

Phanerozoic		Paleozoic		Permian		Age (Ma)	Marker
Paleozoic	Permian	Lopingian	Changhsingian		251.0 ± 0.4		
			Wuchiapingian		253.8 ± 0.7		
		Guadalupian	Capitanian		260.4 ± 0.7		
			Wordian		265.8 ± 0.7		
			Roadian		268.0 ± 0.7		
		Cisuralian	Kungurian		270.6 ± 0.7		
			Artinskian		275.6 ± 0.7		
			Sakmarian		284.4 ± 0.7		
			Asselian		294.6 ± 0.8		
		Carboniferous	Pennsylvanian	Upper	Gzhelian		299.0 ± 0.8
	Kasimovian				303.9 ± 0.9		
	Middle			Moscovian		306.5 ± 1.0	
	Lower			Bashkirian		311.7 ± 1.1	
	Mississippian		Upper	Serpukhovian		318.1 ± 1.3	
Middle			Visean		326.4 ± 1.6		
Lower			Tournaisian		345.3 ± 2.1		
					359.2 ± 2.5		

STÁŘÍ (Ma)	ERATEM		ÚTVAR	ODDĚLENÍ	STUPEŇ	
245	<b>PALEOZOIKUM</b>	<b>SVRCHNÍ PALEOZOIKUM</b>	<b>PERM</b>	SVRCHNÍ	thuring	
286				SPODNÍ	saxon	
					autun	
					stephan	
360			<b>KARBON</b>	SVRCHNÍ	PENNSYLVAN	westphal
						namur
						visé
				SPODNÍ	MISSISSIP	tournai

**Obr. 50.** Základní členění svrchního paleozoika v Západní Evropě, oddělení mississip a pennsylvan se vyčleňují na severoamerickém kontinentu.

The base of the Carboniferous System is defined at the first appearance of the conodont *Siphonodella sulcata* within the evolutionary lineage from *Siphonodella praesulcata* to *Siphonodella sulcata*. The Devonian-Carboniferous Boundary is at the base of Bed 89 in Trench E' at La Serre, France

The base of the Permian System is defined at the first occurrence of "isolated-nodular" morphotype of Streptognathodus "wabaunsensis" conodont chronocline, 27 m above the base of Bed 19, Aidaralash Creek, northern Kazakhstan.

The base of the Triassic System is defined at the first occurrence of the conodont species *Hindeodus parvus* in the evolutionary lineage *Hindeodus latidentatus* - *Hindeodus parvus* - *Isarcicella isarcica* at the base of Bed 27c in the Meishan Section, Changxing County, Zhejiang Province, China.

***Radiometric Dating:***

Zircon dating of the "White Clay" (Bed 25) using SHRIMP (ion-microprobe) dating gave a  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of 251.2 ± 3.4 Ma.

Using incremental-heating  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis of sanidine grains (100-150 μ across) extracted from the "White Clay", obtained a plateau date of 249.91 ± 0.15 Ma

# General characterization

# Typical Carboniferous facies

**1) Culm facies – Carboniferous flysch, alternation of greywackes, conglomerates and shales**

**2) Coal – paralic and limnic basins. Paralic basins - cyclothems**

# Plant Life on Land

- Coal deposits
  - lowland swamps
  - wetlands more extensive in Late Carboniferous

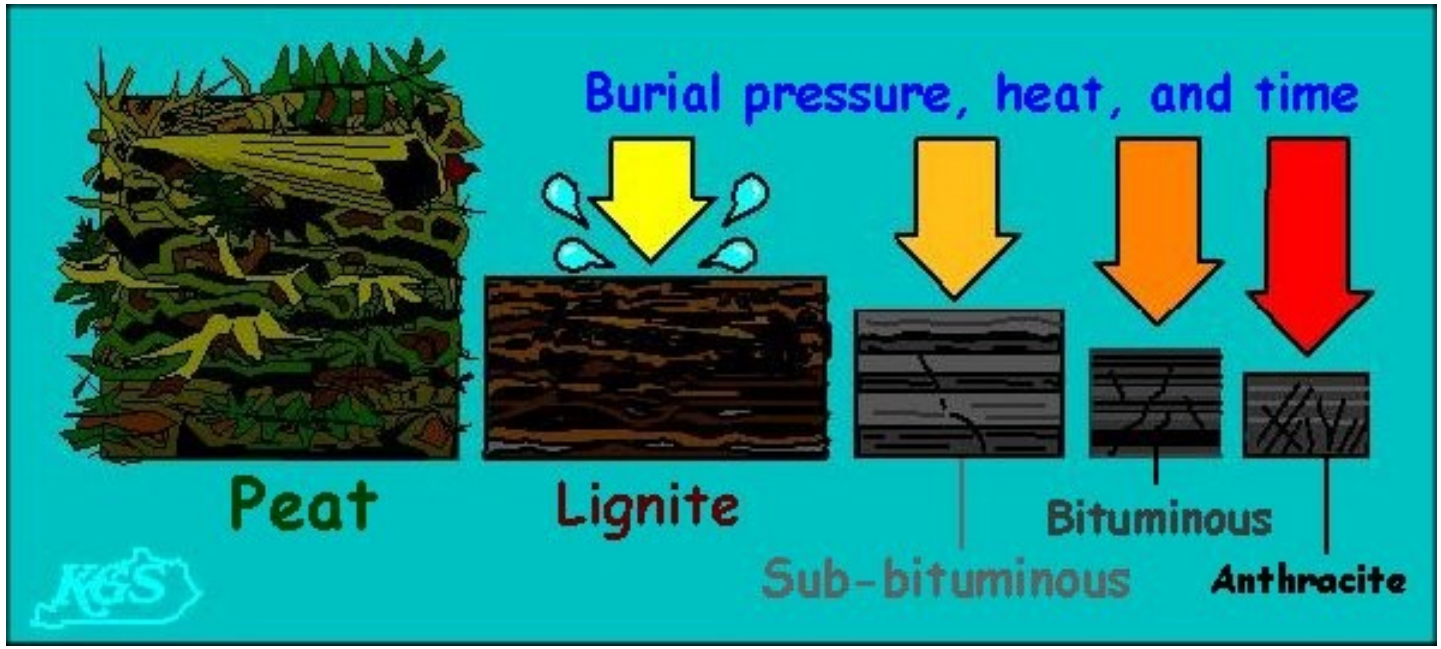


# Coals

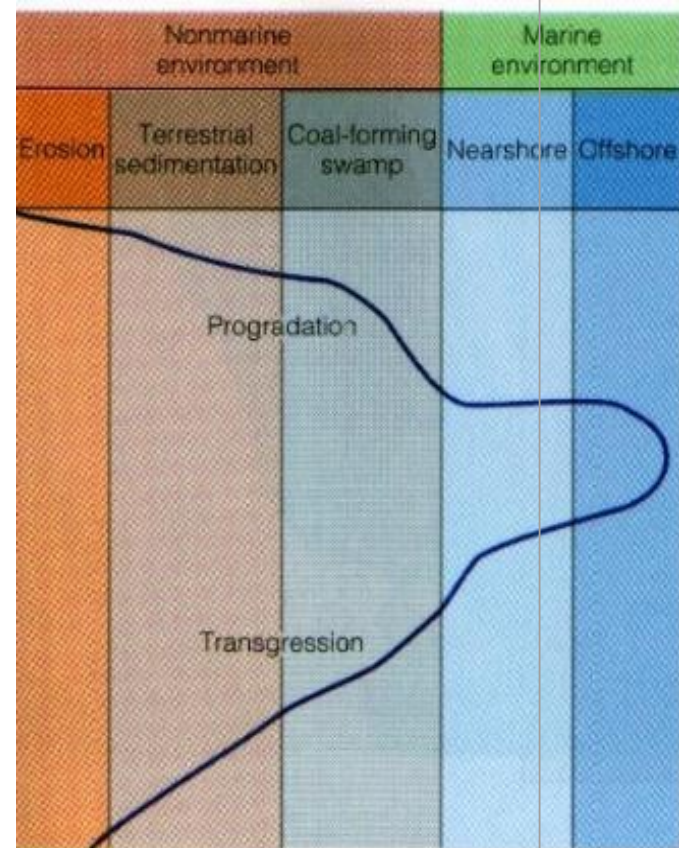
- Coal deposits accumulate in swampy areas
  - full of organic carbon from plants and animals
  - need abundant vegetation and reducing environment
    - vegetation dies, and is buried and preserved instead of oxidized and decayed
    - compacts to form peat (10:1 ratio)
    - continued burial and metamorphism produces coal



Florida Everglades,  
Louisiana swamps  
are modern analogs

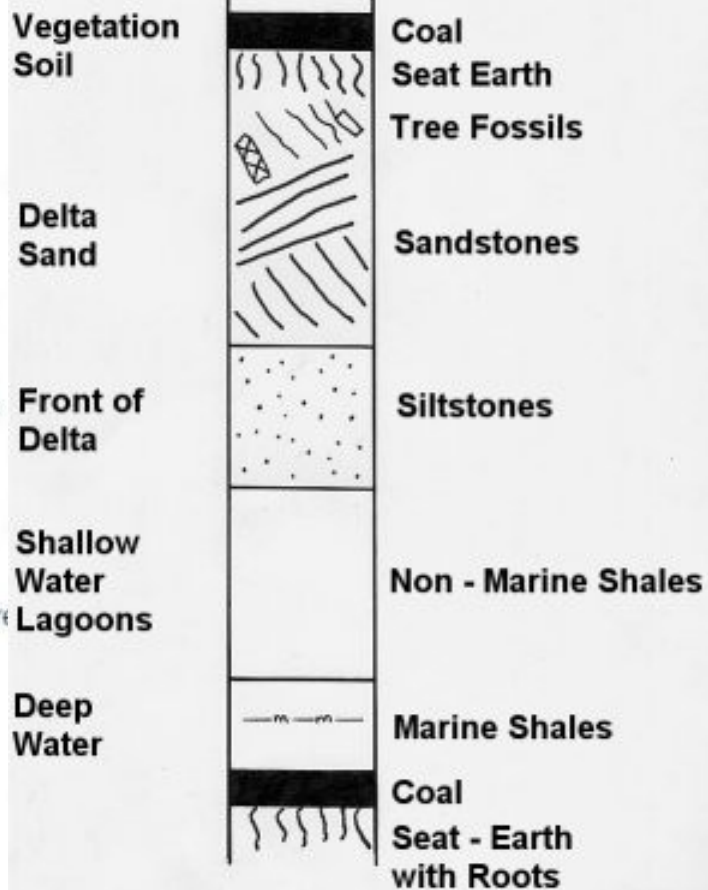




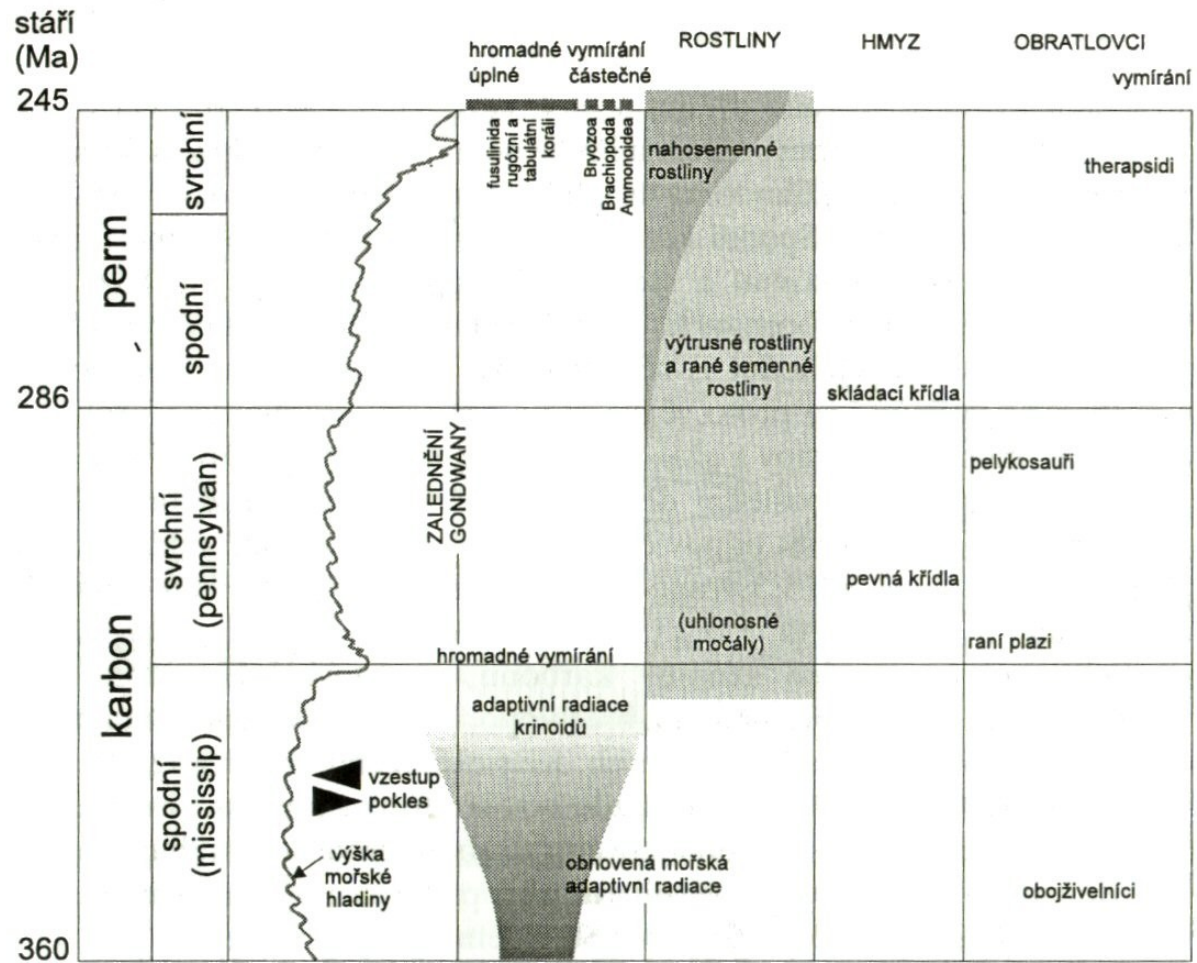


Disconformity  
 Brackish and nonmarine shales  
 Marine shales  
 Algal limestones with nearshore and brackish water invertebrate fossils  
 Limestones with offshore invertebrate fossils  
 Limestones and shale with offshore invertebrate fossils  
 Marine shales with nearshore invertebrate fossils  
 Coal  
 Underclay  
 Nonmarine shales and sandstones  
 Nonmarine sandstones  
 Disconformity

### A Coal Measure Cyclothem



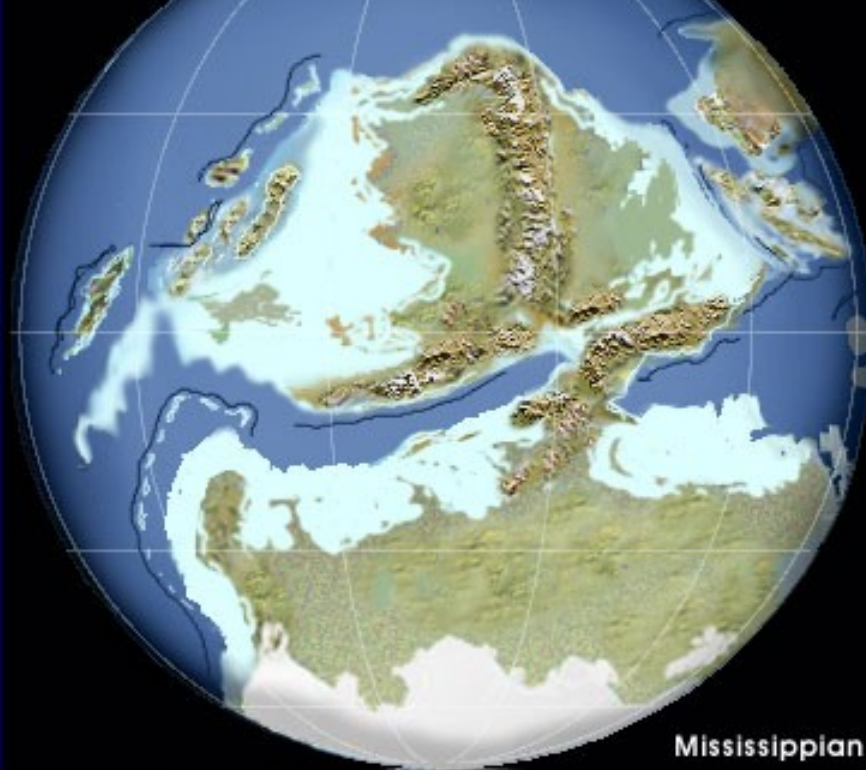
(a)



Obr. 51. Hlavní události svrchního paleozoika. Upraveno podle Stanley (1992).

