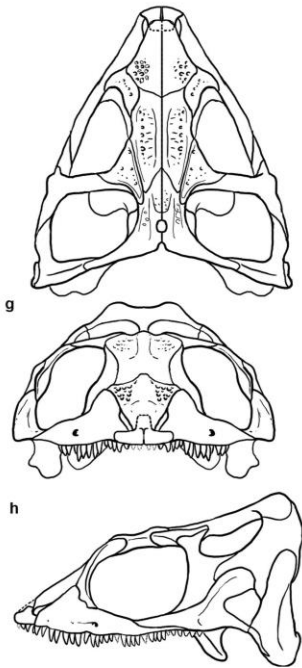
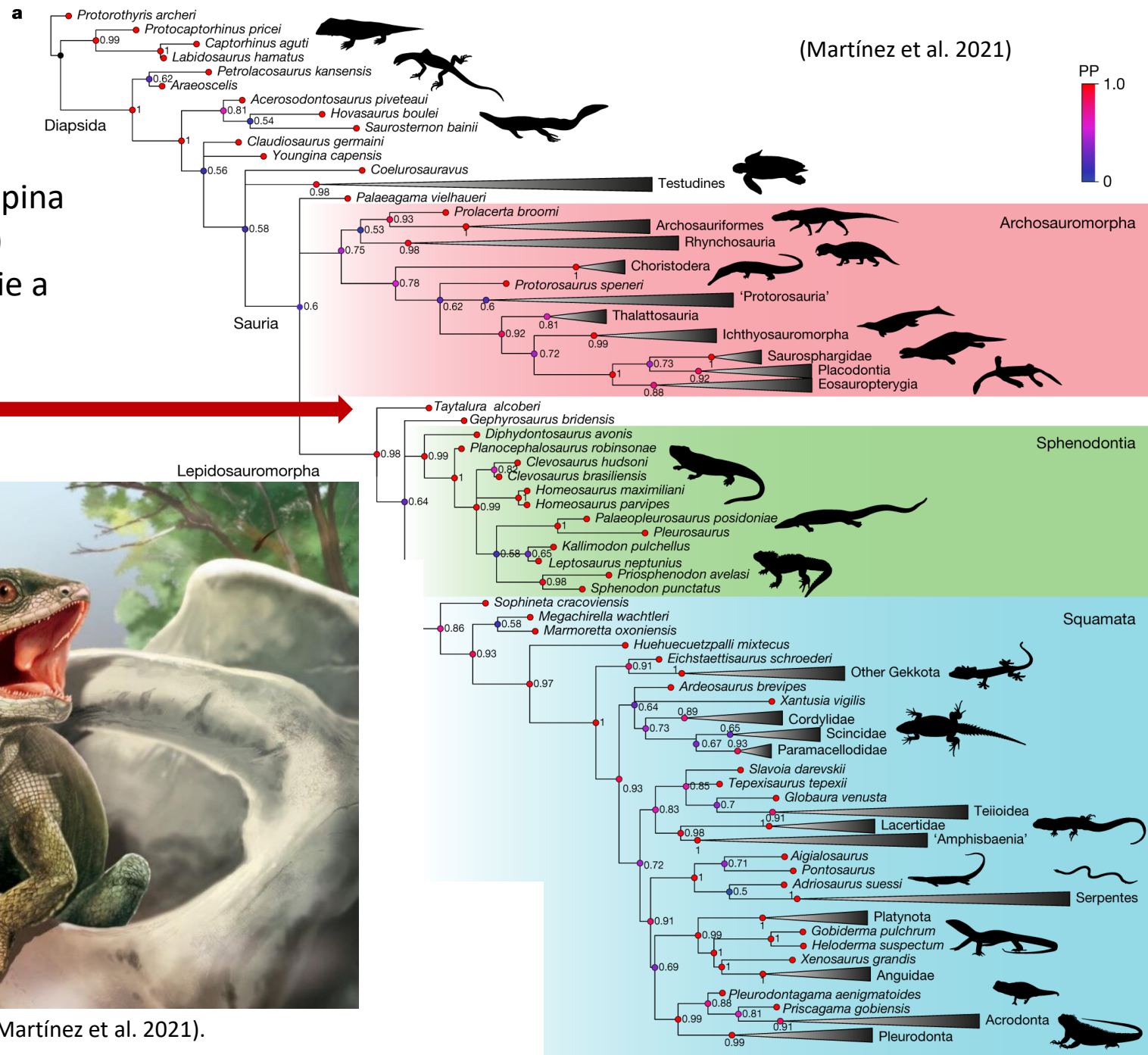


Placochelys

Placochelys tvarem těla připomínal želvy.

Ovládnutí moří i souší sauropsidy

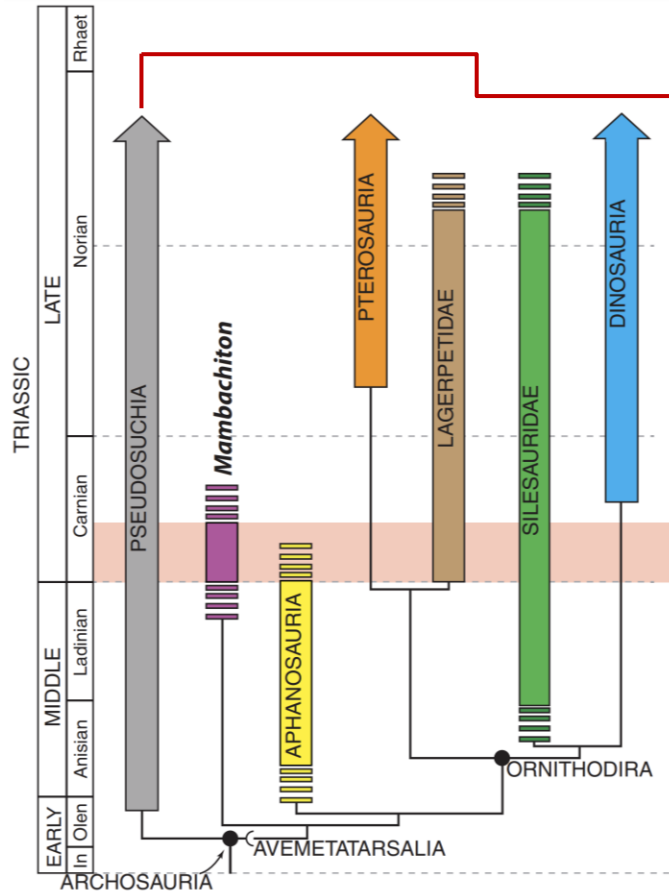
- **v kontinentálním prostředí** jako sesterská skupina archosaurů vznikla (možná už koncem permu) skupina **Lepidosauromorpha**, zahrnující haterie a šupinaté plazy



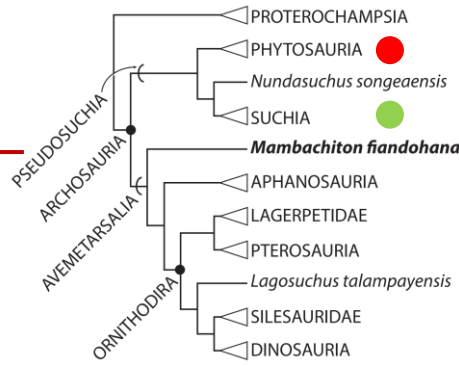
Taytalura alcoberi, pozdní trias, Argentina (Martínez et al. 2021).

Rozvoj skupiny Archosauria

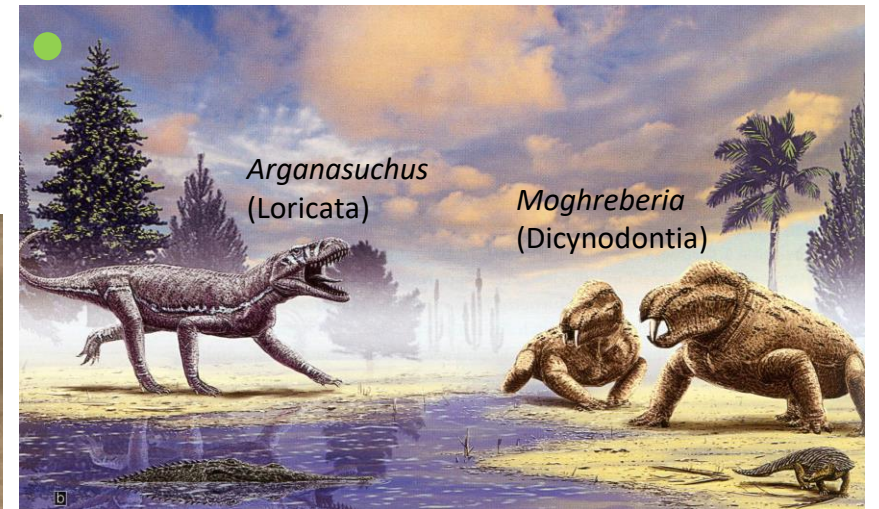
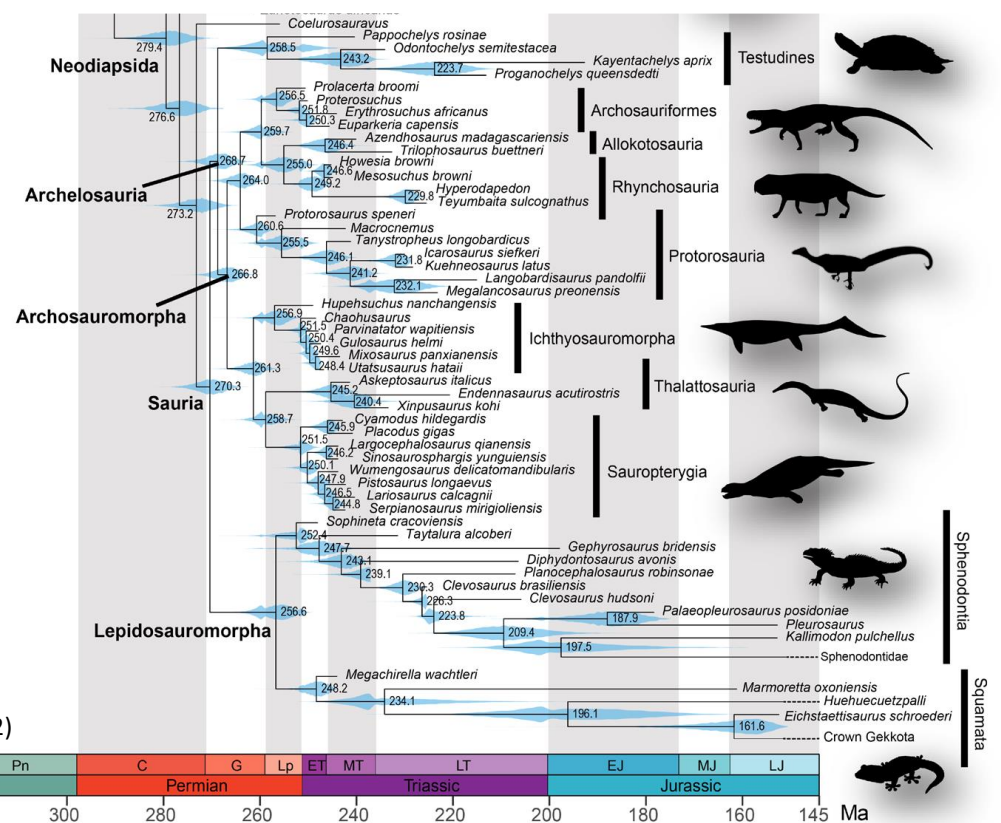
- **Archosauria** – skupina zahrnující krokodýly, ptáky, neptačí dinosaury, pterosaury a starobylé „jamkozubé“ diapsidy jako fytosaury a aetosaury
- do současnosti přežili jen krokodýli a ptáci



Fytosaři *Redondasaurus* a *Protome* z pozdního triasu Nového Mexika a Texasu.



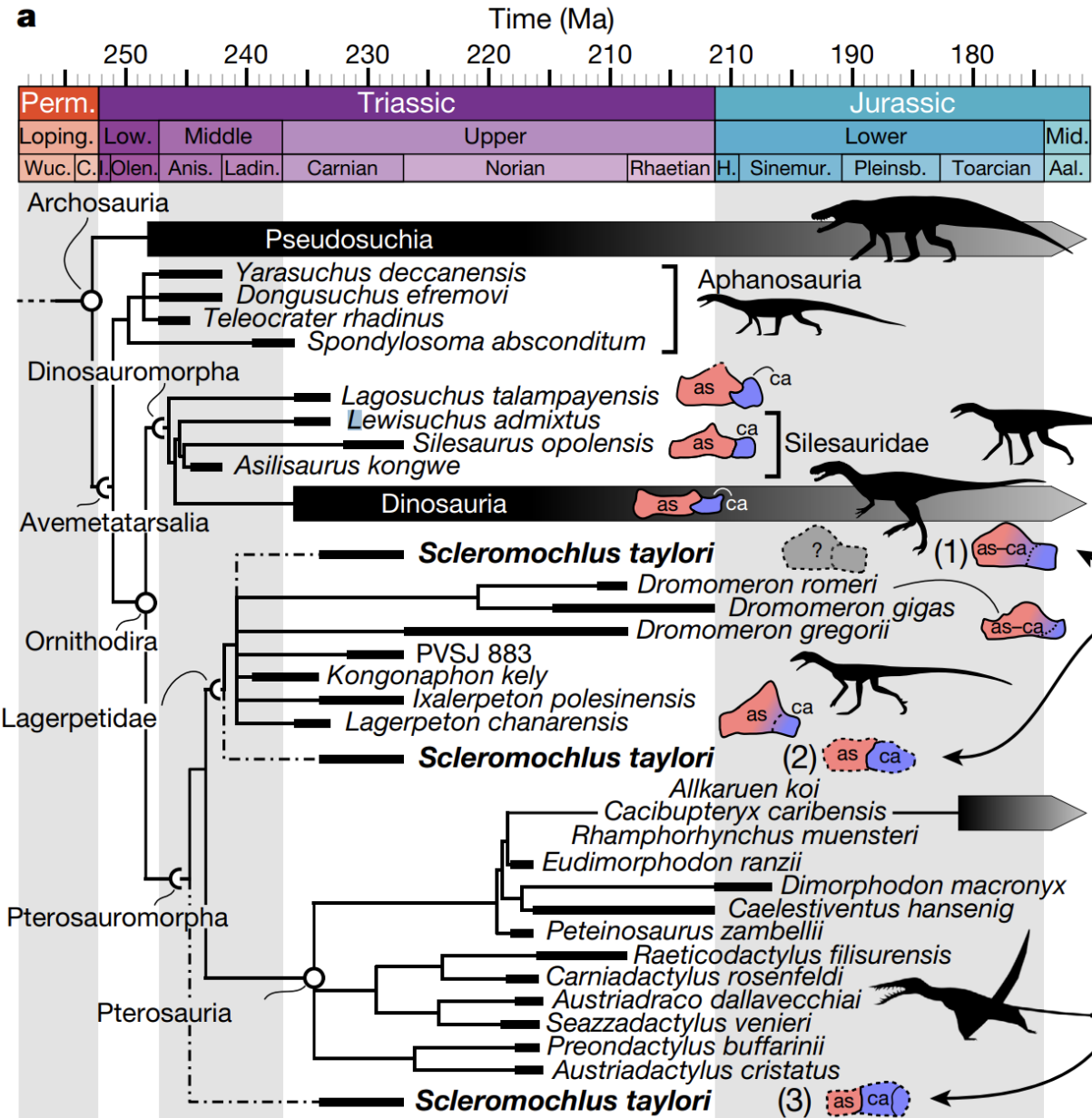
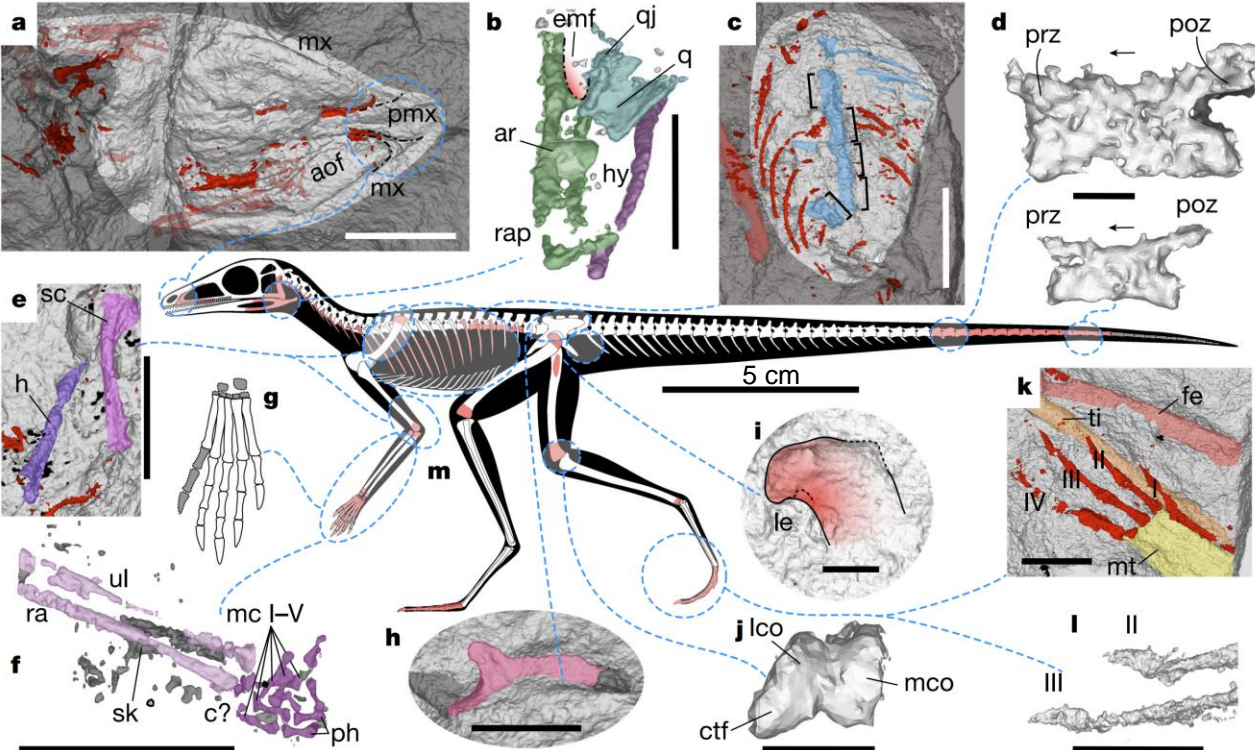
(Simões et al. 2022)



Střet predátora ze skupiny Suchia s párem dicynodontů (Steyer 2011).

Rozvoj skupiny Archosauria

- **Pterosauria** – ptakoještěři, nejstarší z pozdního triasu, vznik patrně ve středním triasu
- vznik z malinkých, pravděpodobně převážně dvounohých předků ptačí linie archosaurů, **teplokrevní**



Scleromochlus taylori, jeden z bazálních pterosauruomorfů ukazující na blízký vztah ke skupině Lagerpetidae (Foffa et al. 2022).