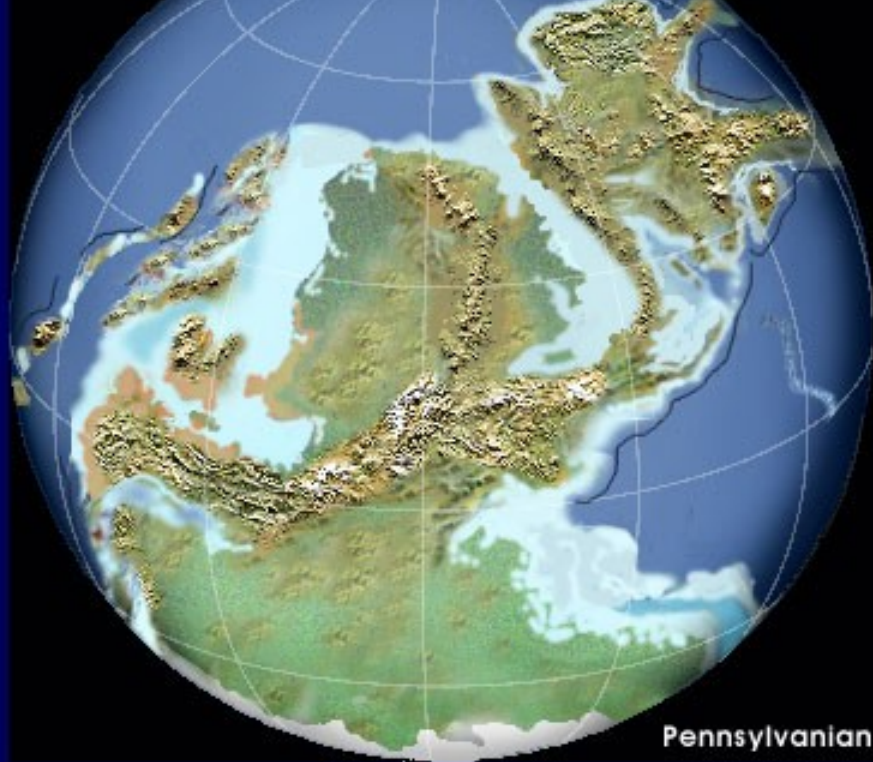
# Paleogeography and tectonic processes





Mississippian (345 - 335 Ma)

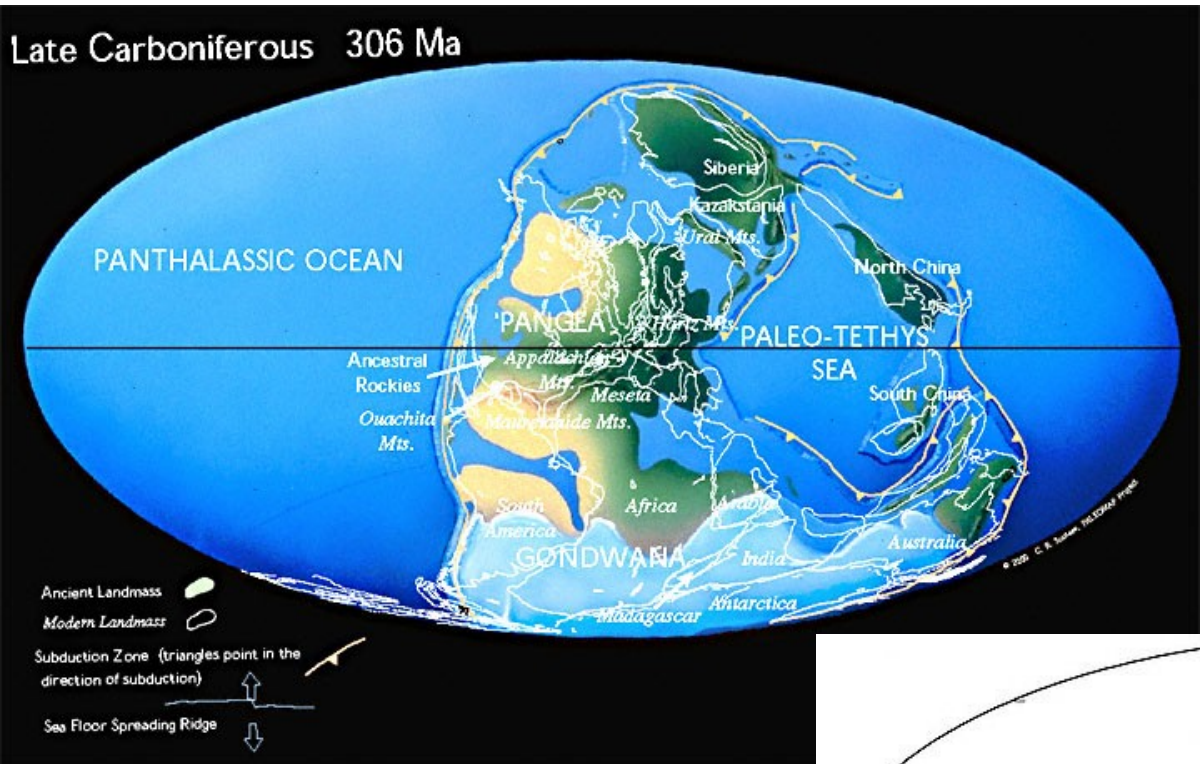




Pennsylvanian (310 - 300 Ma)



# Pennsylvanian Tectonics and Climate

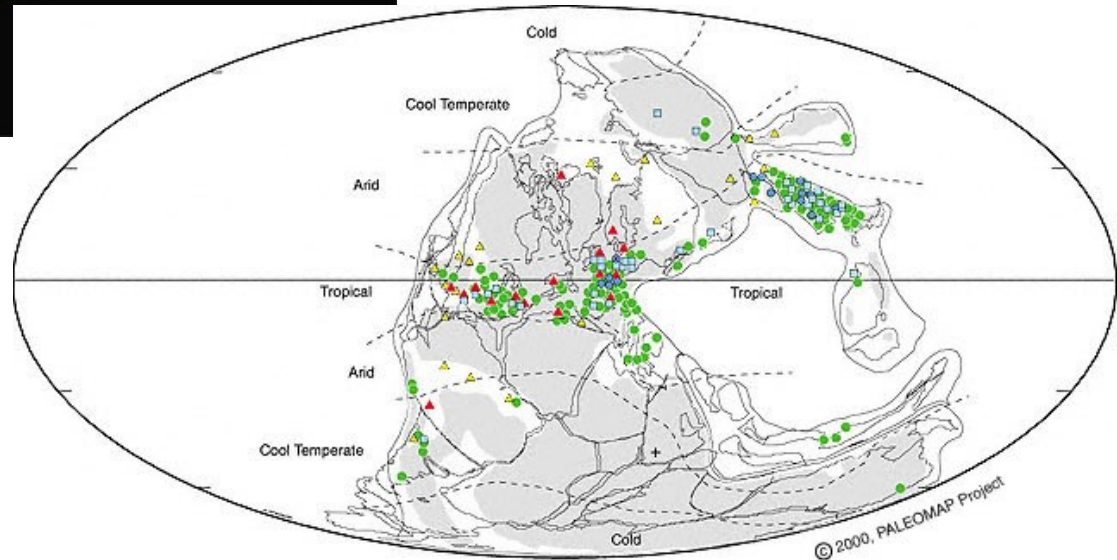


## LEGEND

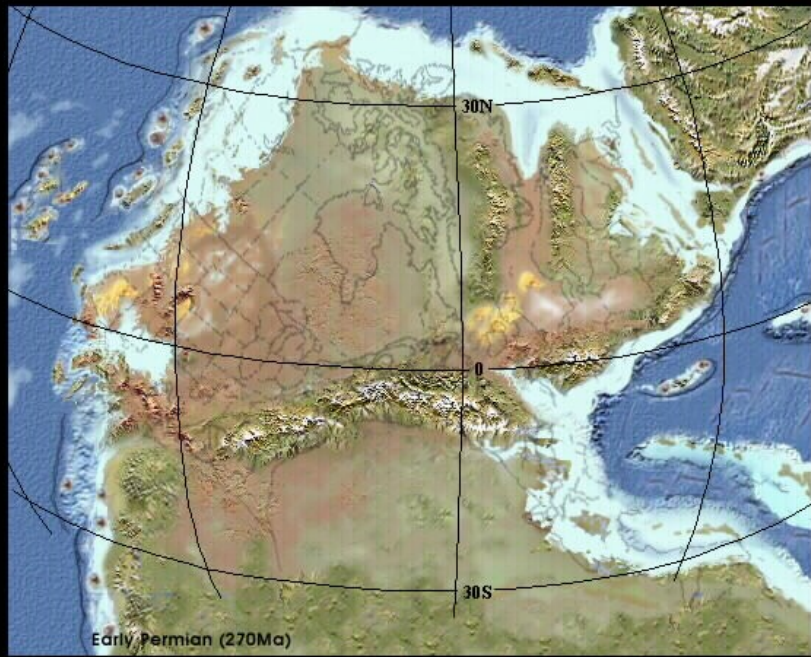
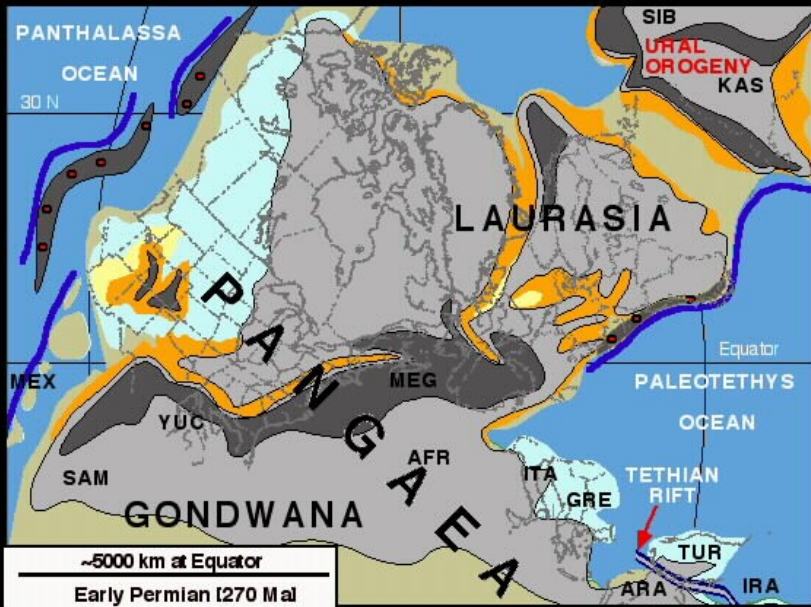
		WARM	COOL
WET	Tropical	Coal	Cool Temperate Coal & Tillites
		Bauxite	
		Laterite	
		Warm Temperate Kaolinite (& coal & evaporite) Crocodiles  ← Palms & Mangroves	
DRY	Arid	Evaporite	Cold Tillite
		Calcrete	Dropstone
			Glendonite

"Paratropical" = High Latitude Bauxites

Tropical rainforests in middle of Pangea; vast coal swamps at equator; deserts, glaciers cover Gondwana



Upper Carboniferous (Gzelian)

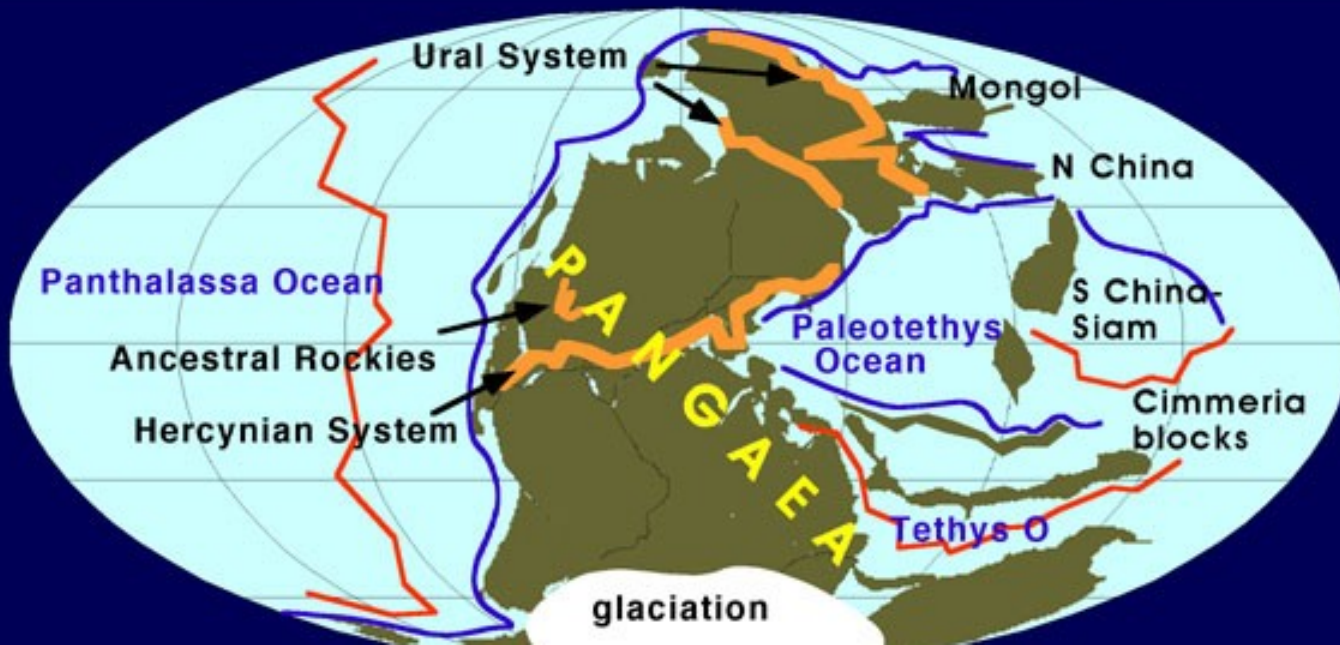


Early Permian (270Ma)





Permian (270 - 260 Ma)



# Permo-Carboniferous Glaciation I

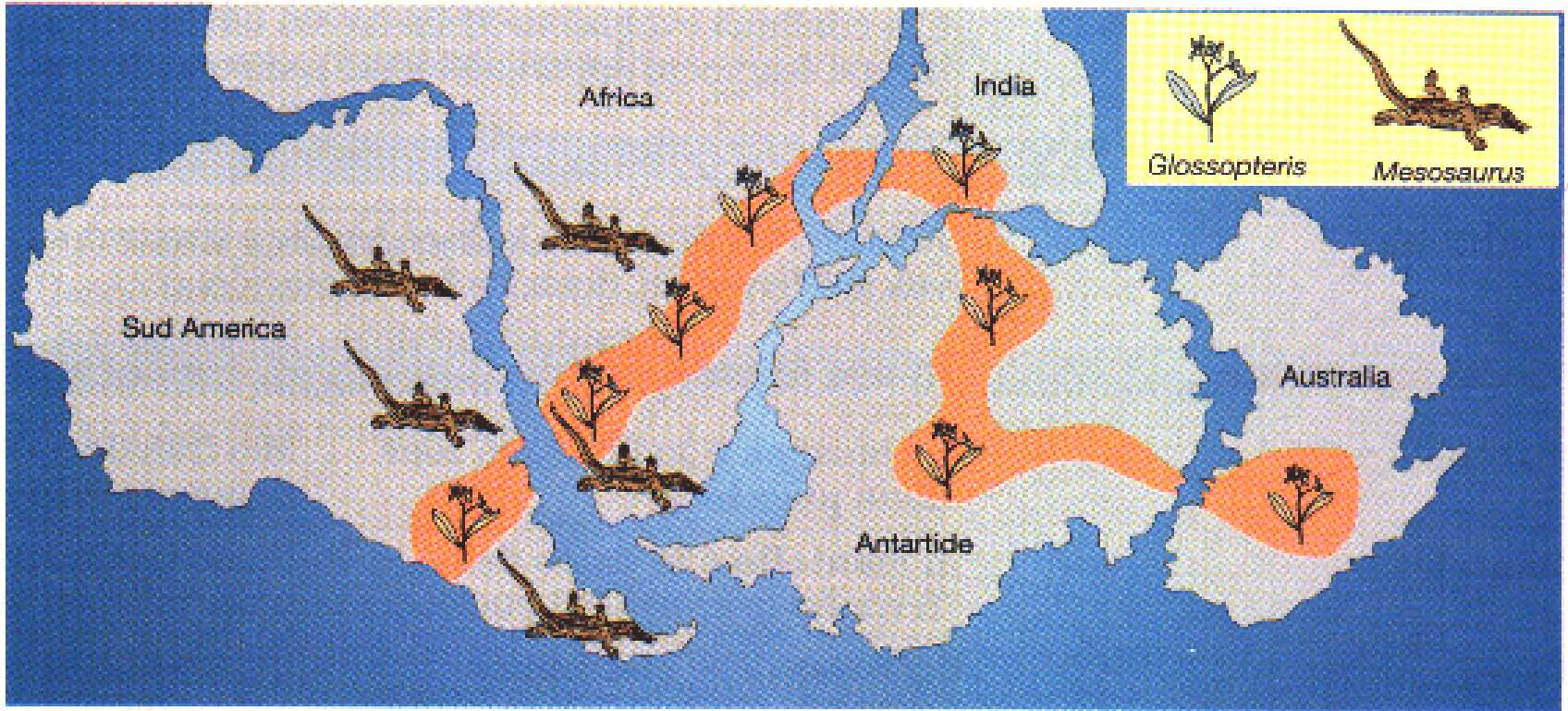
- ❖ Carboniferous to Permian period (350-280 million years ago)
- ❖ **Most severe glaciation of the entire Phanerozoic**
- ❖ Last glaciation prior to Quaternary ice ages
- ❖ Gondwanaland ice sheet centered on Antarctica and S. Africa
- ❖ Maximum - 2X area of the current Antarctic ice sheet
- ❖ Gondwanaland ice sheet believed to radially flow from a cap  
*(over South America, southern Australia, and southern India)*
- ❖ Dwyka series in Africa
  - 600 meter thick tillites
  - Underlying bedrock, grooves, striations and polish
  - Indicates paleo flow directions
- ❖ Evidence for the breakup of Pangea
- ❖ **No evidence of glaciation in the northern continents - Duh?**

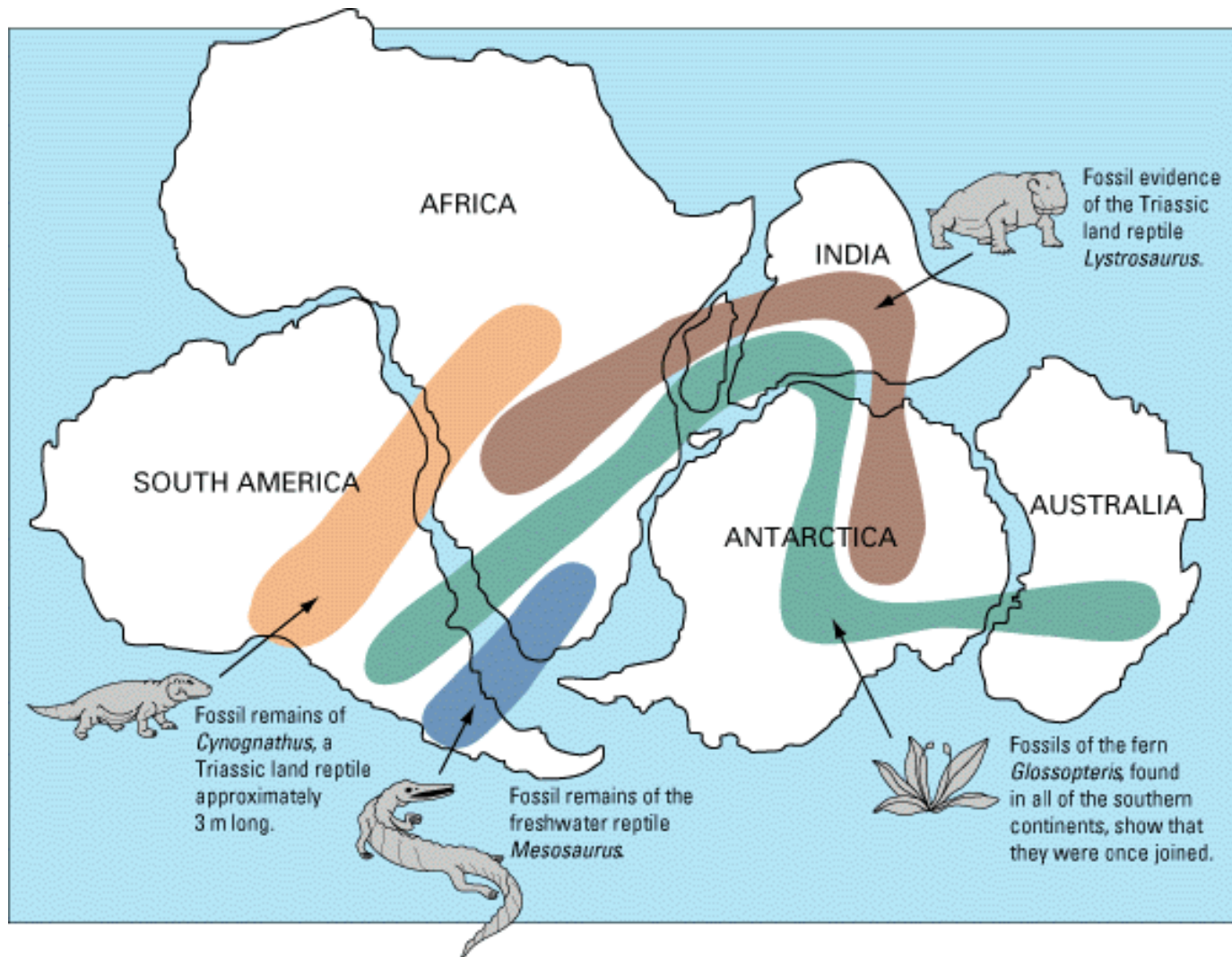
# Permo-Carboniferous Glaciation II



Deep striations cut in soft sand by ice sheets during the Permian-Carboniferous Gondwana glaciation, Oorlogskloof, South Africa

## Gondwana – paleobiogeographic evidence





# Phases of Variscan orogeny

- 1) **Breton phase – D-C boundary**
- 2) **Sudetic phase Vidsean/Namurian boundary**
- 3) **Krušné Hory phase – late namurian –early Westphalian**
- 4) **Astur phase – westphalian/Stephanian boundary**
- 5) **Saal phase – Permian**
- 6) **Falc phase – P/Tr boundary**

TESZ







# Středoevropské variscidy

Laurussie

Gondwana

Severní křídlo

Dorzální pásmo

Jižní křídlo

Subvariská zóna

Renohercynsko-jihoportugalská zóna

Sasko-durynská zóna  
Moldanubická zóna

Avalonie

Armorické společenstvo teránů

Perimediterranní terán

Noricko bosenský terán

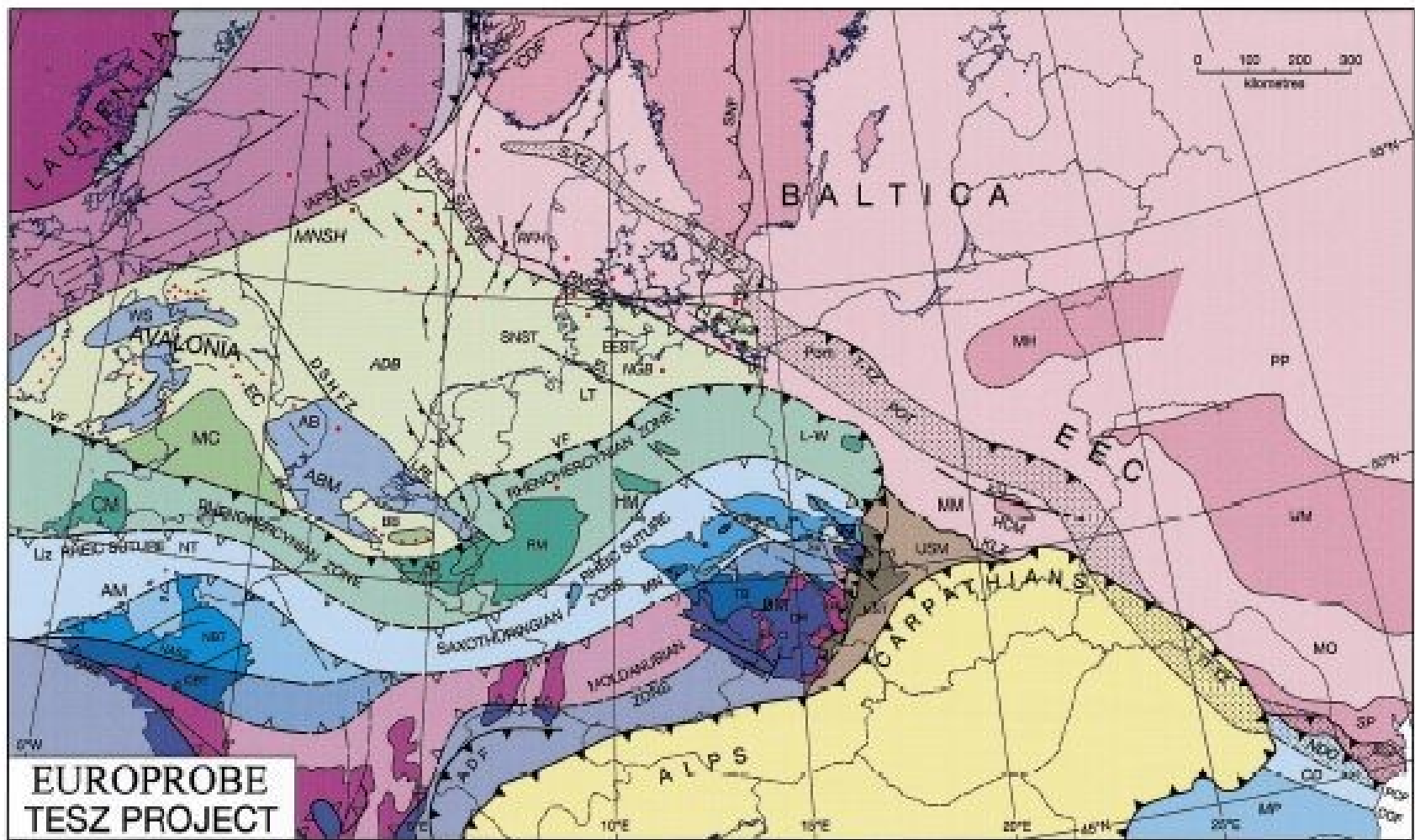
Lysogorský terán

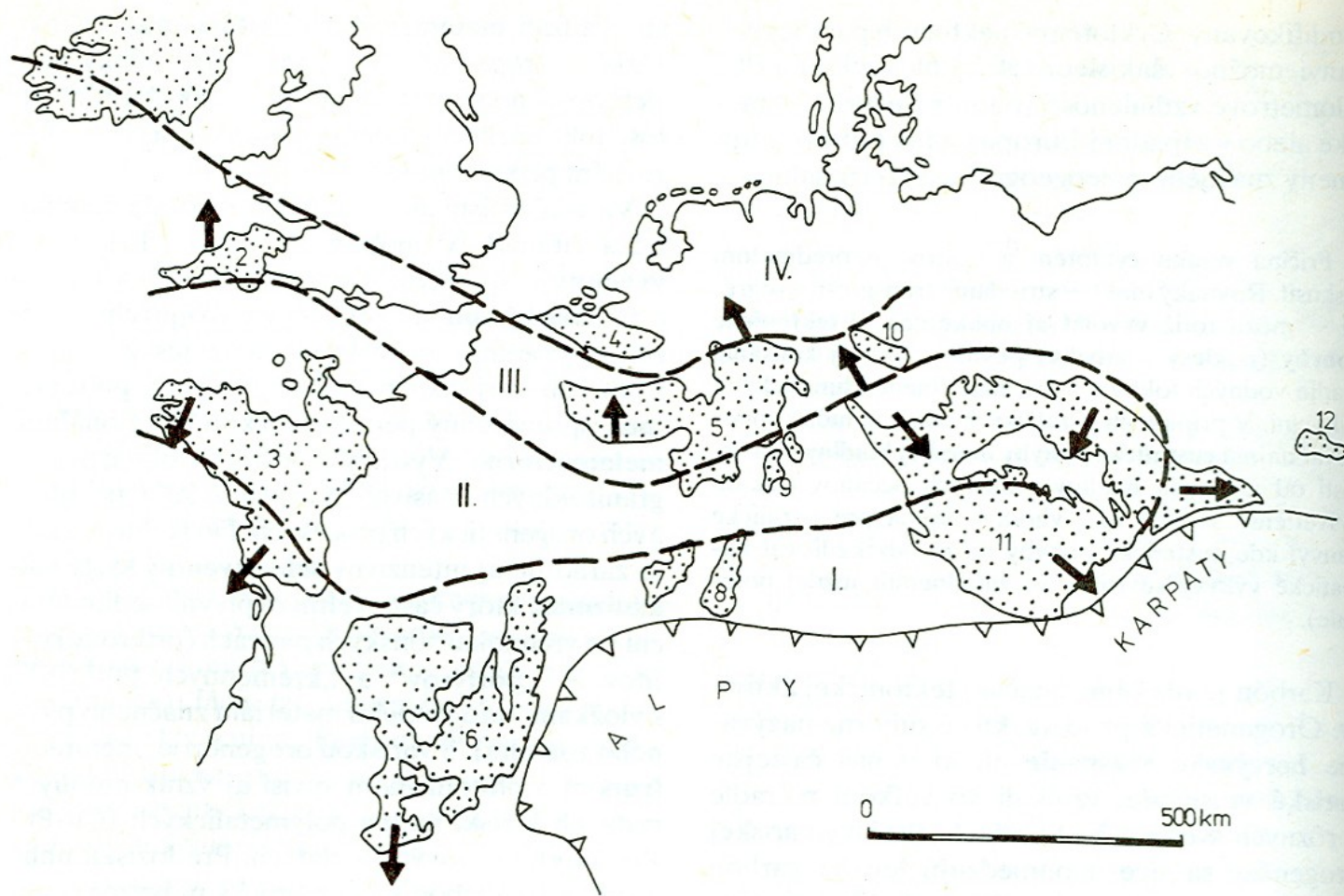
Malopolský terán

Brunovistulikum

Český masiv s.str.







Obr. 278. Zjednodušená schéma variscíd strednej a západnej Európy (upravené podľa F. PATOČKU, 1980, s použitím dát M. G. RUTTENA, 1969, C. F. BURRETTA a J. GRIFFITHSA, 1977 a W. KREBSA, 1975).

I moldanubická zóna a jej ekvivalenty, II sasko-durýnska zóna a jej ekvivalenty, III rhenohercýnska zóna a jej ekvivalenty, IV subvariská zóna a predpolie variského orogénu. Na povrch vystupujúce časti variscíd (vybodkované): 1 južné Írsko, 2 Cornwall, 3 armorický masív, 4 brabantský masív, 5 Ardeny a Porýnska bridličnatá vrchovina, 6 Massif Central, 7 Vogézy, 8 Schwarzwald, 9 Odenwald a Spessart, 10 Harz, 11 český masív, 12 Svätokrižske hory. Šípky znázorňujú prevládajúcu vergenciu vrás

# Severní křídlo variscid - charakteristika

**Subvariská zóna** – dozvuky variského vrásnění – slabě zvrásněné nebo nezvrásněné sedimenty. Mělkovodní platformní přeflyšová sedimentace.  
Molasové paralické uhelné pánve

**Renohercynská zóna** – extenzní zóna variské kolize (devon-spod. karbon), Okraj Avalonie, brunovistulika, příkrovová stavba, bimodální vulkanismus, slabá nebo žádná metamorfóza, typický flyš (kulm)

**Sasko-durynská zóna** – značná metamorfóza a grantizace slábnoucí k severu, postorogenní plutonismus. Počátek vrásnění v spodním devonu, hlavní fáze spodní karbon. Divolý flyš – sv. devon-sp, karbon. Terán saxothuringika oddělen od moldanubika ebersdorfskou linií (litoměřický zlom), marianskolázeňský ultrabazický komplex

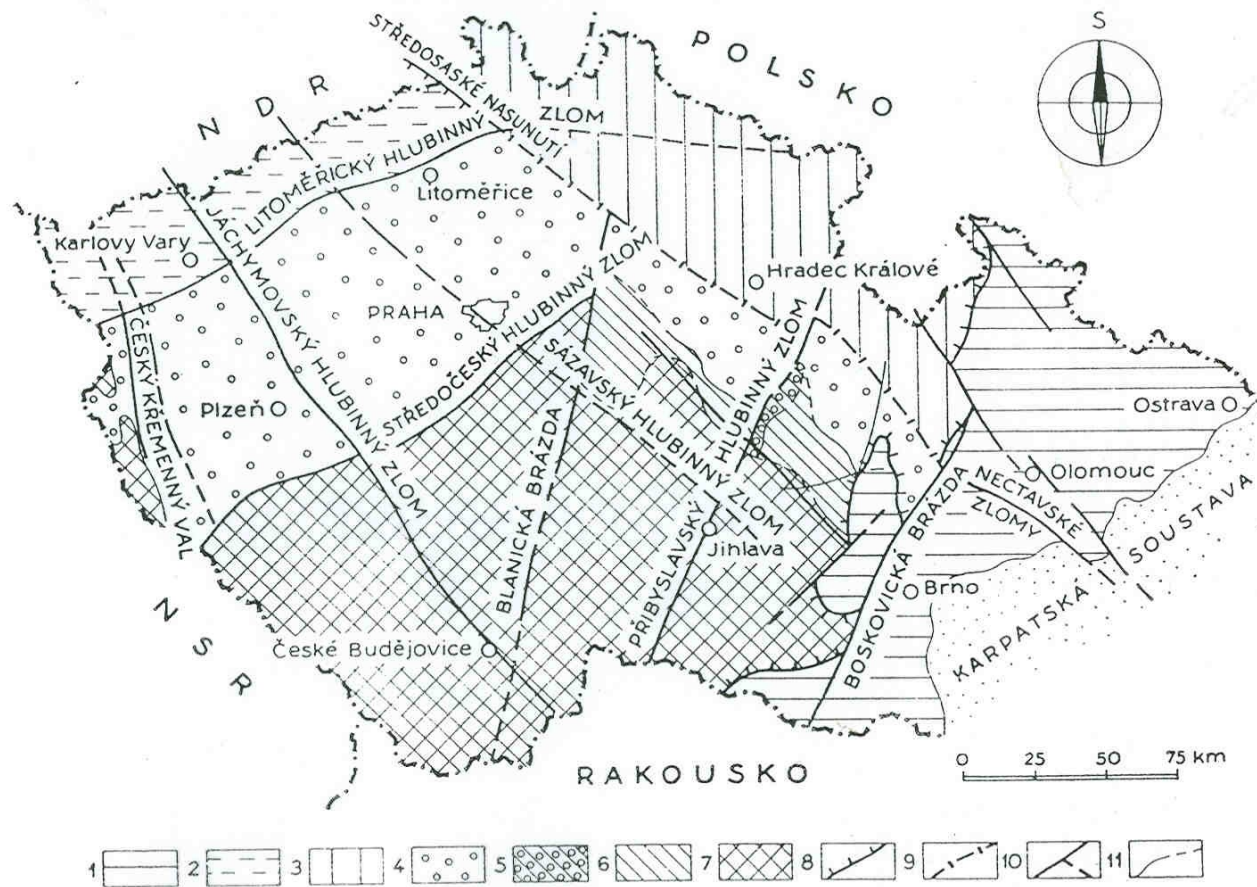
**Moldanubická zóna** – intenzivní metamorfóza, granitizace a plutonismus. Hlavně devonské fáze vrásnění. Moldanubický terán (Perunica). Na západě a severu tekton. Kontakt s saxothuringikem, na jihu s perimediterránním teránem a na východě s brunovistulikem