Rozvoj skupiny Archosauria



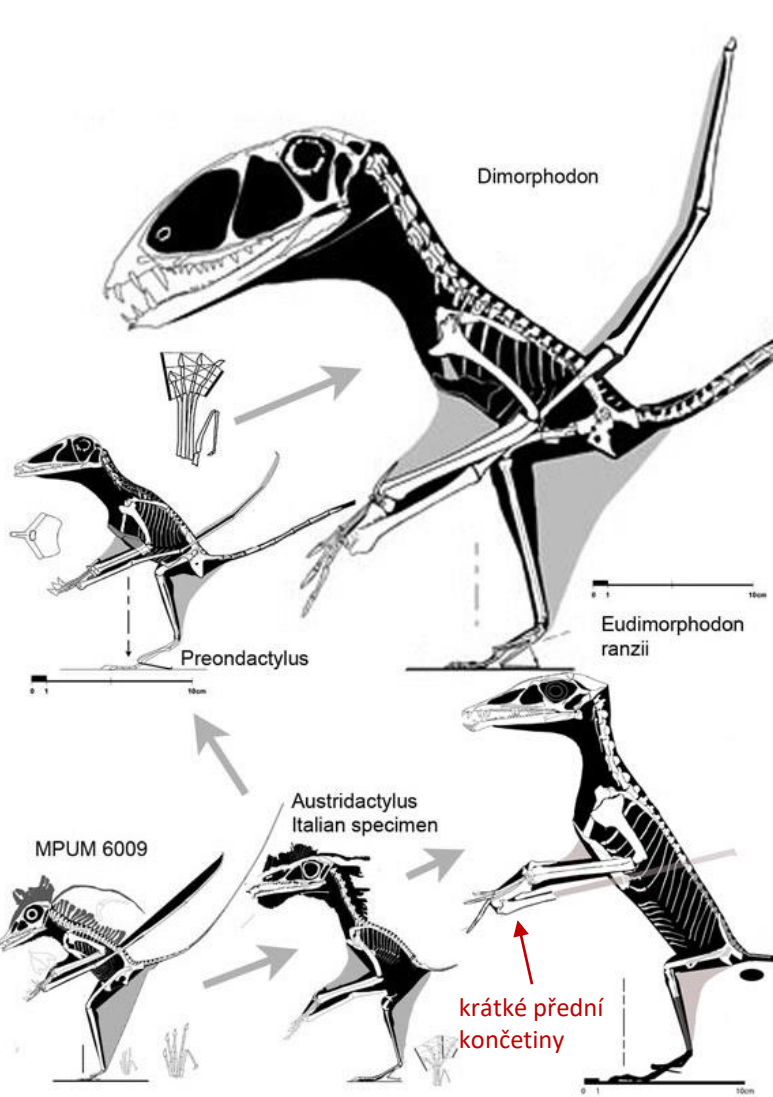
Scleromochlus taylori, rekonstrukce bazálního pterosauroomorfa (dle Foffa et al. 2022).



© Museo di Scienze Naturali, Bergamo

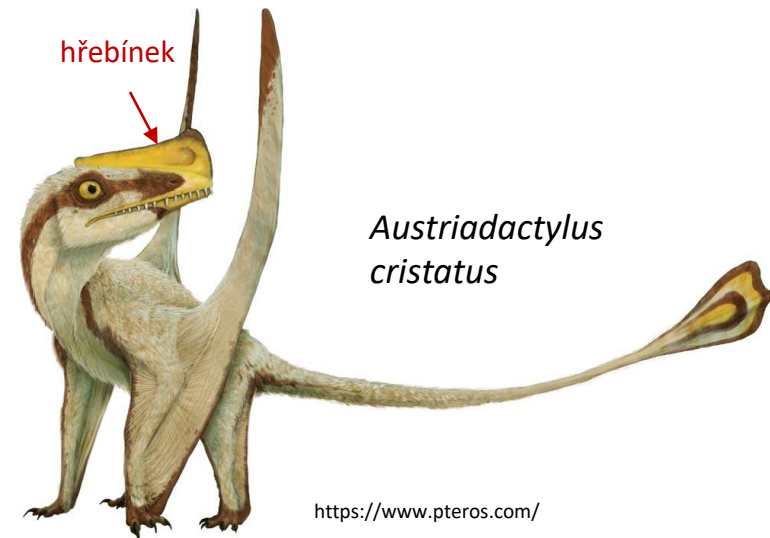
Eudimorphodon ranzii z pozdního triasu Itálie.

- triasové formy drobné, max. okolo 1 m, gigantických rozměrů dosáhli v průběhu jury a křídly



<https://pterosaurheresies.wordpress.com/>

Triasoví zástupci eopterosaurů ve srovnání s jurským rodem *Dimorphodon*.



Austridactylus cristatus, pozdní trias, Rakousko.

<https://www.pteros.com/>

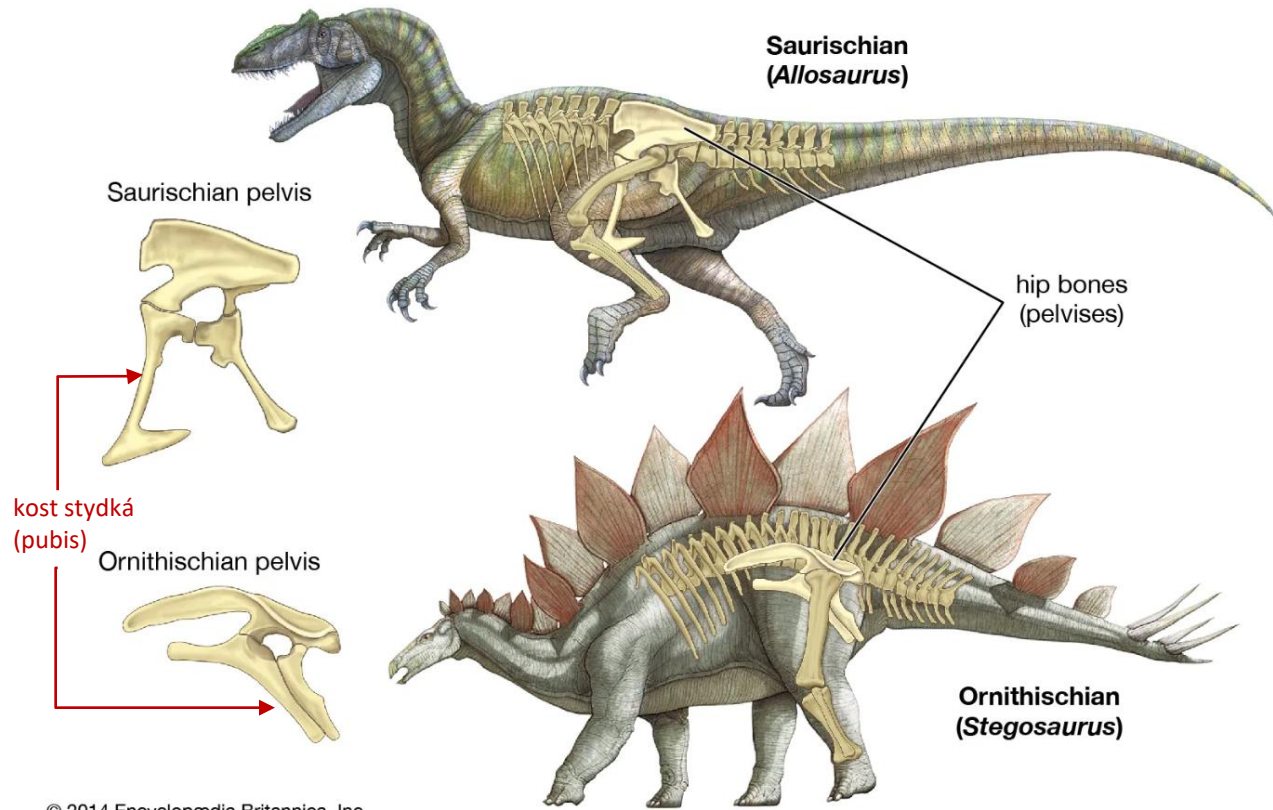


Eudimorphodon ranzii

<https://www.museoscienzebergamo.it/>

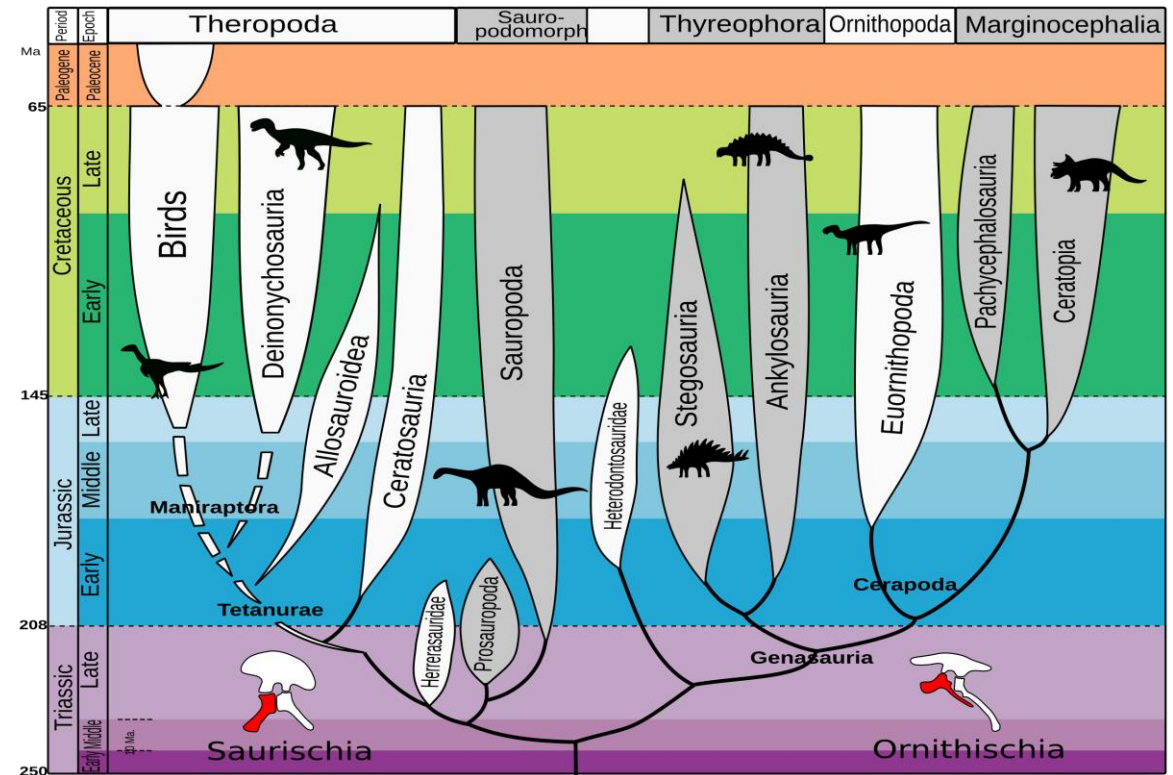
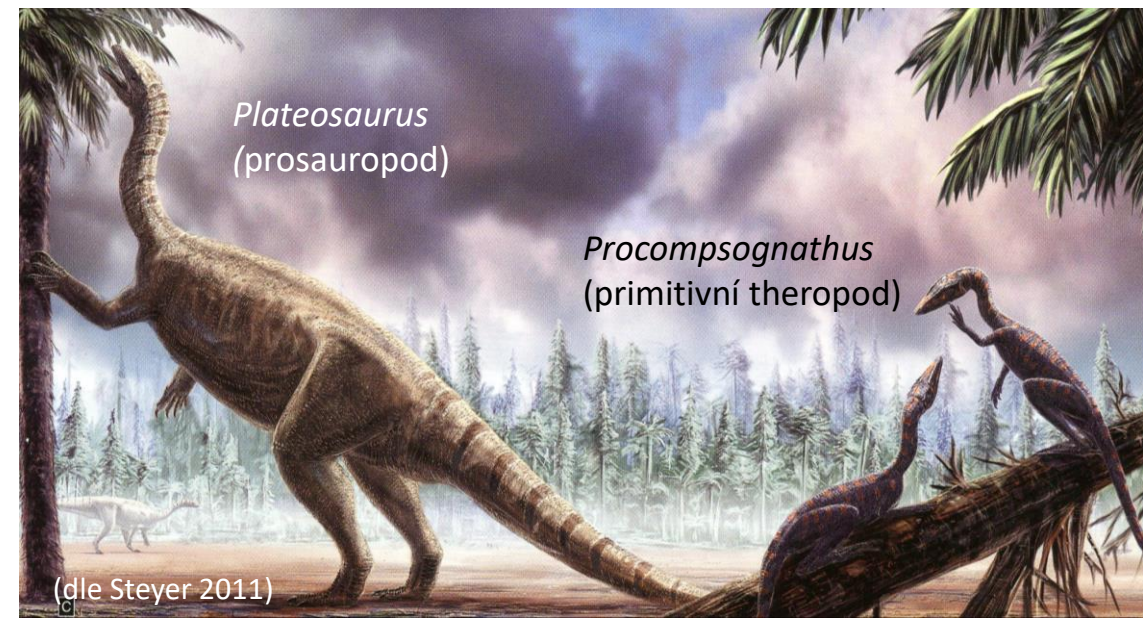
Nejstarší známí dinosauři