Moravskoslezská oblast

Laurussie

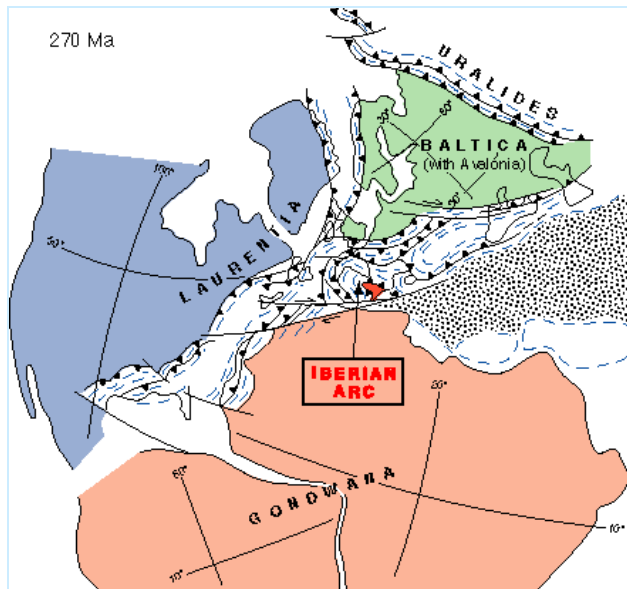
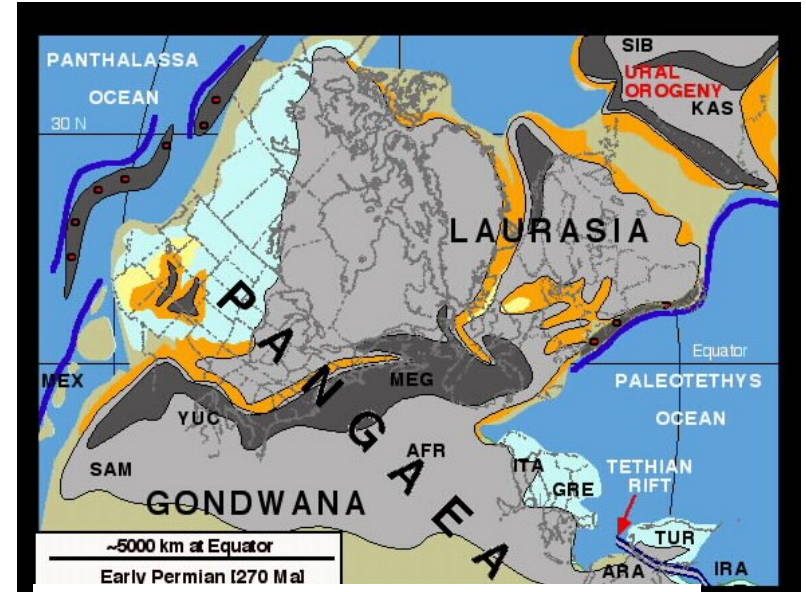
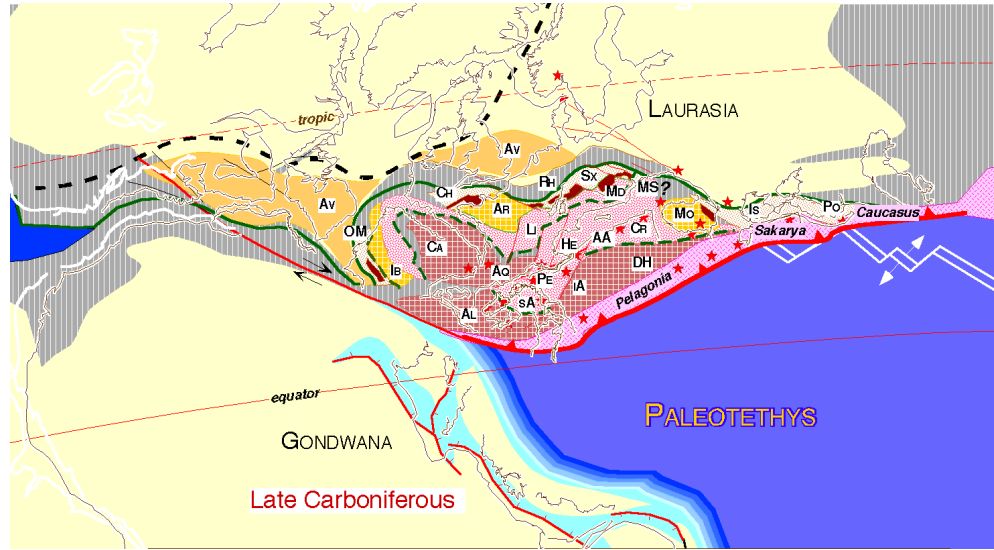
Zbývající část ČM

Gondwana



1 Základní rozdělení Českého masivu na oblasti na území ČSSR a nomenklatura používaná dále v textu (orig.); 1 moravskoslezská oblast, 2 krušnohorská oblast, 3 lugická oblast, 4 středočeská oblast, 5 hlínská zóna středočeské oblasti, 6 kutnohorsko-svratecká oblast, 7 moldanubická oblast, 8 moravskoslezské zlomové pásmo, 9 jižní okraj lugické oblasti, 10 základní zlomy důležité pro vymezení oblastí, 11 hranice oblastí

# Geologický vývoj variských perigondwanských teránů ve svrchním karbonu a permu



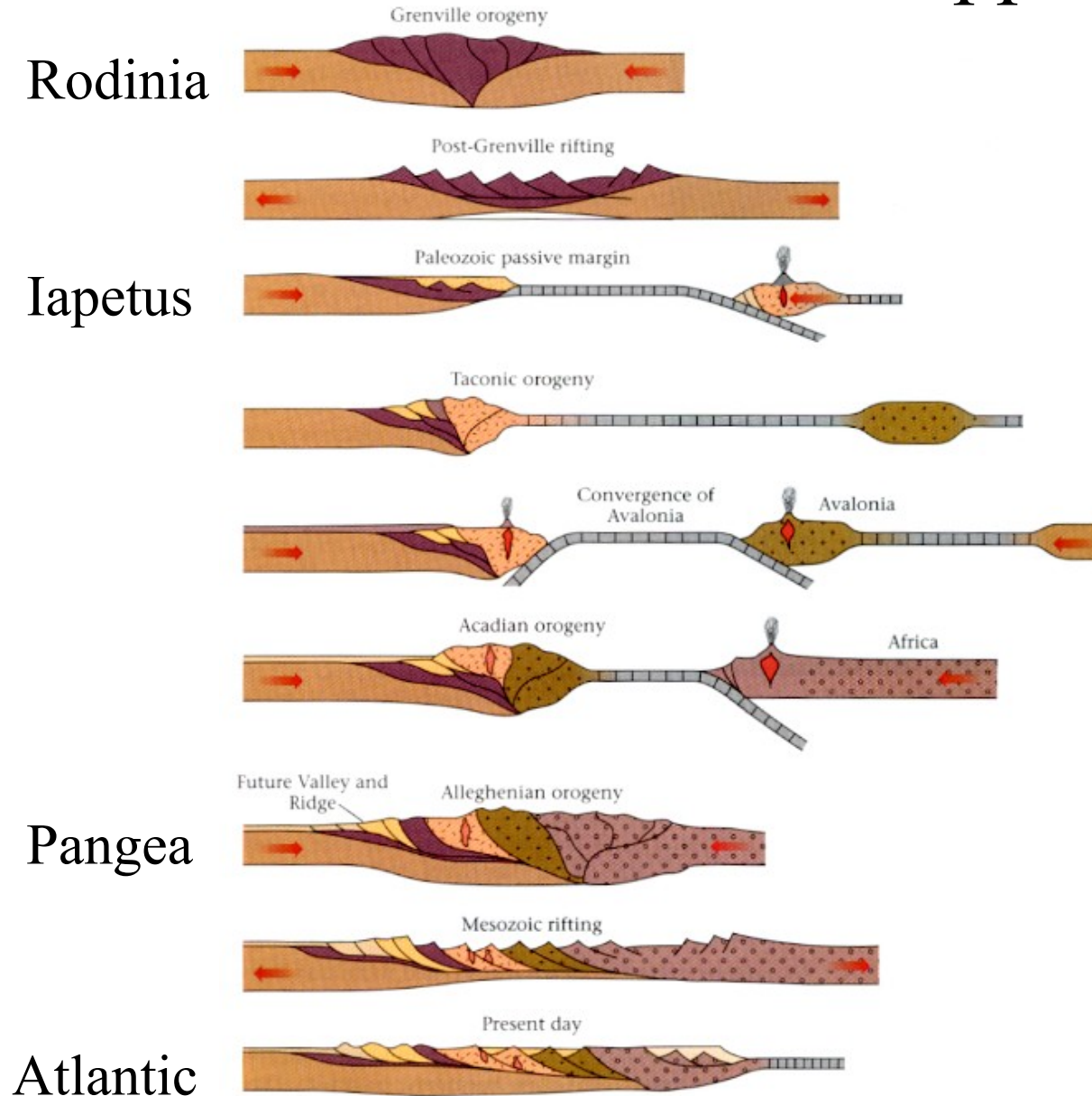
420 Ma

# Appalachian orogeny

- Final suture of Laurasia and Gondwanaland
  - Himalayan style continent-continent collision
  - folding and thrusting from Nova Scotia to Florida
  - persisted into the Permian
  - Abundant Permian non-marine red beds attest to major period of uplift and erosion
  - Included belts
    - Marathon, Ouachita, Blue Ridge, PA Ridge and Valley, New England/Maritime
    - Overprinted Ca



# Tectonic Evolution of the Appalachians



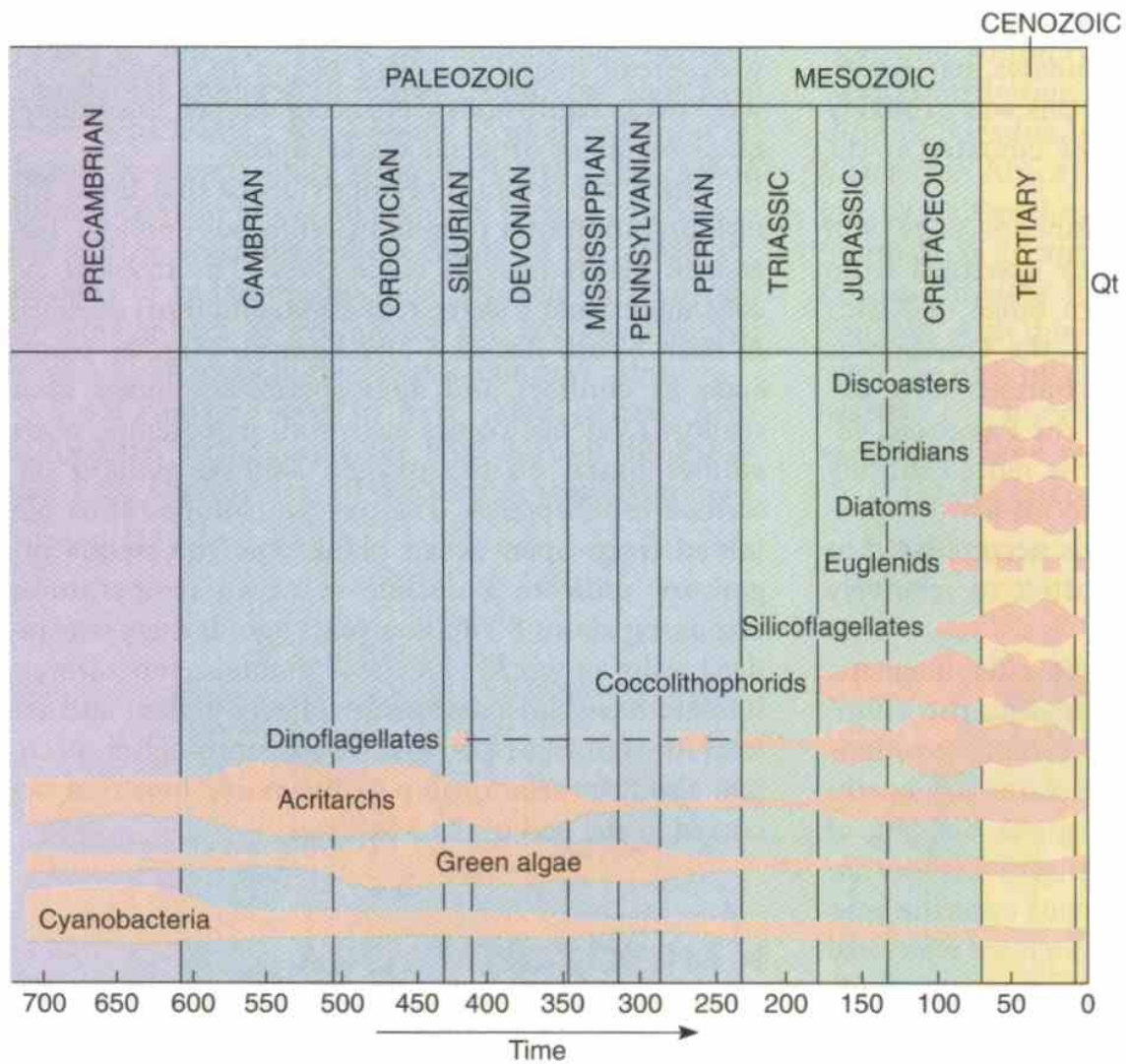
**FIGURE 11.36** These idealized stages show the tectonic evolution of the Appalachian Mountains. Note that while mountains do form during rifting events, geologists traditionally assign names only to the collisional or convergent events.

## Late Paleozoic flora

**Green Algae – rock forming importance of Dasycladaceae and Codiaceae  
Koninckopora - Visean**

**Red algae - Corallinacea**

**Plankton – Acritarcha, retreat**



**FIGURE 12-2** Geologic distribution and abundances of phytoplankton. (From Tappan, H., and Leoblich, A. R., Jr. 1970. *Geol. Soc. Am. Special Paper 127:257.*)

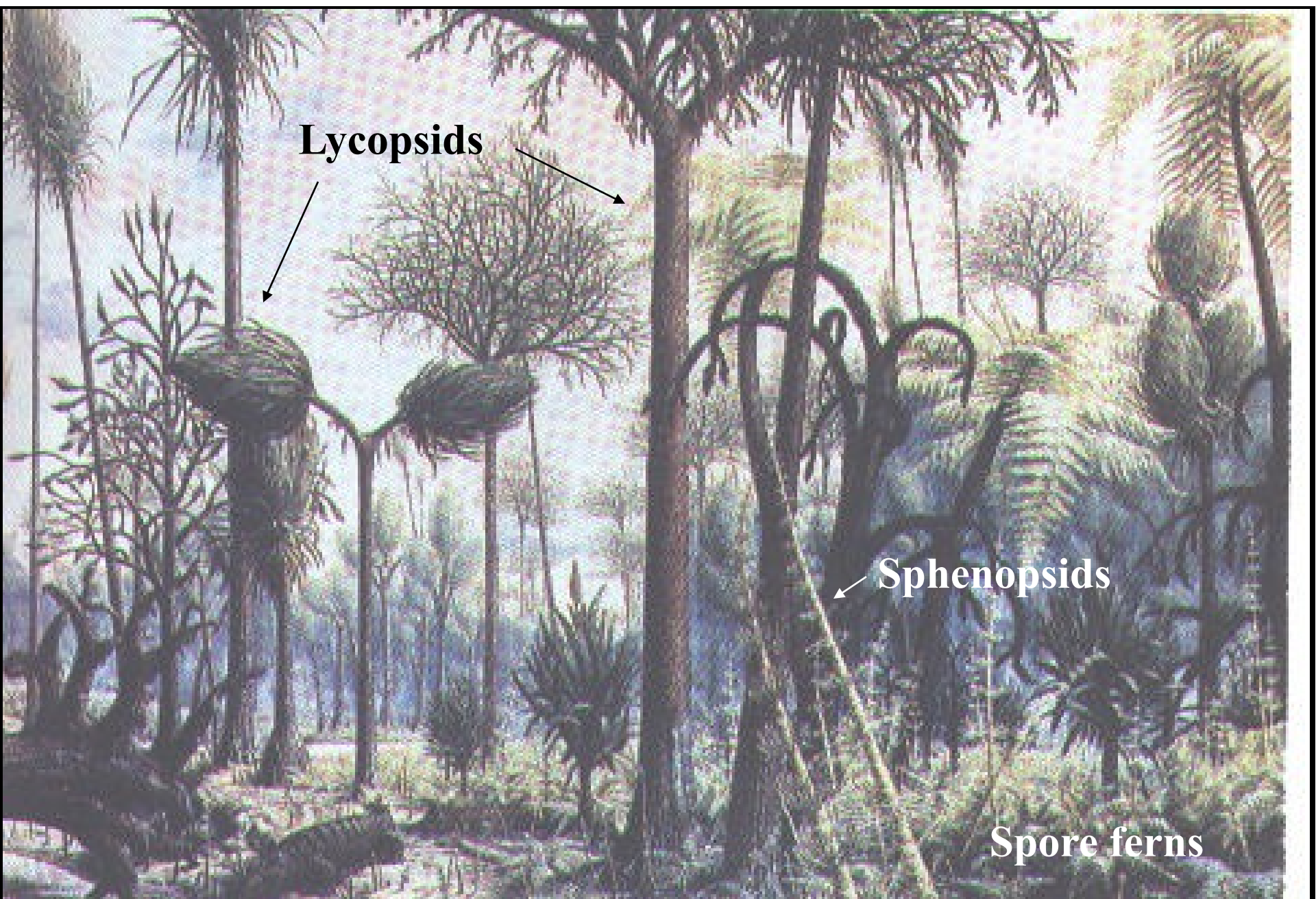
Higher plants – Paleophyticum, dominance of lycophyts, sphenopsids and ferns

Carboniferous jungle – different floors. Highest one lycophyts Sigillaria and Lepidodendron, less cordaites  
Lower floor – ferns, seed ferns and sphenophyts (Calamites)  
More xerophilous – forests formed by seed plants – seed ferns, cordaites, conifers

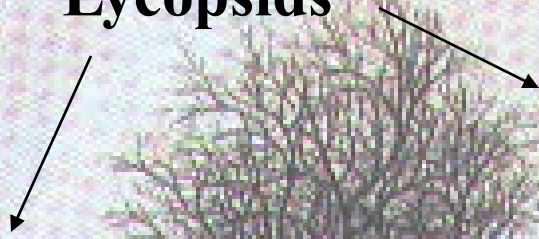
**Early/late Permian -boundary between Paleophytikum and Mesophytikum**

**Upper Permian – dominance of gymnosperms, especially conifers (Voltziales)**

**Different floristic bioprovincies. Glaciated Gondwana – glossopteris flora, similar cold adapted flora in Siberian province**



**Lycopsids**



**Sphenopsids**



**Spore ferns**

# Cordaite

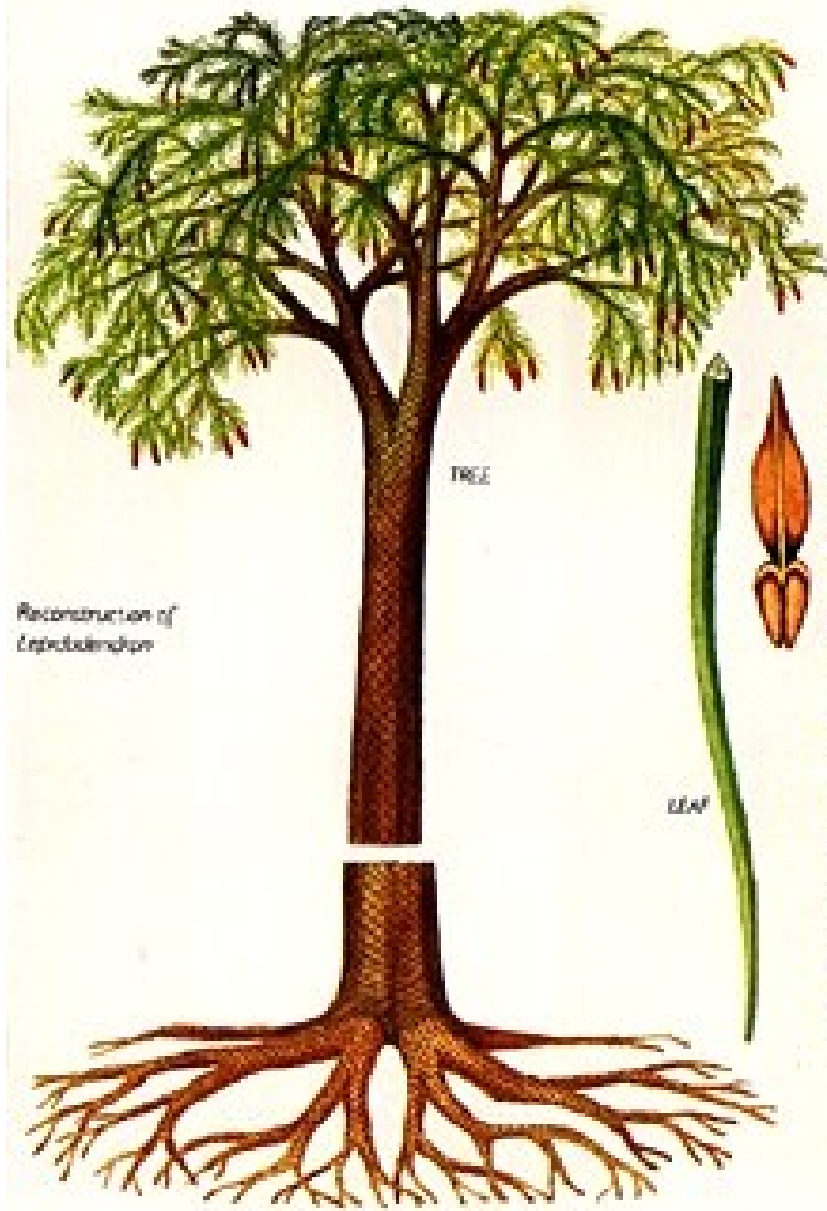


# Lycophyta

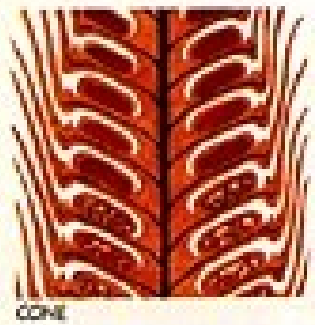




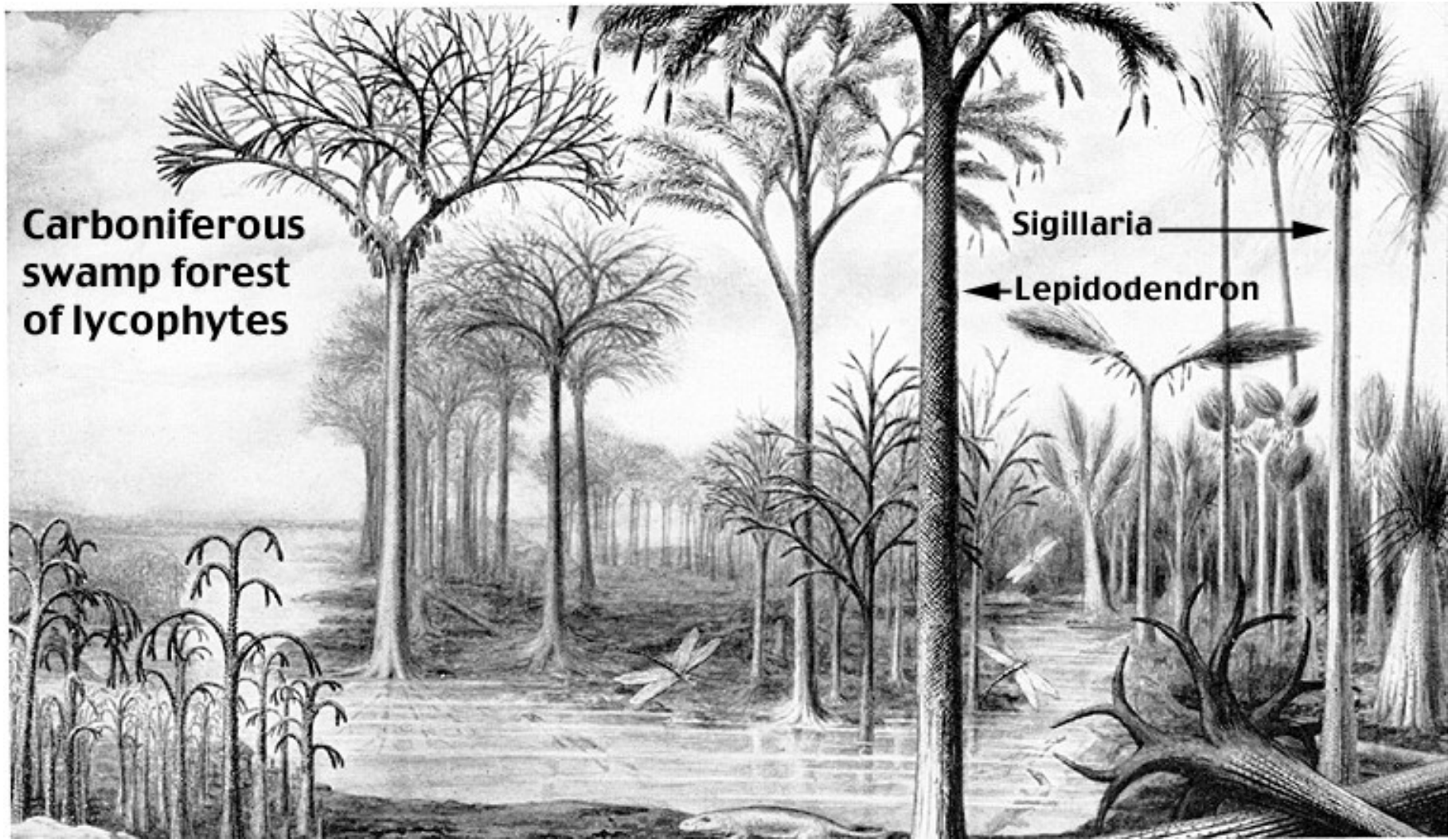
Sigillaria



Reconstruction of *Eophytolindula*



**Carboniferous  
swamp forest  
of lycophytes**



**Sigillaria** →

← **Lepidodendron**

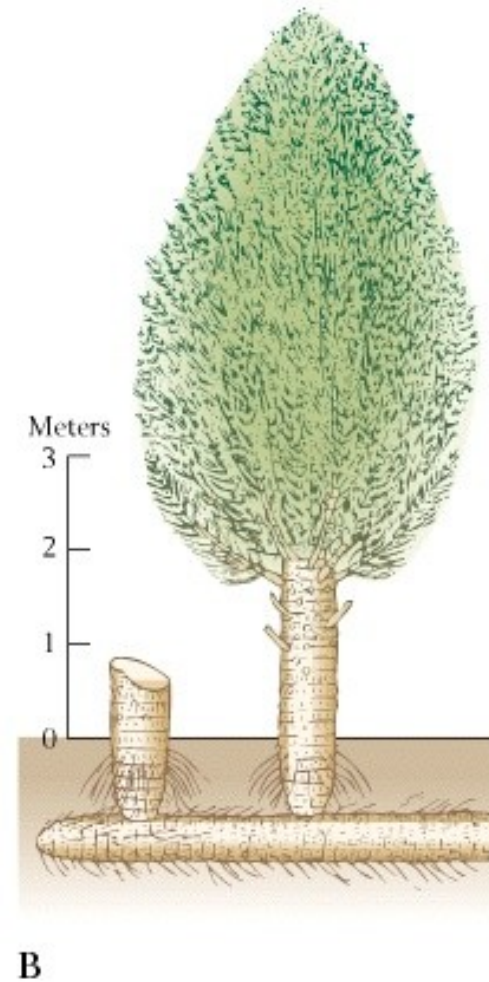
# Sphenophyta

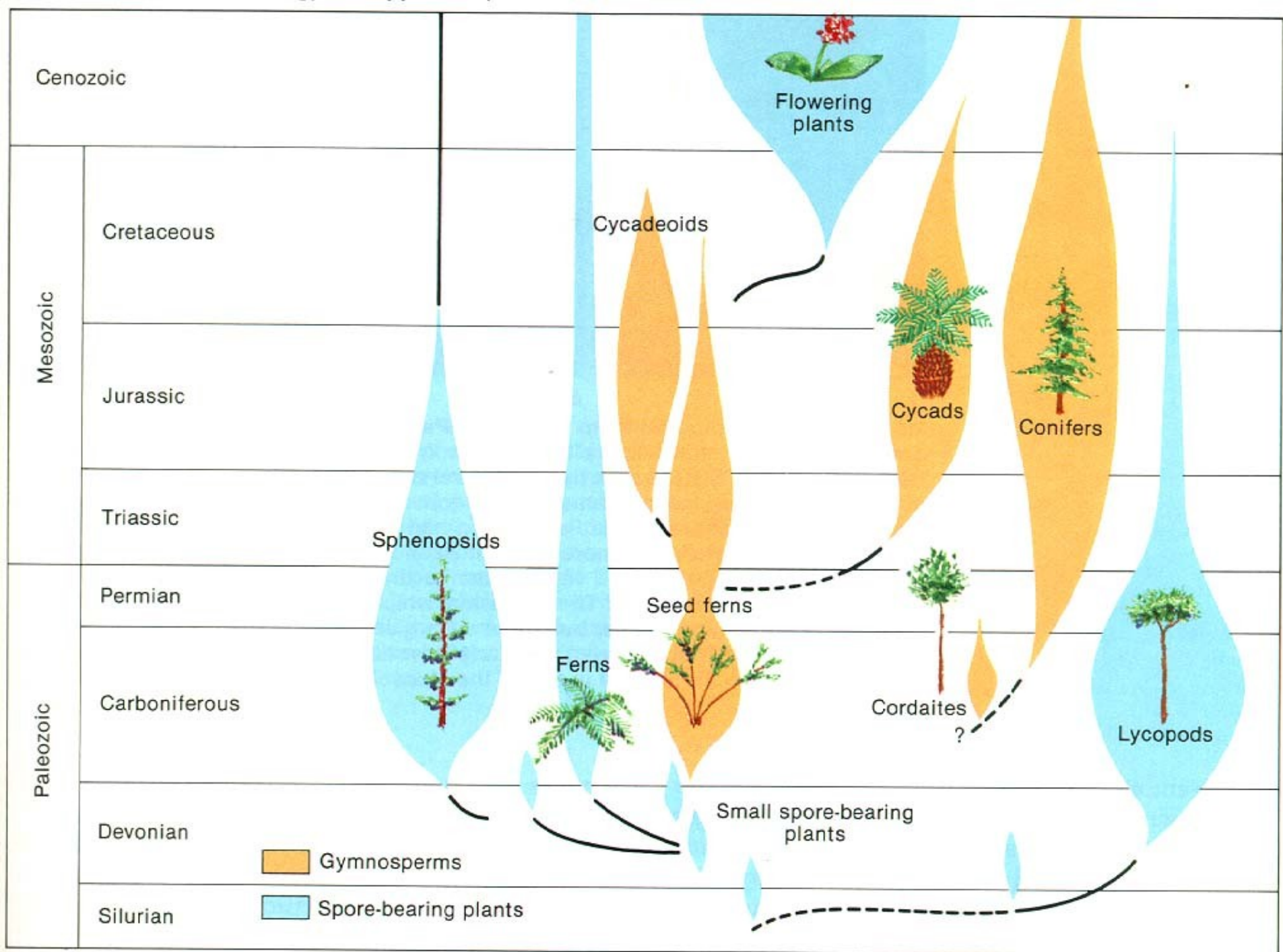


Calamites

- higher ground: ‘sphenopsids’

*Calamities*







"Tree Fern"  
- pteropsids  
3-5m



Pennsylvanian  
seeds of seed  
fern *Neuropteris*



Primitive  
insect  
*Stenodictya*



Seed ferns (Pteridosperms) are primitive seed bearing gymnosperms.

Carboniferous (carbon-bearing period) coal swamp plants included tree ferns, seed ferns and true ferns.