- **Silesauria** („ještěři ze Slezska“) - nejbližší příbuzní dinosaurů, ve středním a pozdním triasu se vyskytovali na území celé Pangey
- **Saurischia** a **Ornithischia** – dvě základní skupiny dinosaurů odlišující se stavbou pánve



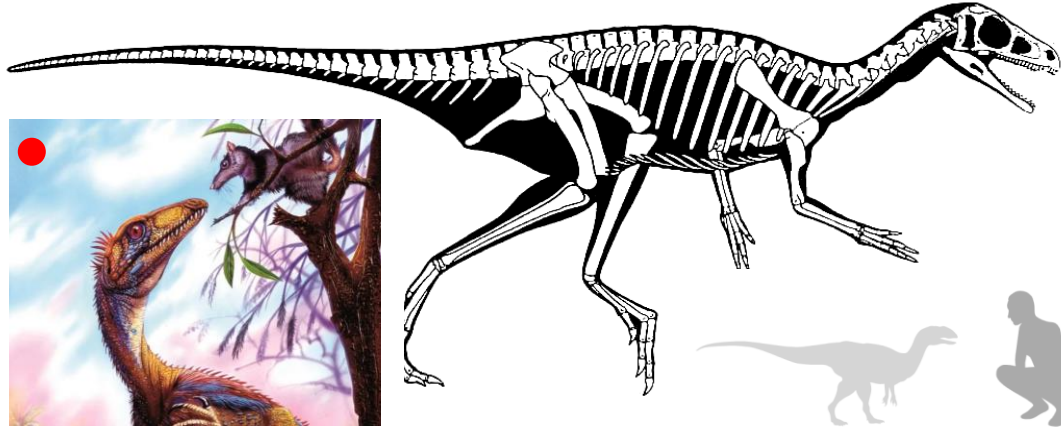
© 2014 Encyclopædia Britannica, Inc.

Rozdílná stavba pánve u dvou hlavních skupin dinosaurů, tzv. „plazopánvých“ a „ptakopánvých“.

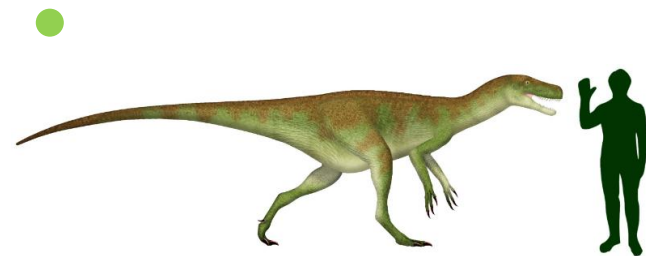


Nejstarší známí dinosauri

- nejstarší nálezy dinosaurů**, skupina **Theropoda**, *Eoraptor* (pozdní trias, Argentina) – pohyboval se výlučně bipedně

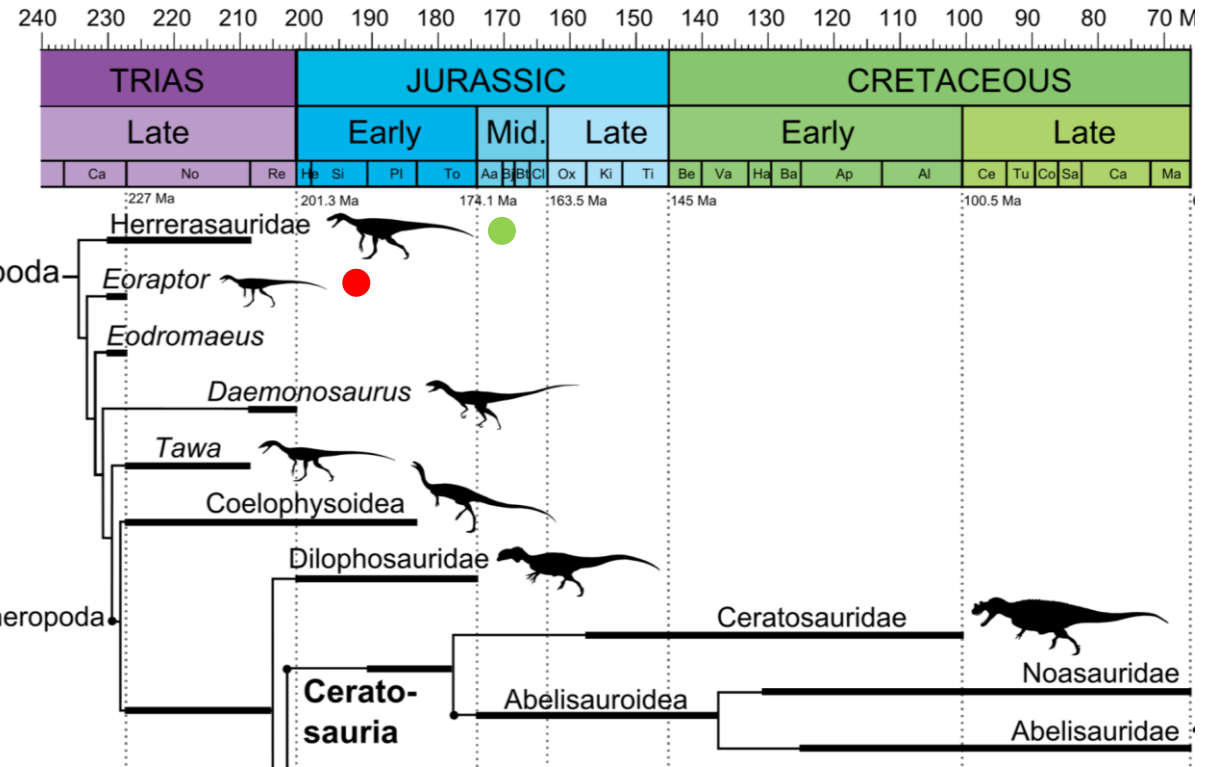
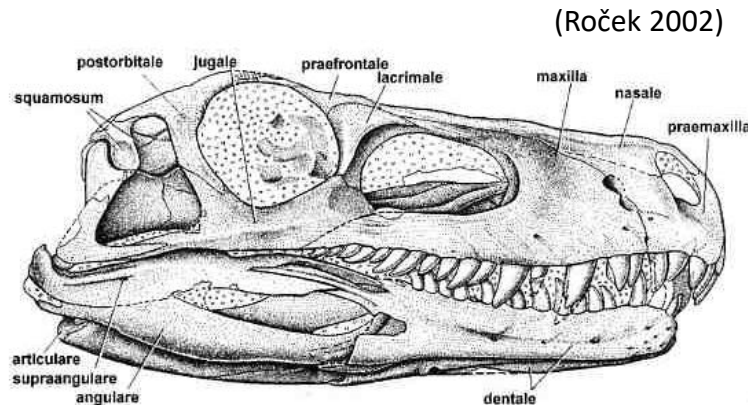


Eoraptor, pozdní trias Argentiny - asi 1 metr dlouhý, vážil kolem 10 kg. Rychlý lovec, který se živil menšími obratlovci. Mohl však být i omnivorní (všežravý).

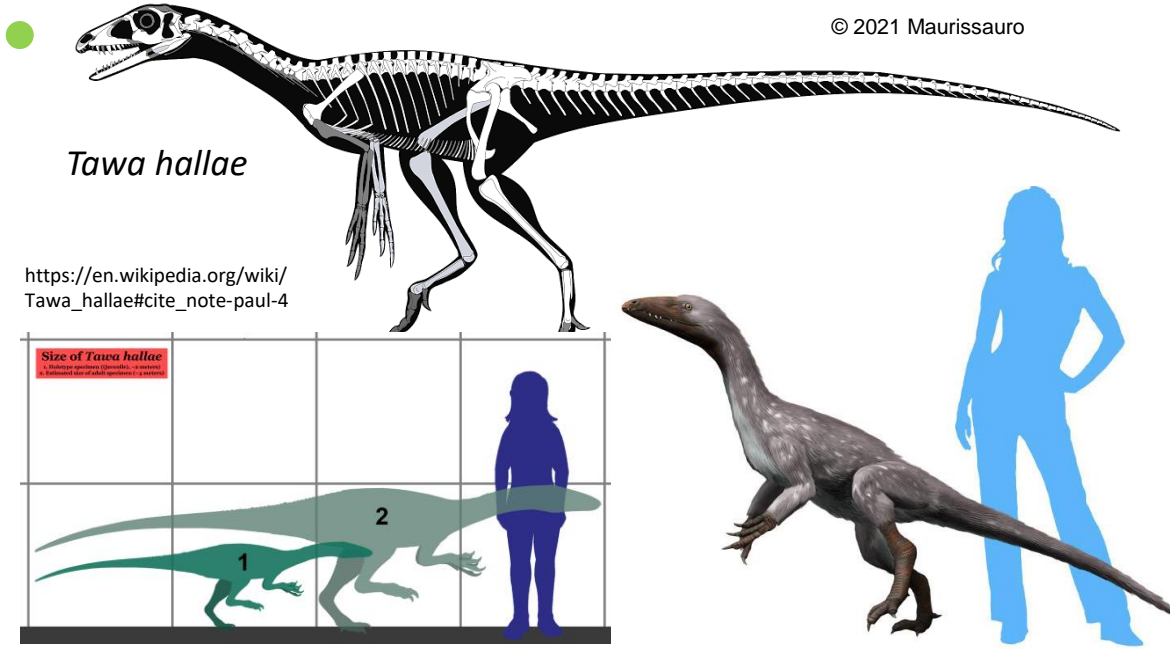


<https://www.unexpecteddinolesson.com/dino/herrerasaurus>

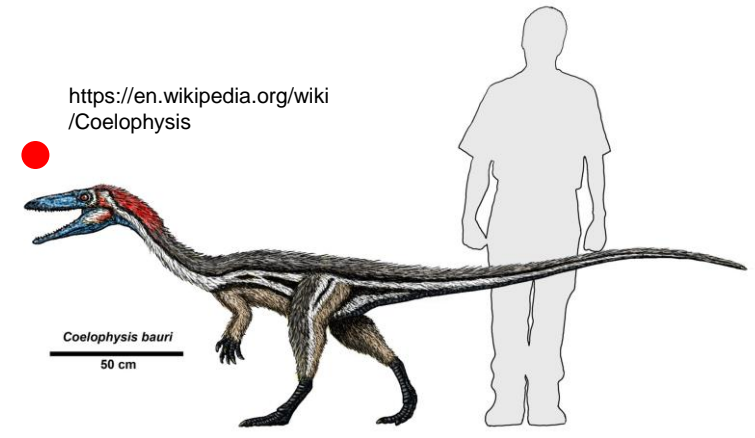
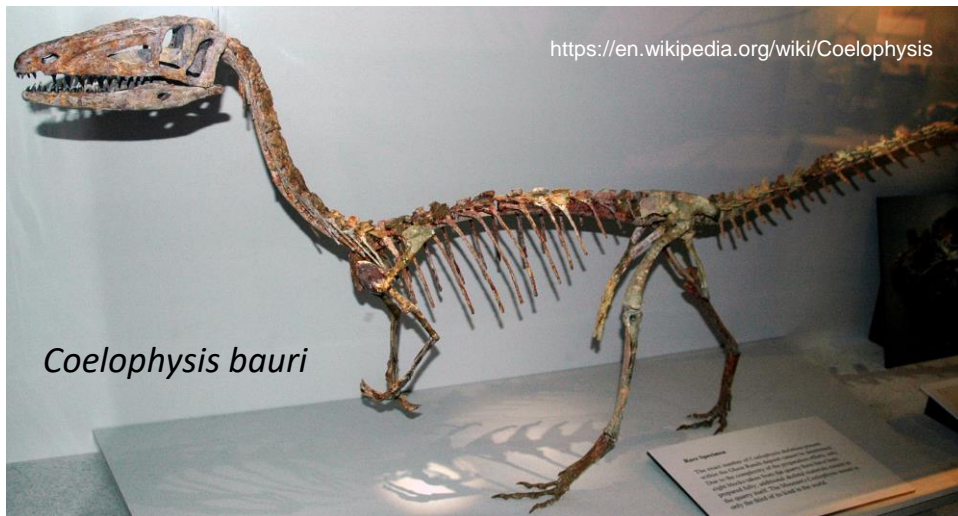
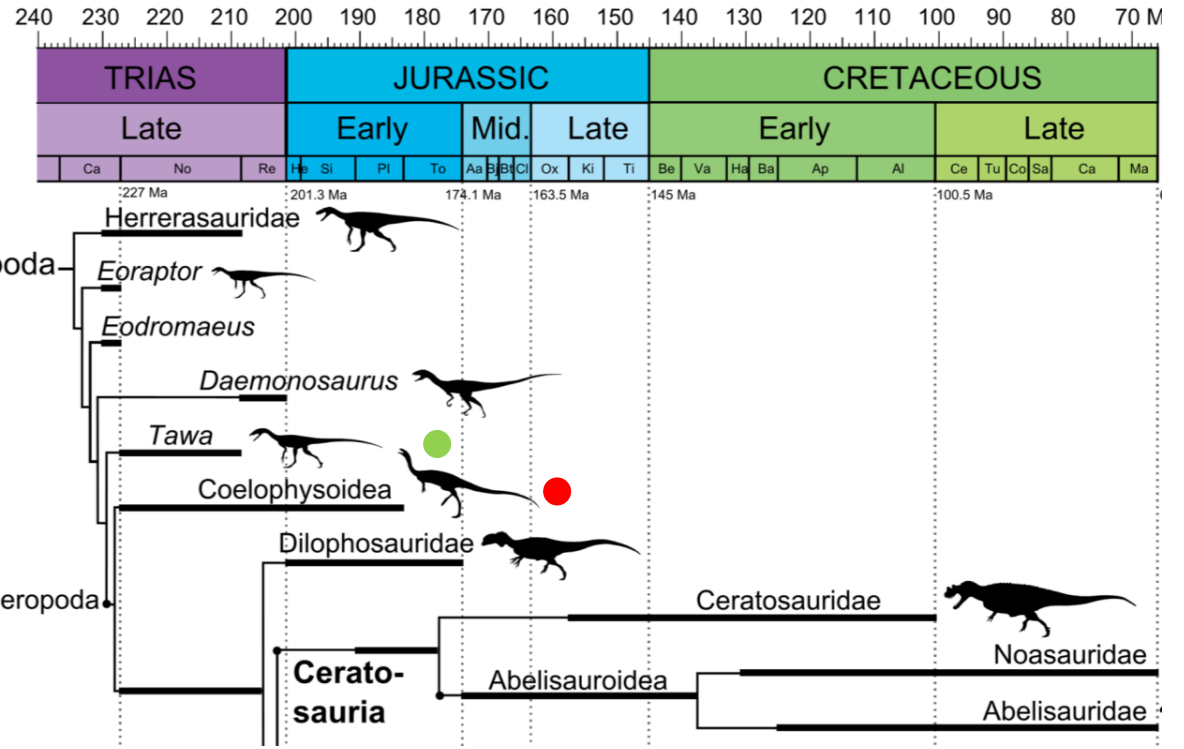
Herrerasaurus, pozdní trias Argentiny, asi 6 m dlouhý teropod.



Nejstarší známí dinosauri



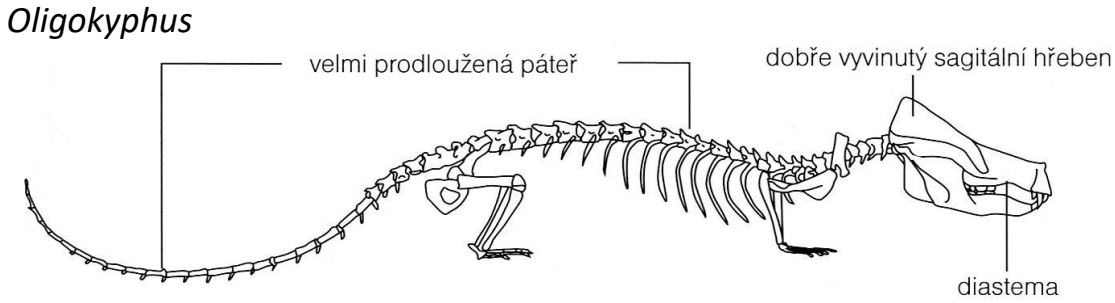
Tawa byl v dospělosti 2,5 m dlouhý a vážil 15 kg.



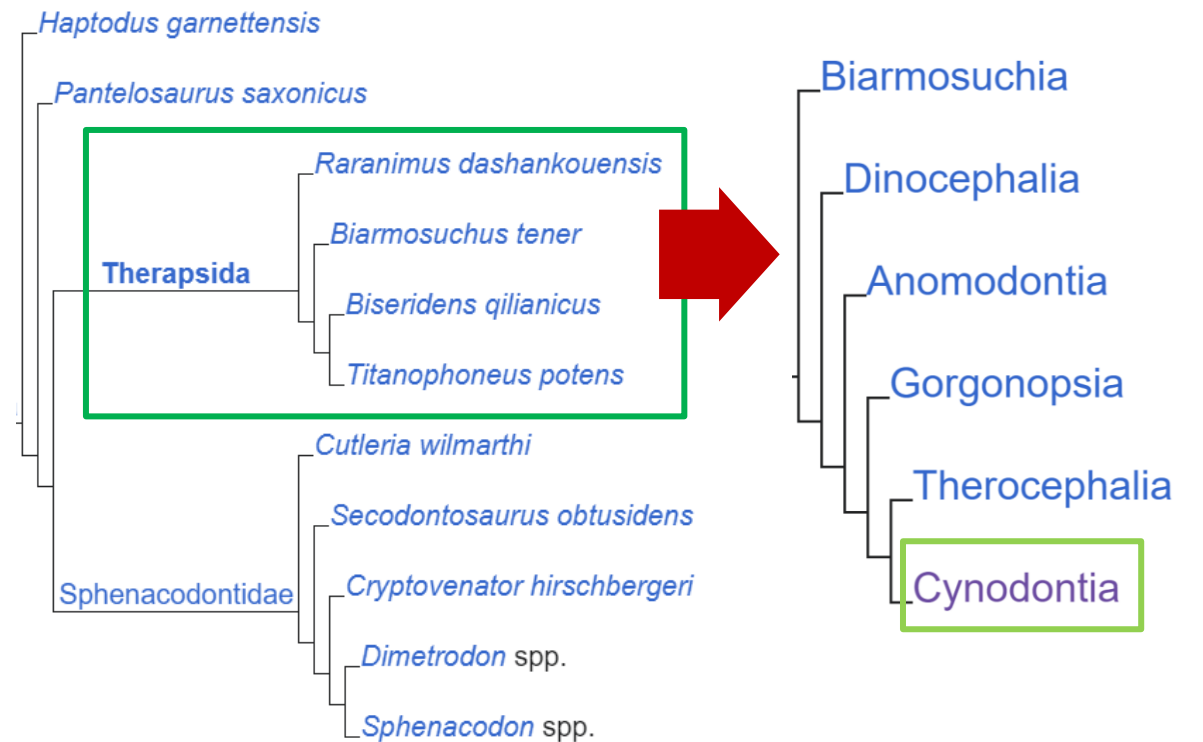
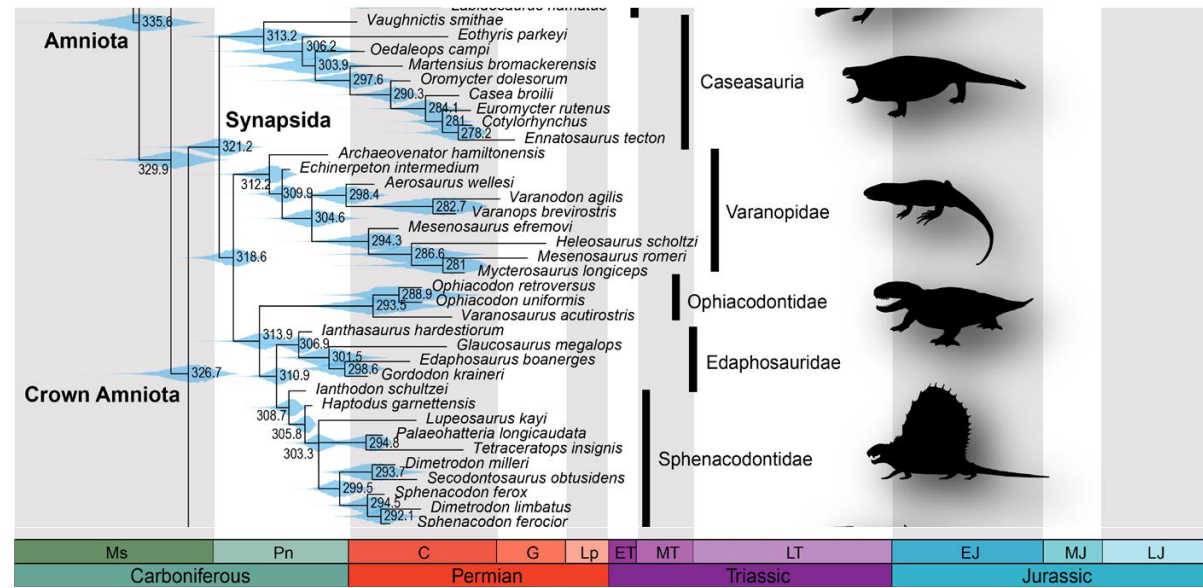
- i další **nálezů pozdně triasových dinosaurů ukazují na jejich Gondwanský původ**