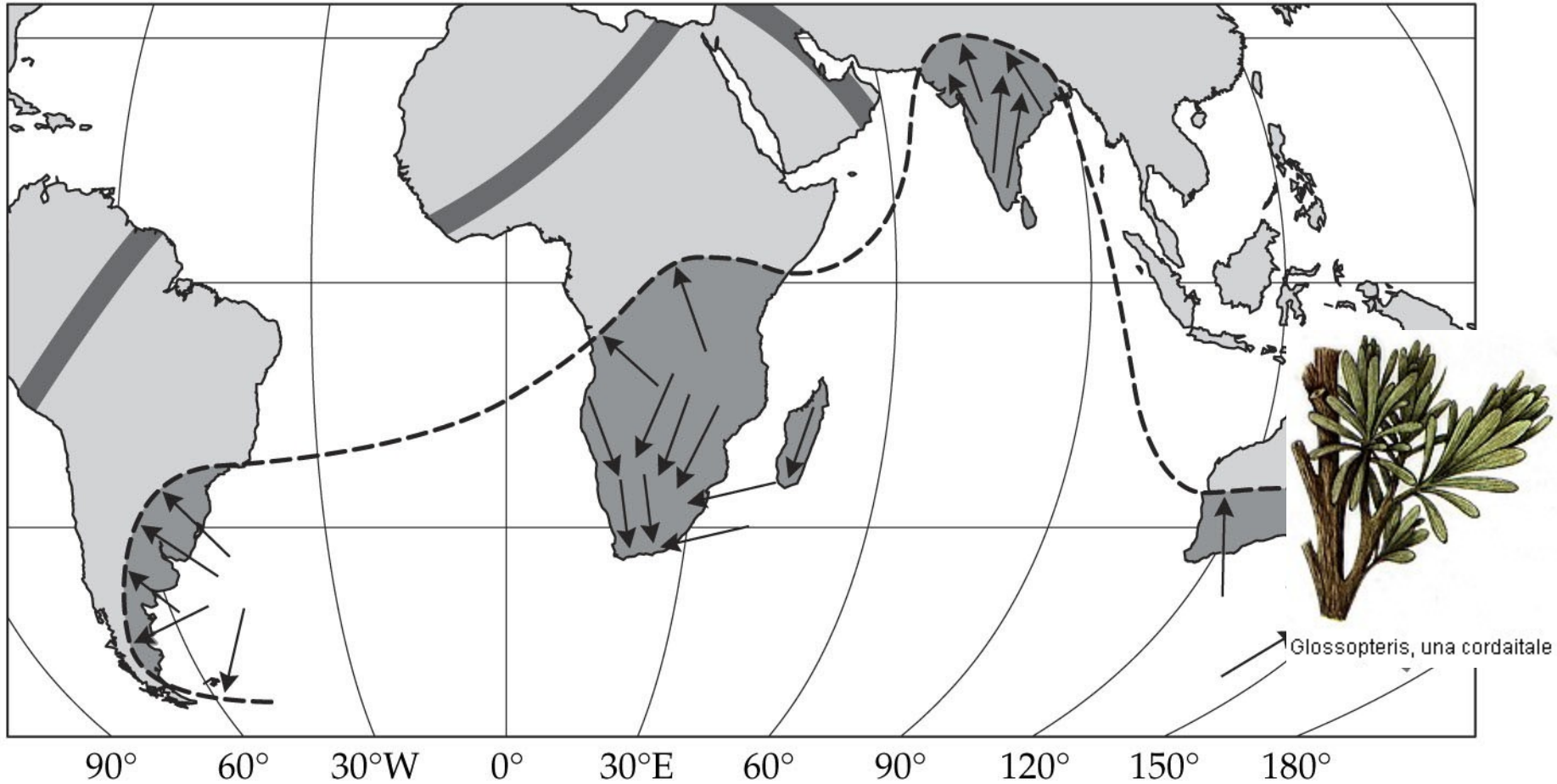
*Glossopteris* is a Permian tree-fern important in the plate tectonic story.

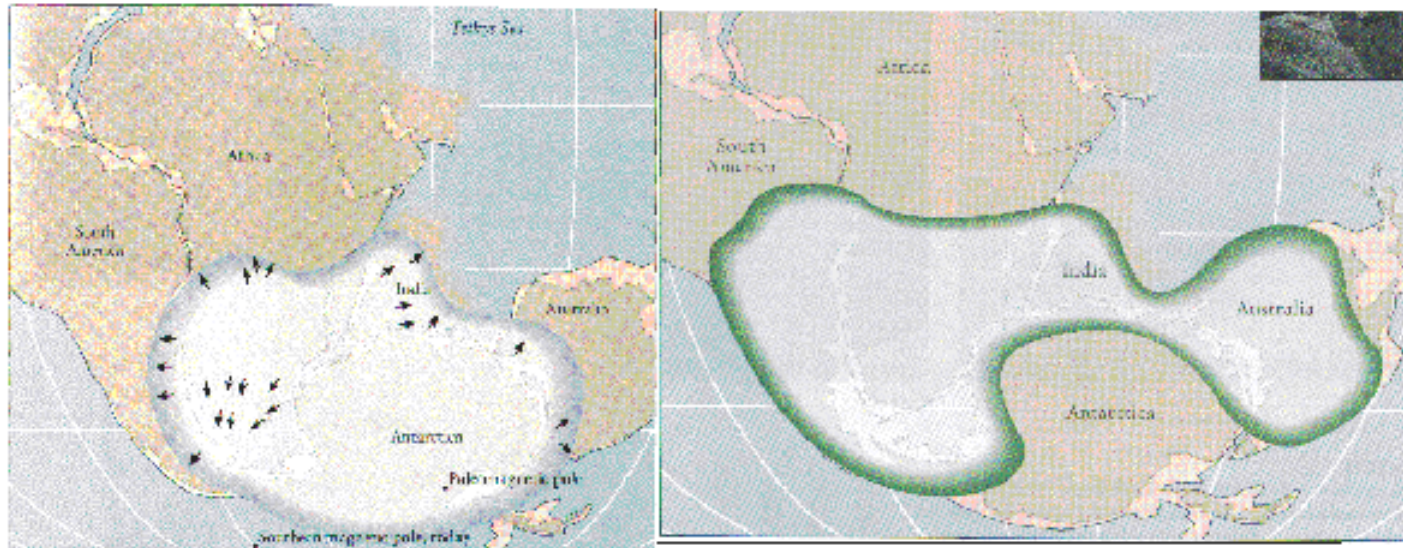


Tree ferns behind giant rushes in Devonian scene

# Glossopteris Flora – Permian Ferns

(I)





Left. Reconstruction of glacial coverage of *Pangea*. On all of these continents, South America, Africa, India, Australia and Antarctica, there is evidence for glacial activity. The arrows give the direction of movement. Right. Geographic extent of the Carboniferous age fossil *Glossopteris*, a fern. If the continents are all put together, its geographic extent is well explained.

# Gymnosperms Free to Migrate

---

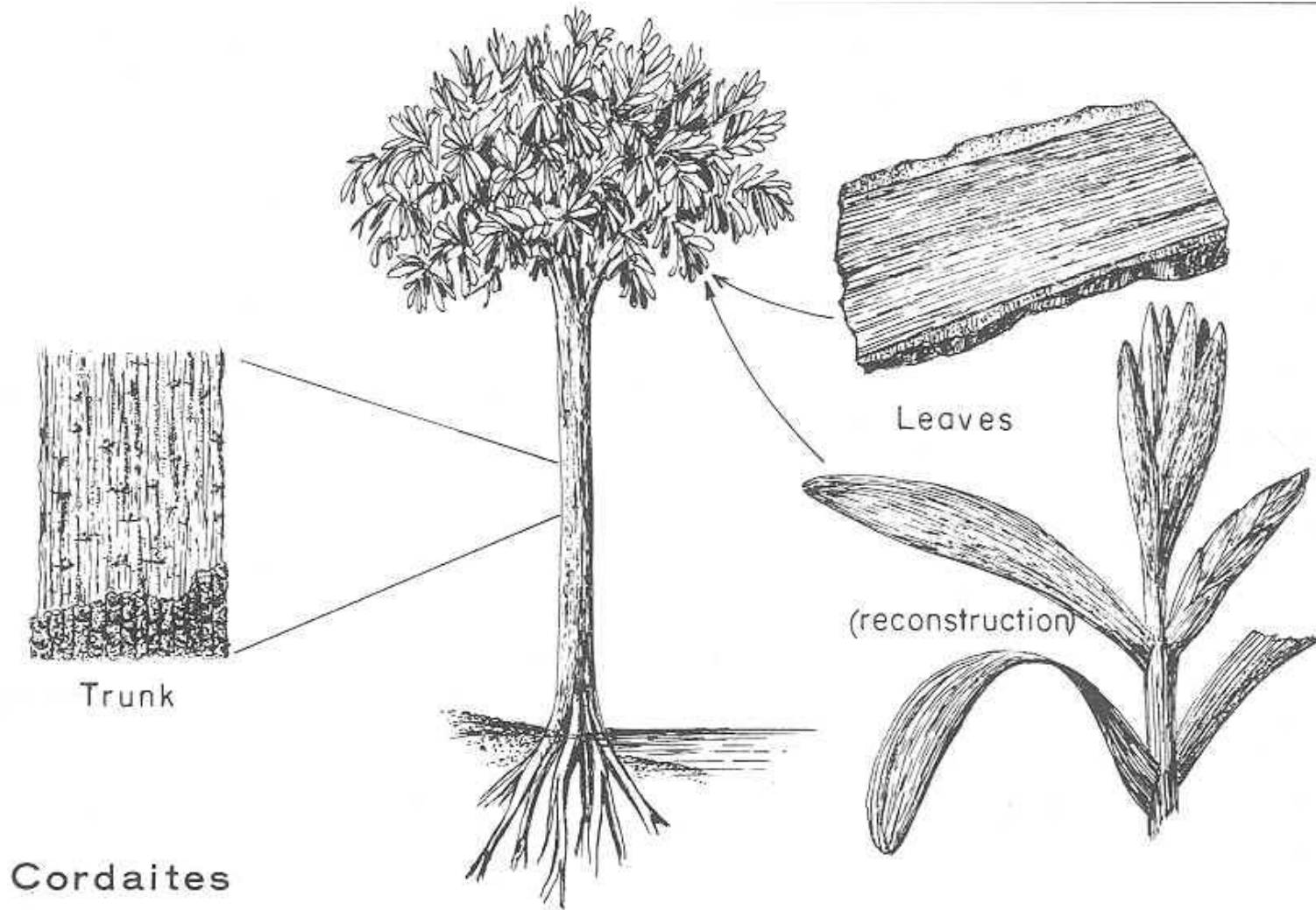
- In this way the need for a moist environment
  - for the gametophyte generation is solved
- The significance of this development
- is that seed plants,
  - like reptiles,
    - were no longer restricted
    - to wet areas
    - but were free to migrate
    - into previously unoccupied dry environments

# Plants on Higher and Drier Ground

---

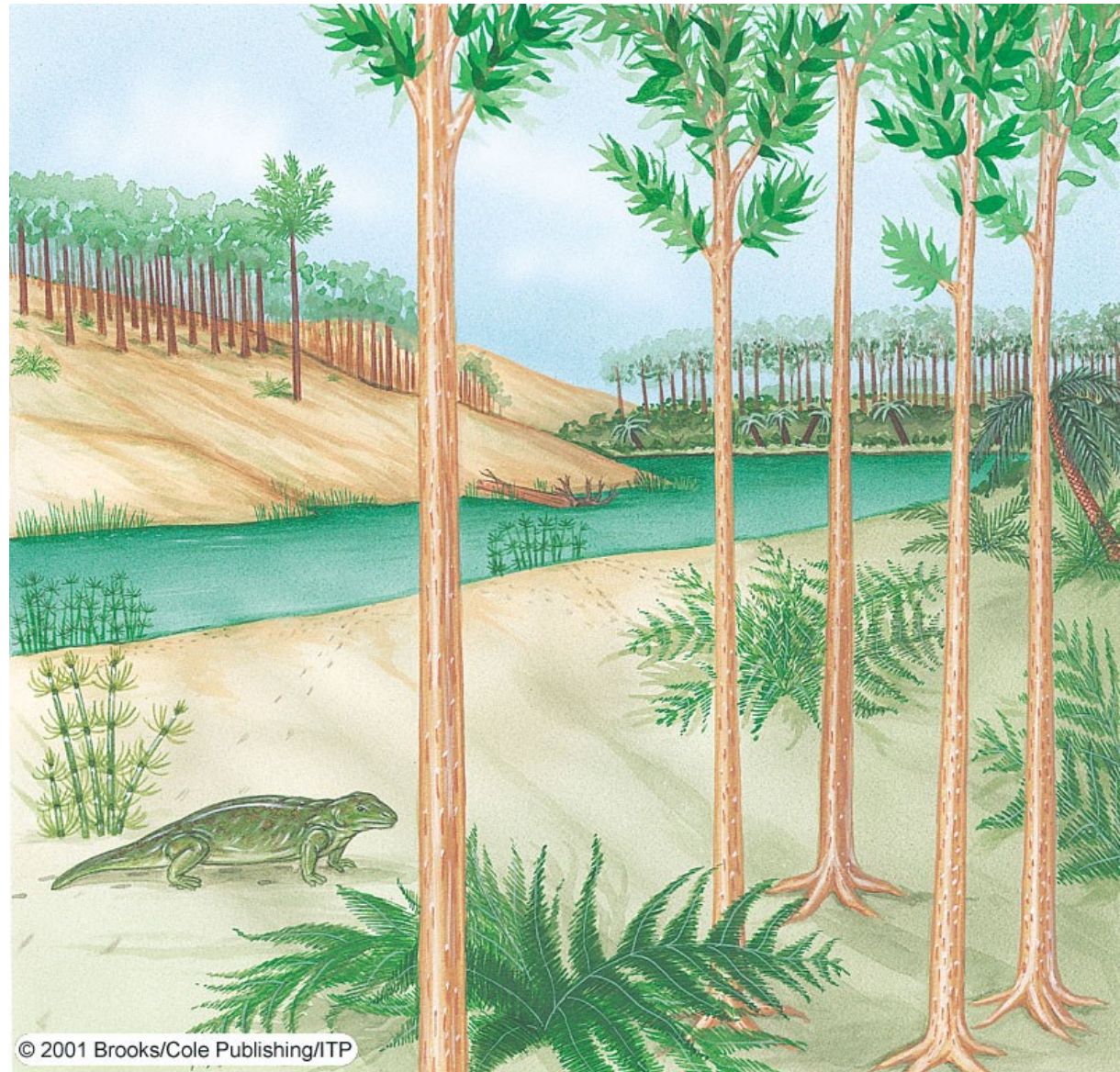
- Not all plants were restricted to the coal-forming swamps
- Among those plants occupying higher and drier ground were some of the *cordaites*,
  - a group of tall gymnosperm trees
  - that grew up to 50 m
  - and probably formed vast forests

1. **Cordaites** were tall trees (up to 100 ft). **Seed plants**. A type of **gymnosperm**.



# A Cordaite Forest

- A cordaite forest from the Late Carboniferous
- Cordaites were a group of gymnosperm trees that grew up to 50 m tall

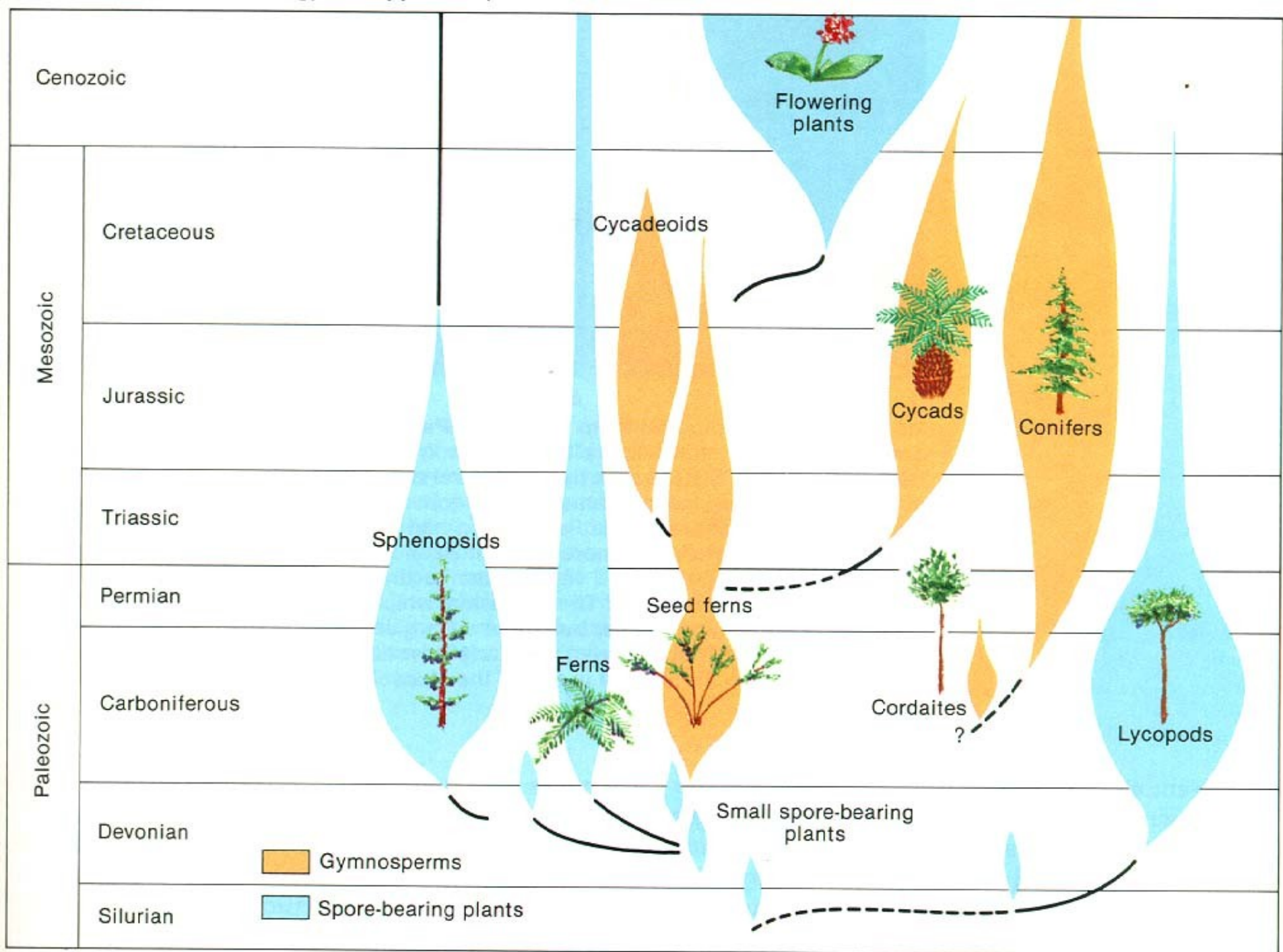


# Climatic and Geologic Changes

---

- The floras that were abundant
  - during the Pennsylvanian
  - persisted into the Permian,
  - but due to climatic and
  - geologic changes resulting from tectonic events,
  - they declined in abundance and importance
- By the end of the Permian,
  - the cordaites became extinct,
  - while the lycopsids and sphenopsids
  - were reduced to mostly small, creeping forms