Nejblíže předci savců

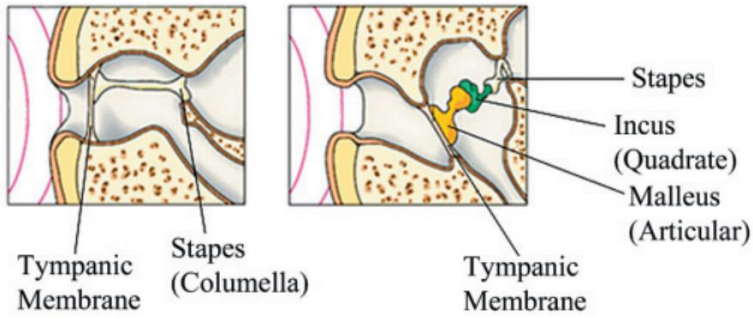
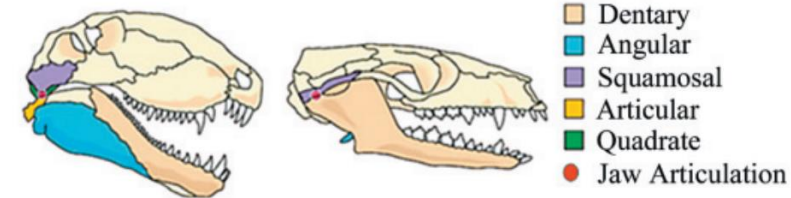
- **savci se vyvinuli ze skupiny Cynodontia**, která se řadí do rozsáhlé skupiny terapsidních amniot s blízkým vztahem k savcům
- savci jsou součástí kladu Mammaliformes zahrnující savce a jejich vývojově nejblíže příbuzné



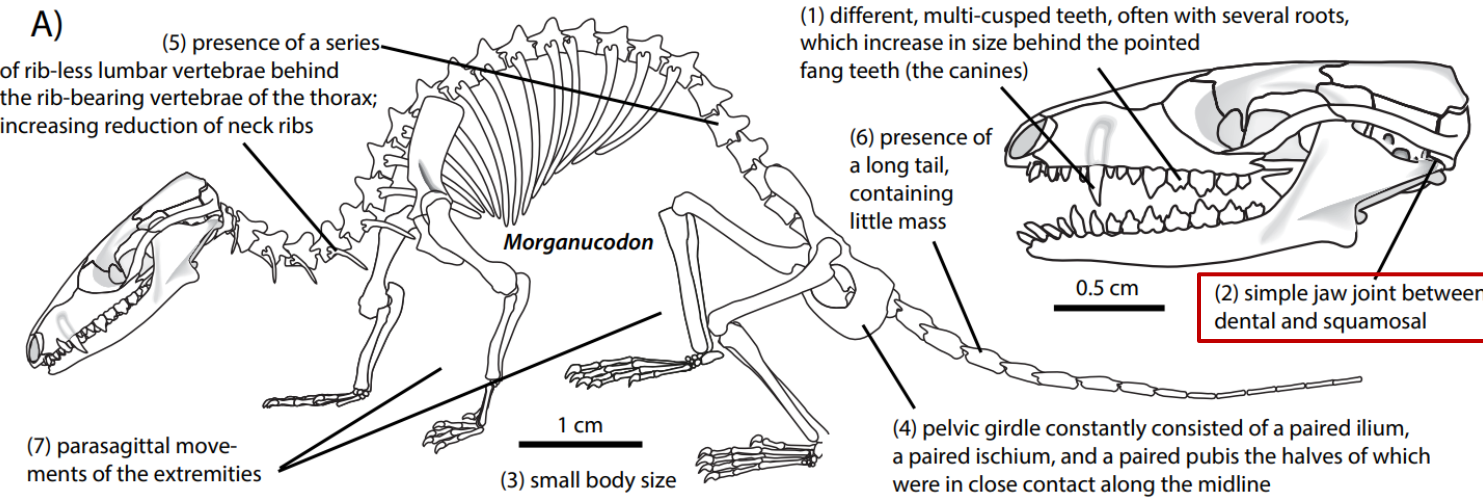
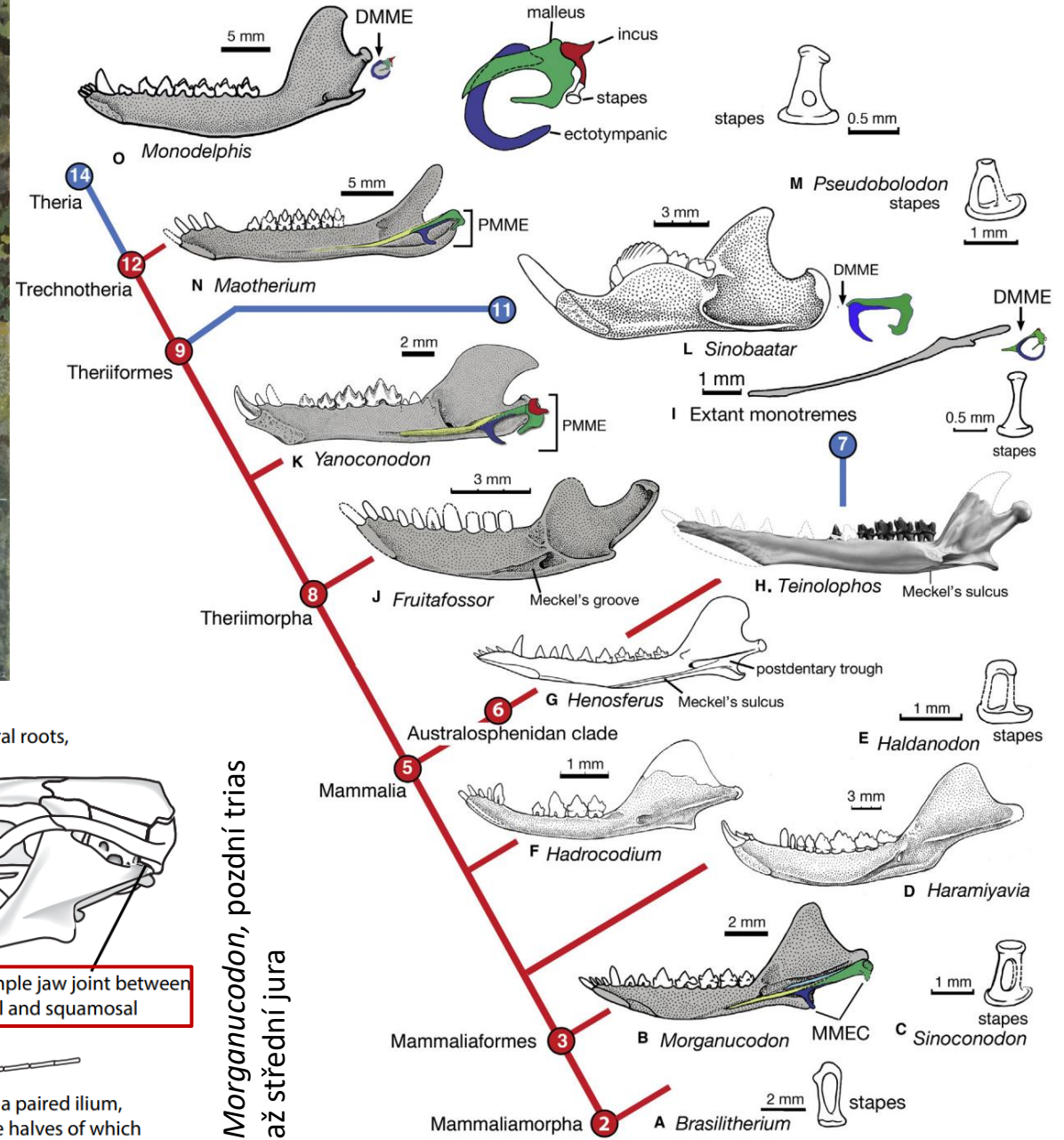
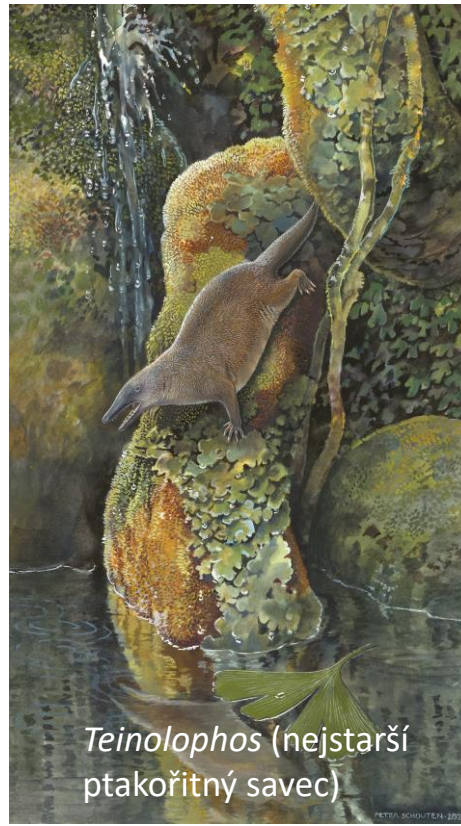
Oligokyphus, pozdní trias až raná jura Evropy, Severní Ameriky a Číny. Tento býložravec byl dlouhý asi 15–50 cm. Stejně jako u ostatních cynodontů se předpokládá srst na povrchu těla (Steyer 2011).



Nejblíže předci savců



- **u savců** se kost **dentale** kloubně pojí s **kostí squamosum**; quadratum a articulare jsou součástí středního ucha

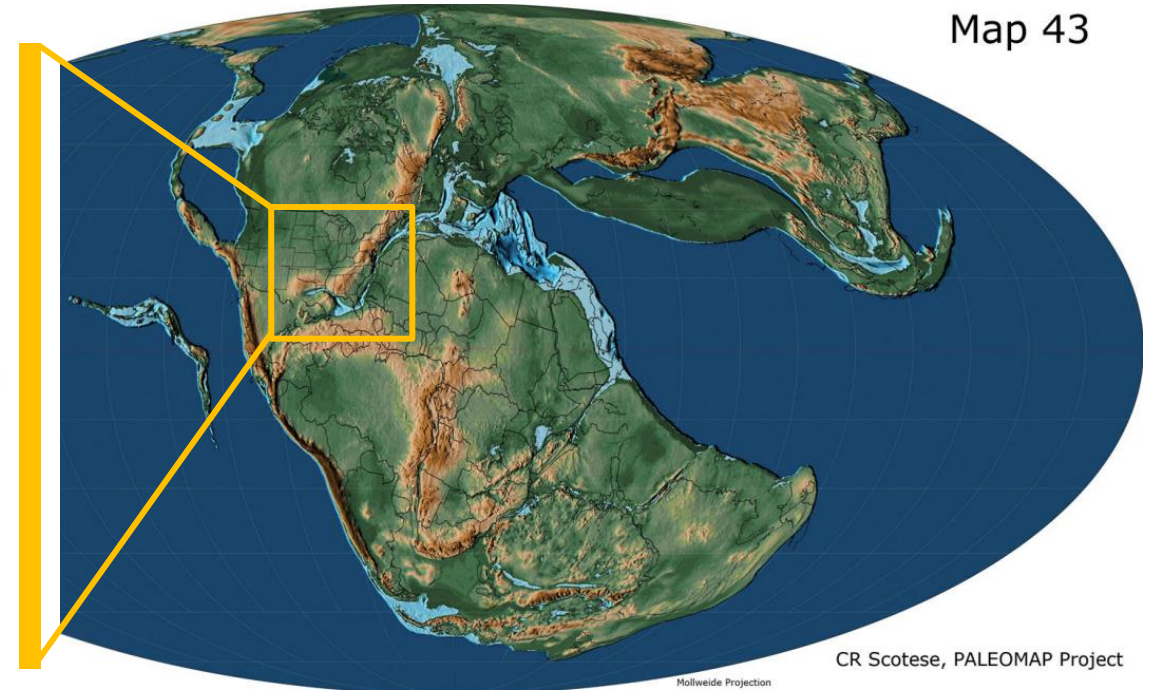
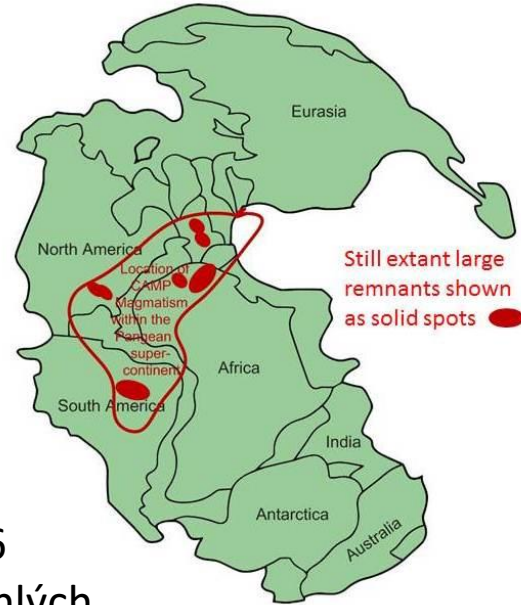


Morganucodon, pozdní trias až střední jura

Vymírání na hranici trias / jura (201,4 Ma)

(© Williamborg- 2013)

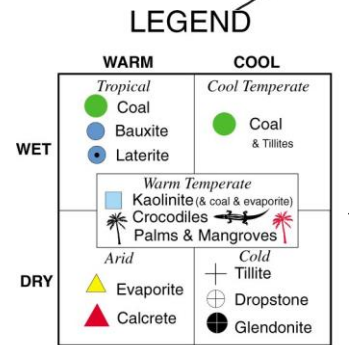
- jedno z pěti největších masových vymírání ve fanerozoiku
- vznik **Atlantského oceánu** spojen s **intenzivní vulkanickou činností** (CAMP – Central Atlantic Magmatic Province)
- **mohutná tělesa bazaltů** (čedič), 2–6 milionů km³, dodnes patrné v rozsáhlých oblastech centrálního severního Atlantiku



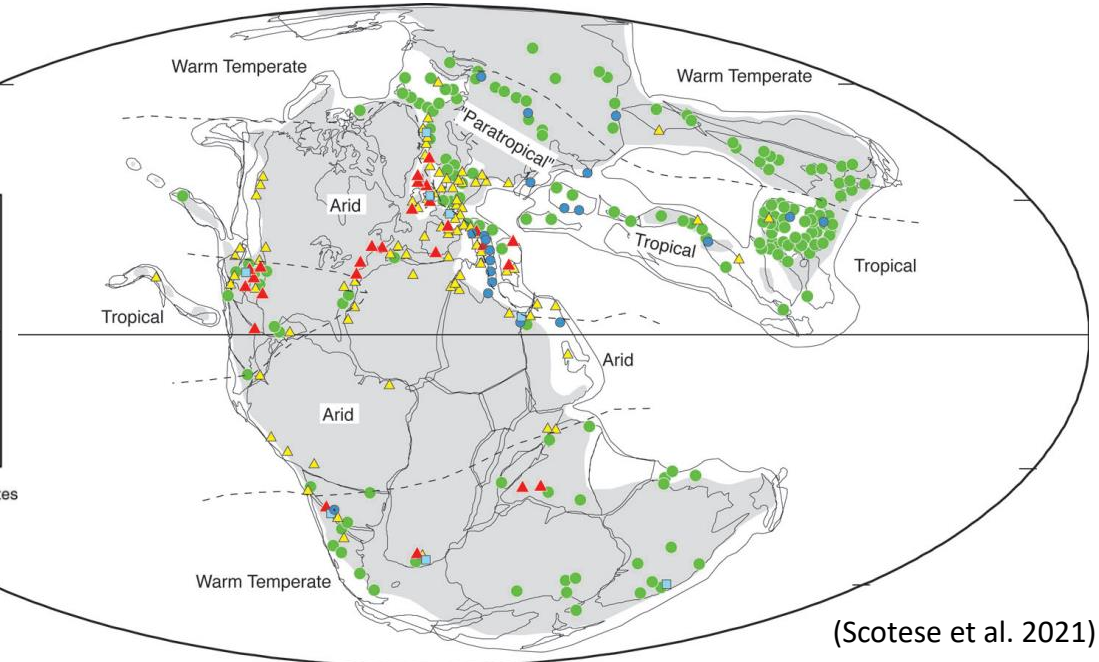
https://en.wikipedia.org/wiki/Central_Atlantic_magmatic_province#/media/File:Affioramento_CAMP2.JPG

V pohoří Atlas v Maroku jsou bazaltové lávové proudy místy mocné přes 300 m. Doloženy 4 pulsy magmatické činnosti (Capriolo et al. 2022).

svrchní trias



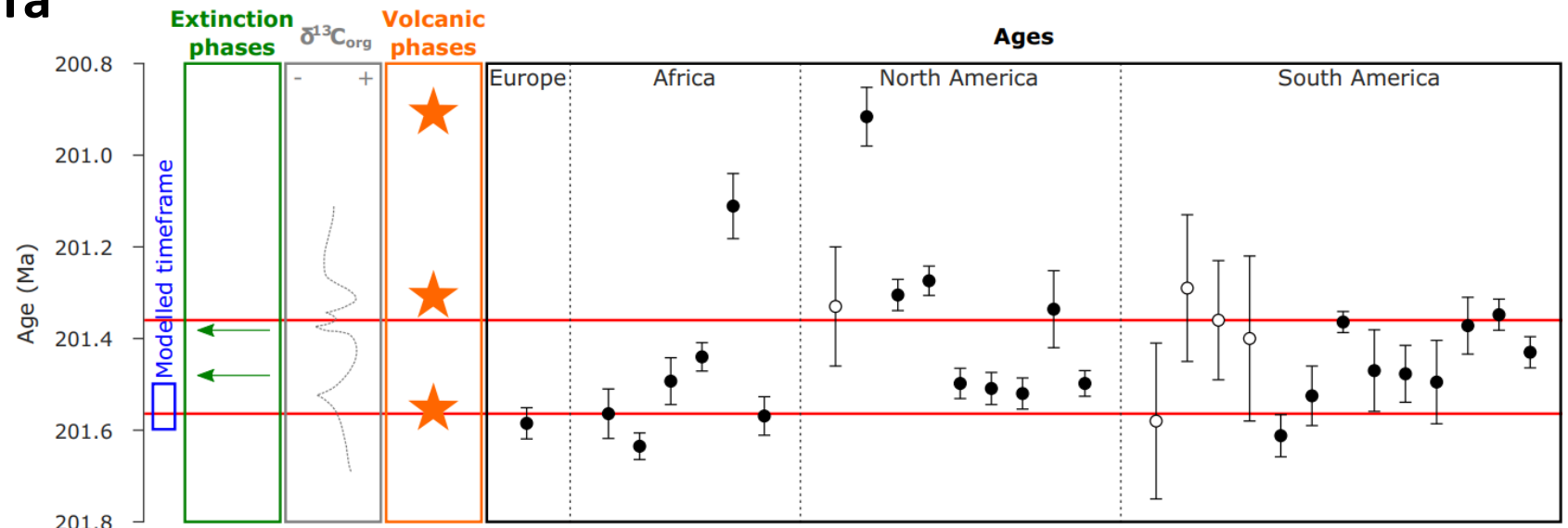
"Paratropical" = High Latitude Bauxites



(Scotese et al. 2021)