# Conifers

The earliest conifers in the fossil record date to the late Carboniferous



Voltziales – Walchia (Lebachia) – Boskovice furrow, Walchia shales



Walchia shale

Middle Permian – boundary between Paleophyticum  
and Mesophyticum

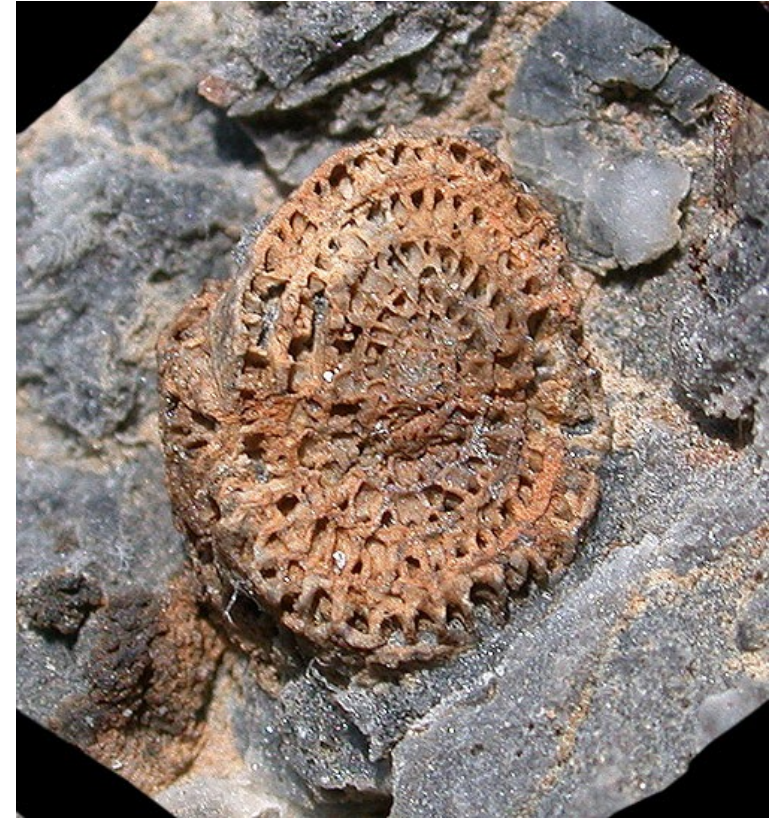
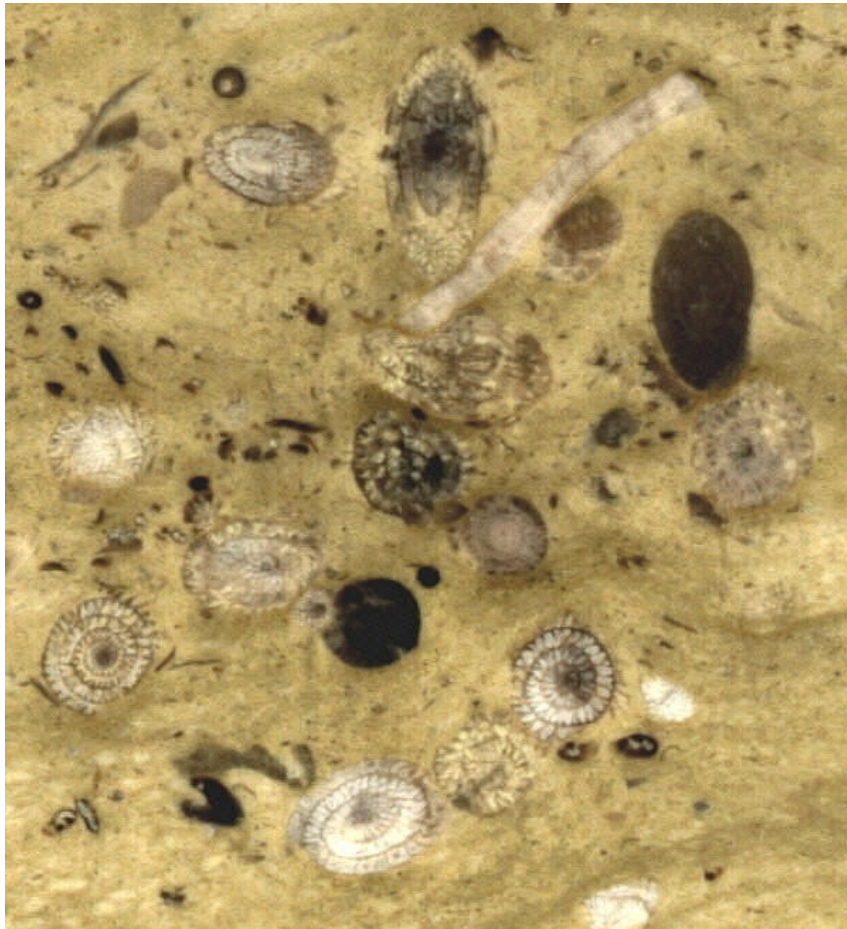
**FAUNA**

**Foraminifers** – endothyrid type dominate in lower Carboniferous, since upper Carboniferous dominated by fusulinids.

They were quite large – several cm. Rock-forming – fusulinid limestones.

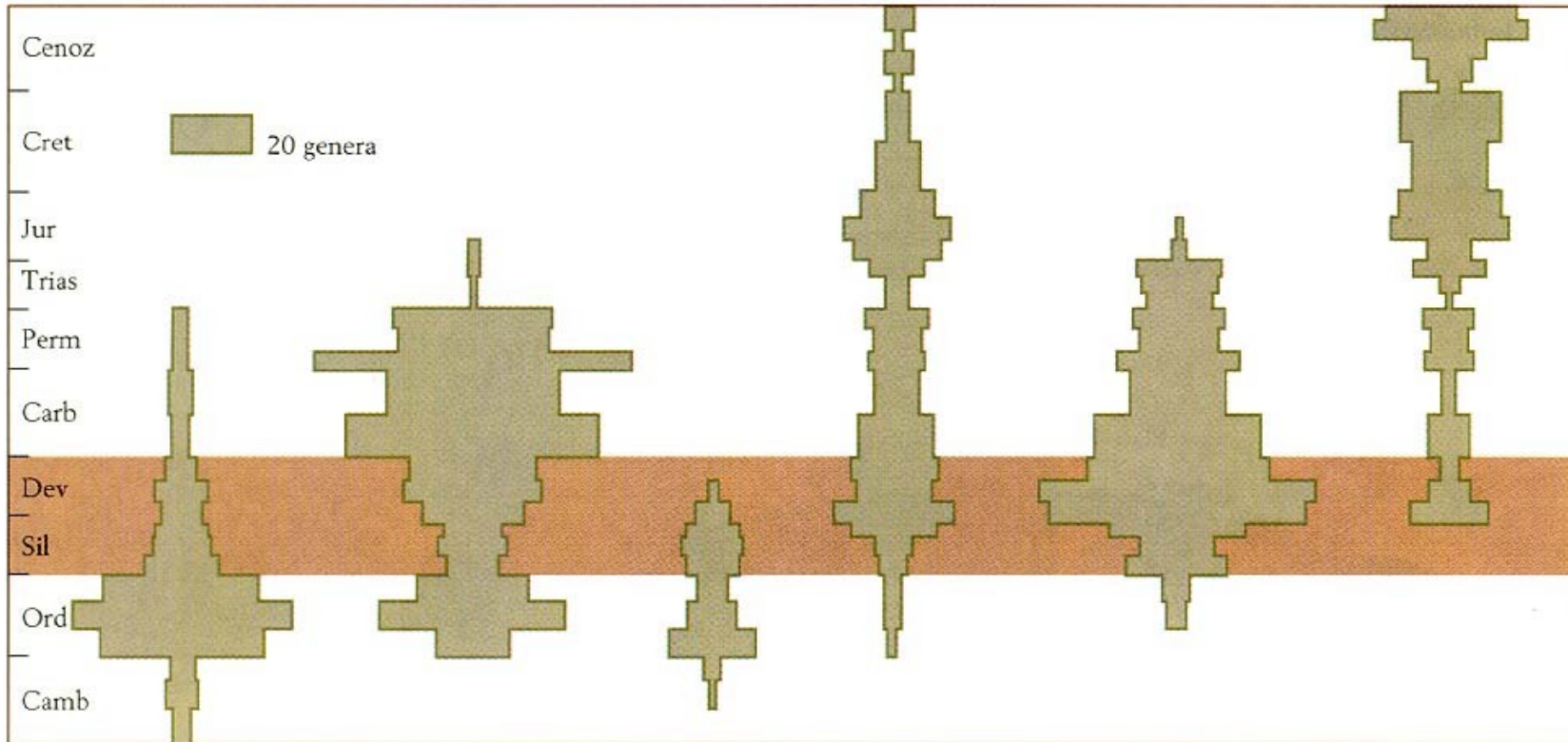
## Fusulinid

foraminifera: *Parafusulina* sp.. Scale bar is 1 cm long.

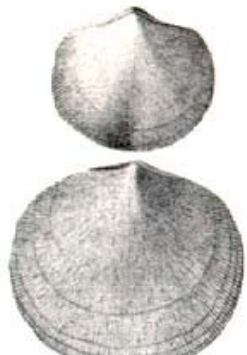


**A natural cross-section of a silicified *Stewartina* sp. fusulinid from the Lower Permian Owens Valley Group, Inyo County, California; an iron mineral called limonite has created the reddish-brown coloration of the specimen, which here reveals in splendid fashion**

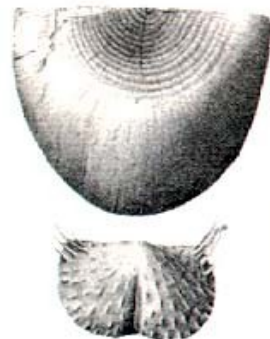
# Brachiopods — decreasing diversity, Strophomenida, Productus, Gigantoproductus in Carboniferous, in Permian also thick-walled forms as Horridonia and Richthofenia



Orthida



Strophomenida



Pentamerida



Rhychonellida



Spiriferida



Terebratulida



**Crinoids** – rock-forming significance, increasing representtaion of **echinoids**.



*Pachylocrinus  
aequalis* (Hall)  
Early  
Mississippian,  
Crawfordsville,  
Montgomery Co.,  
Indiana  
Recrystallized





- *Cyathocrinites multibrachiatus* (Lyon & Casseday)
- Early Mississippian, Crawfordsville, Montgomery Co., Indiana
- Recrystallized

**Tabulate and rugose corals - Kohlenkalk**

Rugose Coral  
Location: Near Sonoita Az.  
Age: Permian

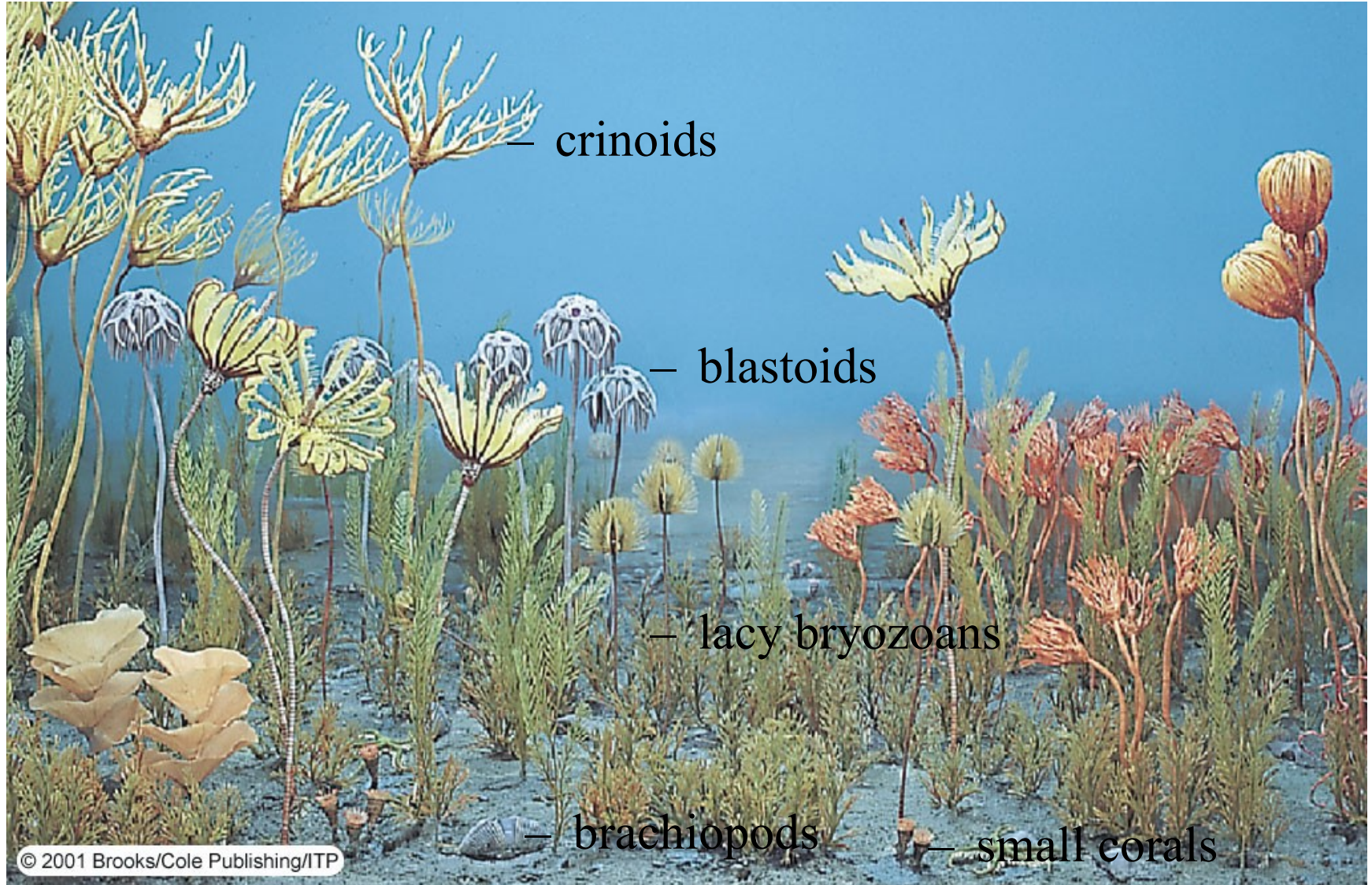


**Bryozoans-rock-forming significance**

Class: Stenolaemata  
Order: Fenestrata  
Bryozoa  
Location: Near Sonoita Az.  
Age: Permian



# Reconstructed Upper Mississippian carbonate bottom at Crawford, Indiana. Invertebrate animals shown include:



– crinoids

– blastoids

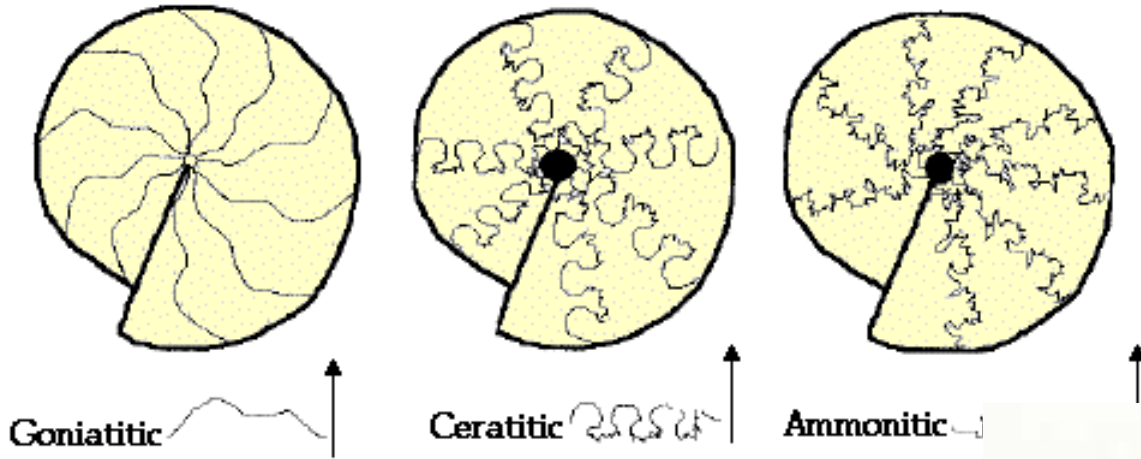
– lacy bryozoans

– brachiopods

– small corals

# Molluscs

Ammonites with goniatic type of suture, in upper Permian ceratitic type of suture.



Goniatites



## Bivalves — in Carboniferous widespread epiplanctonic groups as *Posidonia becheri*



Colonization of fresh-water environment –  
**Carbonicola**

*Carbonicola acuta*

Laura. Westfalien A. Coll. Bart Vernooy.