Vymírání na hranici trias / jura (201,4 Ma)

- zjištěny **tři vulkanické fáze** (201,6 –201,5 Ma a 201,3 Ma a 200,9 Ma)
- **dvě fáze vymírání** oddělených intervalem zotavení, zřejmě důsledek první dvou oddělených vulkanických fází



Dvě fáze vymírání doloženy též poklesem hodnot uhlíku organického původu ($\delta^{13}C_{org}$) (Capriolo et al. 2022).

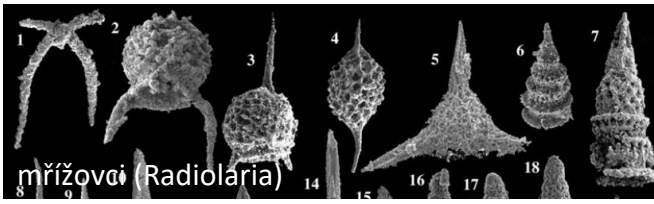
- **model** (4 pulsy vulkanické činnosti) – **uvolnění 7250 Gt CO₂ při každém pulsu trvajícím ca 10 000 let**, každoročně se do atmosféry uvolnilo $4,12 \times 10^{14}$ mol CO₂
- **vzrůst koncentrace CO₂ v atmosféře z 800 ppm na 1750 ppm během jednoho pulsu**
- vysoké koncentrace SO₂ v atmosféře – **krátkodobá ochlazení po každém pulsu + kyselá deště (pH~2–3) => zničení vegetace**



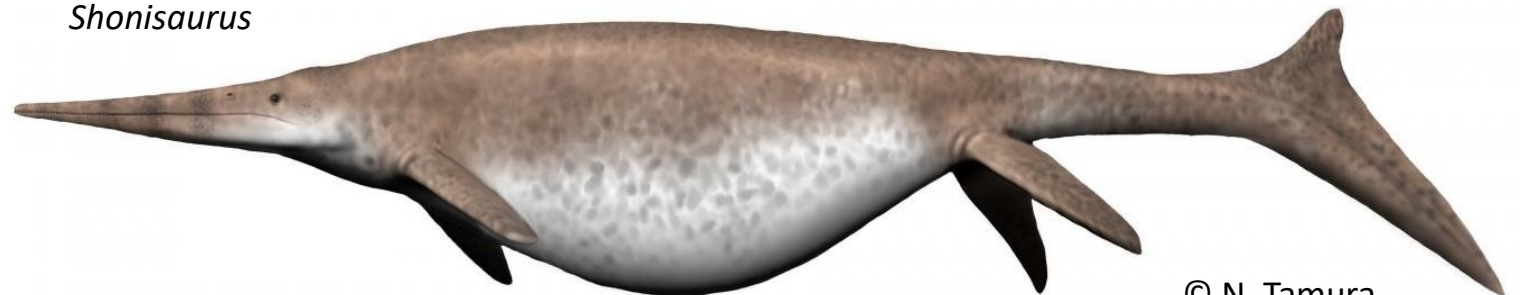
- **vzrůst teploty povrchových vod o 5°C** z původních **23°C na 28°C během 1. pulsu!**
- **pokles pH oceánské vody** z původní hodnoty 8,1 **o 0,2 během každého pulsu**
- rychlé **pulsy extrémní vulkanické činnosti vyvolaly fáze klimatické nestability**

Mořské prostředí

- **zmizelo až 80 % druhů bezobratlých;** výrazný pokles diverzity mikroorganismů (mřížovci), **vymřeli amoniti s ceratitovým typem švů, konulárie**
- **kolaps korálových útesů** (také v důsledku regrese) vymřelo asi 96 % rodů korálů
- **obratlovci – vymřeli konodonti, někteří ichthyosauři (Shonisauridae), poslední plakodonti (Placochelyidae)**



Shonisaurus



© N. Tamura

korálový útes, pozdní trias



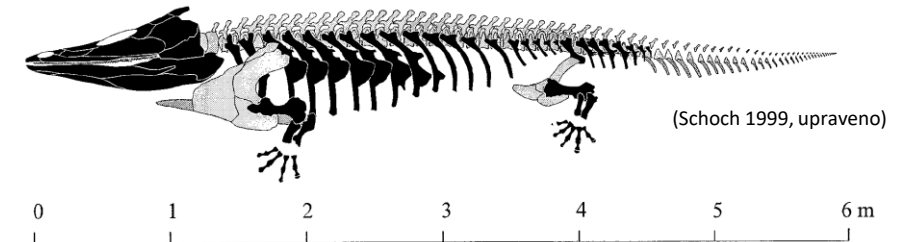
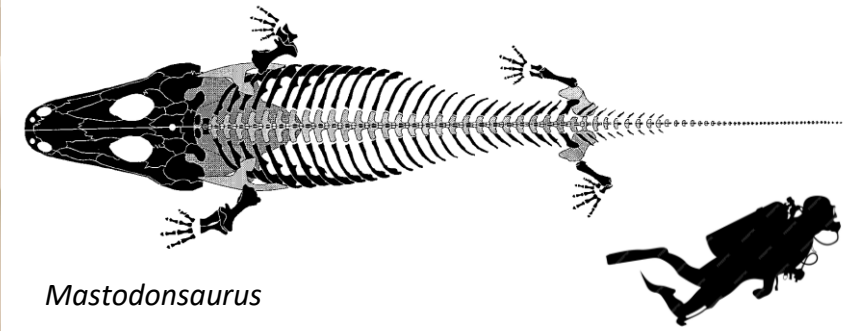
konodont



(Terrill et al 2018)

Kontinentální prostředí

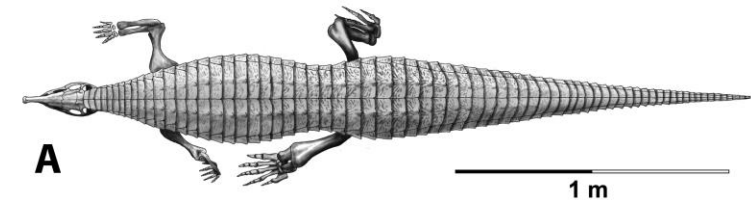
- ze skupiny temnospondylních obojživelníků vymřeli např. kapitosauři (*Mastodonsaurus*) a plagiosauři (*Gerrhothorax*)
- vymřely starobylé formy sauropsidů jako Procolophonidae, Tanystropheidae, dále starobylé formy archosaurů, např. fytosauři, drepanosauři, aetosauři
- složení rostlinstva svědčí o ekologické katastrofě



Gigantický *Mastodonsaurus* byl v jezerech středního triasu vrchoným predátorem.

↑
obojživelníci sauropsidi
↓

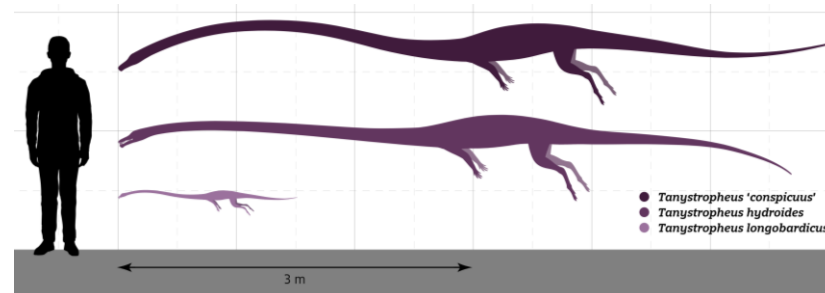
Stagonolepis robertsoni



Aetosauři (skupina Pseudosuchia) se vyznačovali vývojem mohutného pancíře (Parker 2016)



Gerrhothorax byl bizarní asi 1 m dlouhý obojživelník známý z triasu Grónska, Německa, Polska a (?)Thajska.



Tanystropheus byl triasový archosauromorfní plaz s extrémně dlouhým krkem. Živil se rybami.

Co jsme se dověděli?

- víme, které skupiny živočichů vymřely na konci permu
- aridní začátek druhohor (raný trias) představuje klimaticky nejteplejší období ve vývoji Země, kdy i v polárních oblastech chybělo zalednění
- v triasu se v mořském prostředí vyvíjejí červené řasy tvořící povlaky na korálových útesech
- z bezobratlých se v mořském prostředí vyvíjejí mlži, plži, hlavonožci (amoniti s ceratitovým typem švů), ježovky; nový vývoj ramenonožců, lilijic a mořských hub
- karnská pluviální epizoda – v důsledku silné vulkanické činnosti, zvýšená humidita klimatu + oteplení => vznik rozsáhlých lesů s výtrusnými, kapradosemennými a nahosemennými rostlinami (mezofytikum)
- významné rozrůznění terestrické fauny v pozdním triasu s nástupem vlhčího klimatu
- během triasu - výrazný rozvoj sauropsidů => v mořích ichtyosauři, notosauři, v kontinentálním prostředí archosauři – fytosauři, předci krokodýlů, ptakoještěři a nejstarší dinosauři.

- známe příčiny vymírání na hranici T/J podmíněné rozsáhlou vulkanickou činností a zvýšenou koncentrací CO₂ a SO₂ v atmosféře
- víme, které skupiny organismů vymřely v mořském a které v kontinentálním prostředí