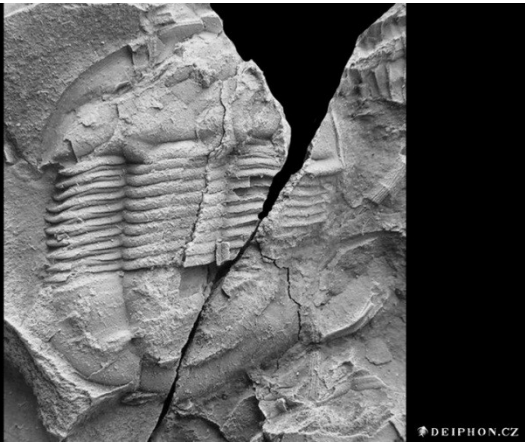
Length 2.5 cms



**Gastropods** — first representtaives of Pulmonata

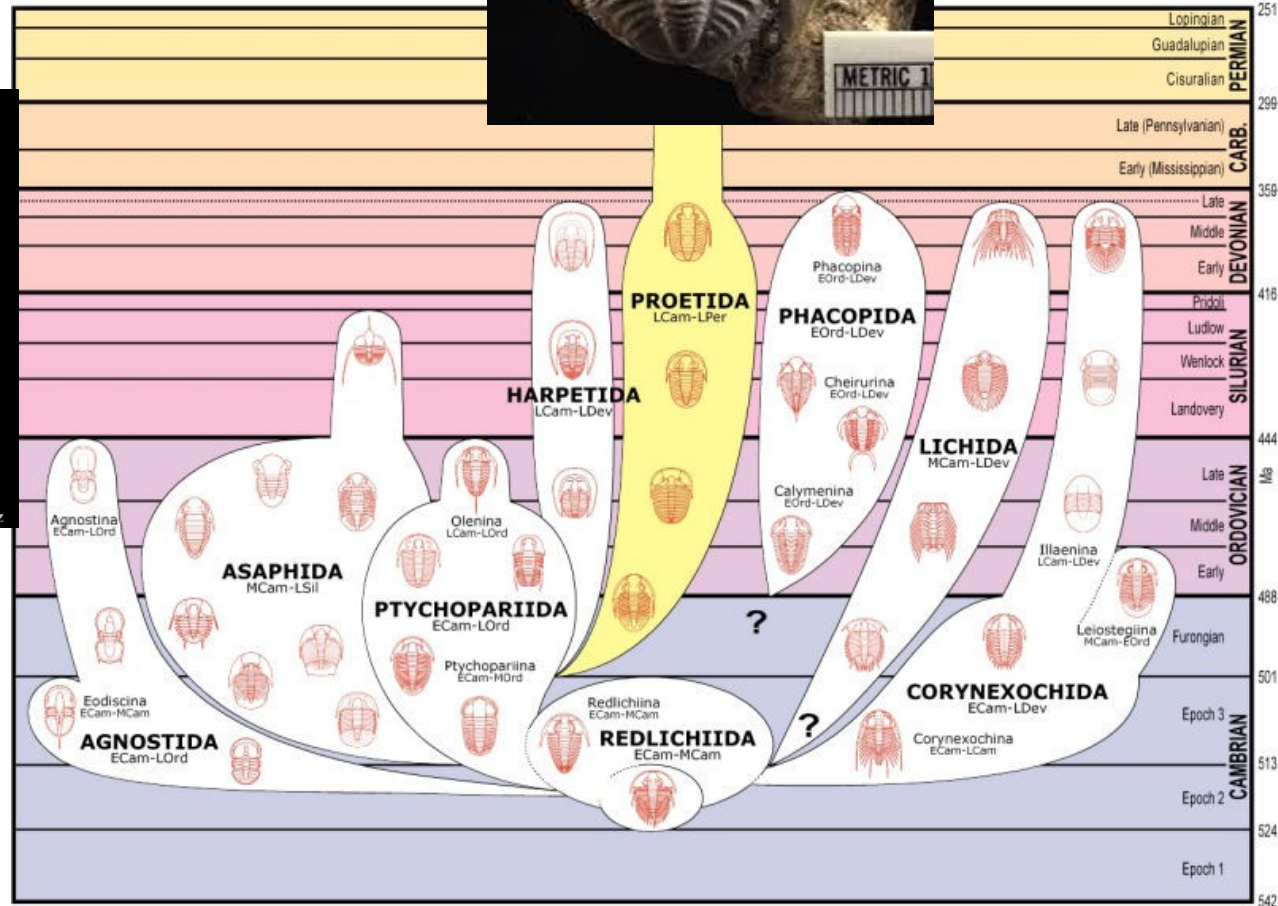
Gastropods — first representatives of Pulmonata

Trilobites — decreasing representation, Proetida



DEIPHON.CZ

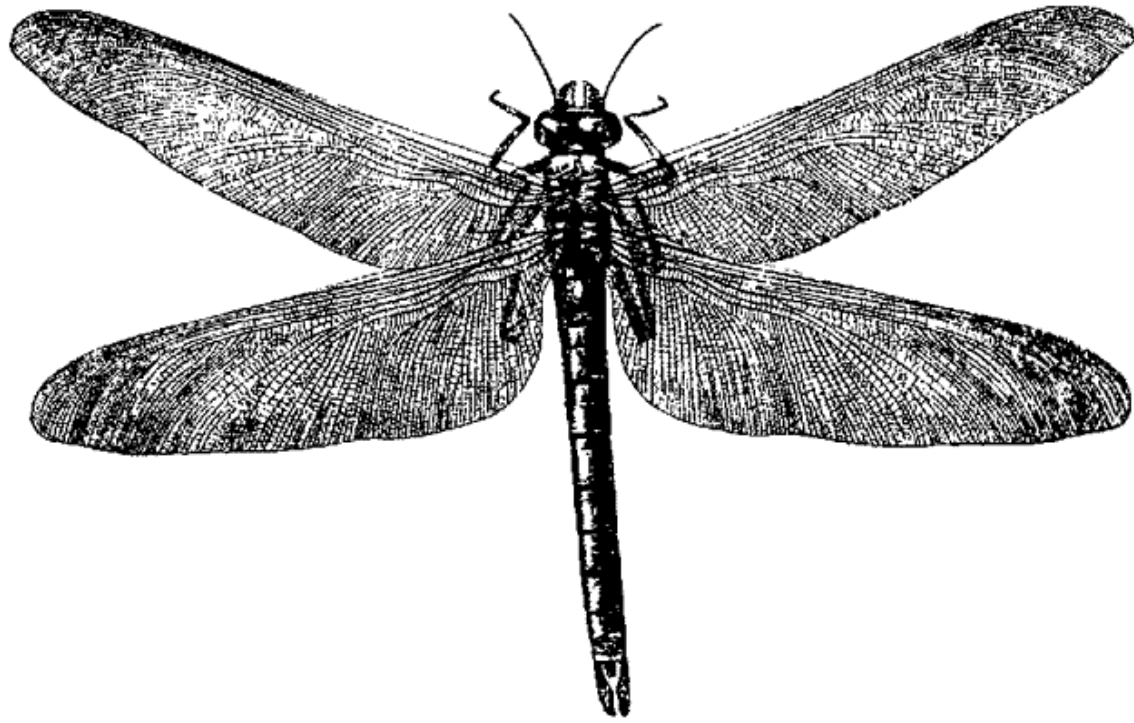
Liobole



Radiation of terrestrial arthropods, especially of insects. Winged Insects, Paleoptera. Also Neoptera, in Permian dominate. Arthropleura.



2,6m



## Paleoptera



*Meganeura monyi* - order Meganisoptera  
a giant dragonfly (order [Protodonata](#))  
wingspan 60 to 75 cm  
[Carboniferous](#) of Europe.



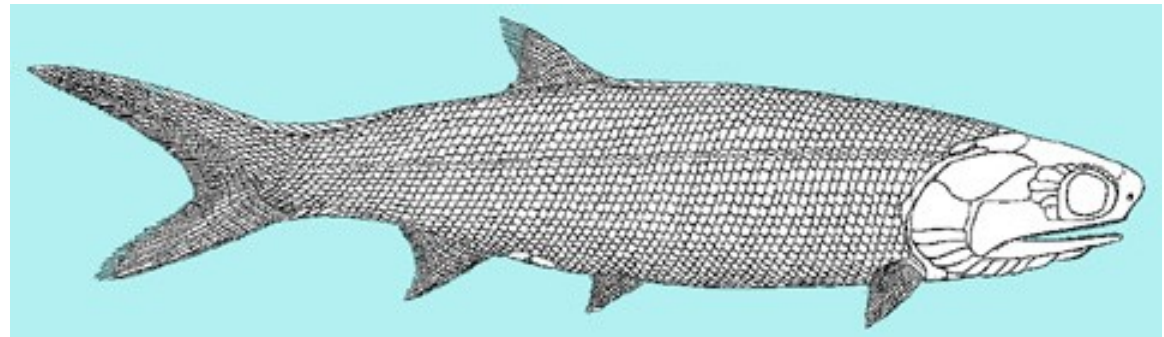
**Conodonts** — stratigraphically important. Siphonodella, Scali

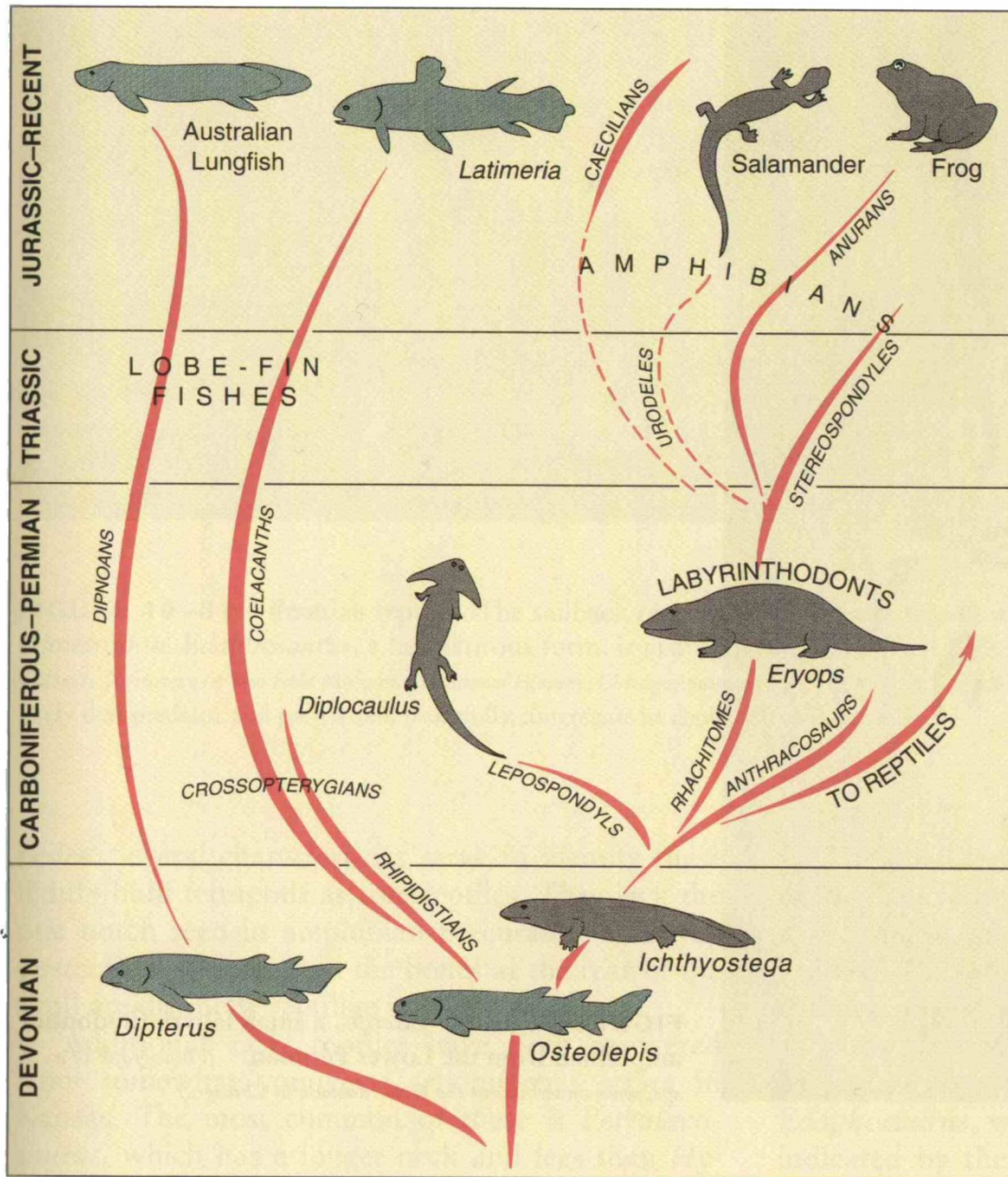


**Sharks** — also rivers and lakes. Xenacanthus, Ctenacanthus.



**Actinopterygii** – Chondrostei, Paleoniscida, Paleoniscus





**FIGURE 10-78** The evolution of amphibians and lobe-fin fishes. (From Colbert, E. H., and Morales, M. 1991. *Evolution of the Vertebrates, 4th ed.* New York: John Wiley. With permission of the author, artist Lois Darling, and the publisher.)

Amphibia — Labyrinthodonts. Carboniferous — age of amphibians.



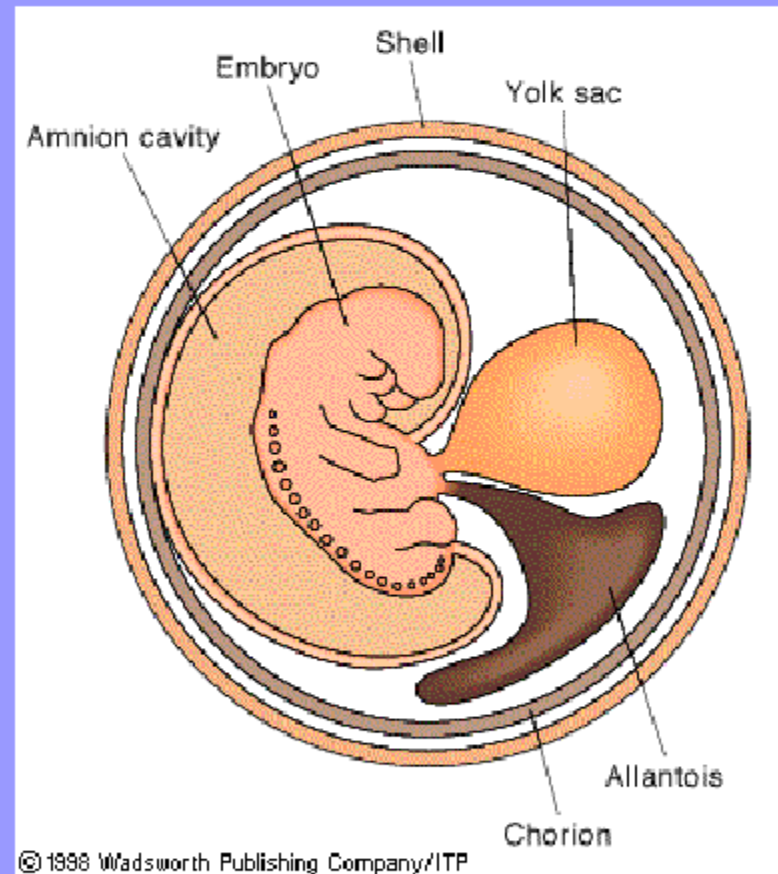
Discosauriscus

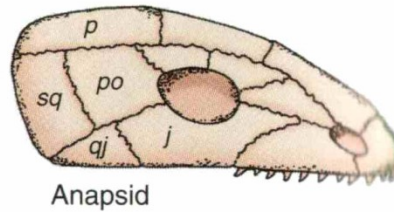
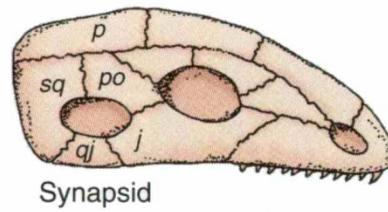
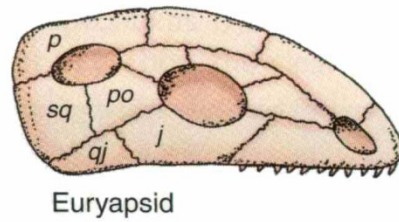
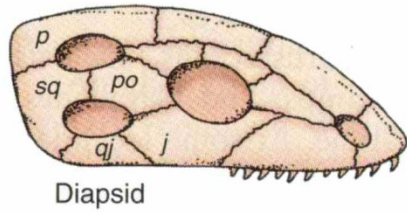
Eryops 2m-lower Permian



# Evolution of the Reptiles - The Land is Conquered

- The evolution of the **amniote egg** freed reptiles from the constraint of returning to water to reproduce
  - amnion - liquid filled sac surrounding the embryo
  - allantois - waste sac
  - a tough shell protects the developing fetus
  - reptiles were able to colonize all parts of the land





**FIGURE 12–23** Reptile skull types. (*p*, parietal; *sq*, squamosal; *po*, postorbital; *j*, jugal; *qj*, quadratojugal.)

🗑️ In which of the above groups are dinosaurs placed?

# Reptiles

Cotylosauria (anapsids) - first reptiles in middle Carboniferous)

Pelycosauria mammal-like reptiles, synapsids, first in Late Carboniferous, extinct in middle Permian

Therapsida – synapsids, predecessors of mammals, middle Triassic

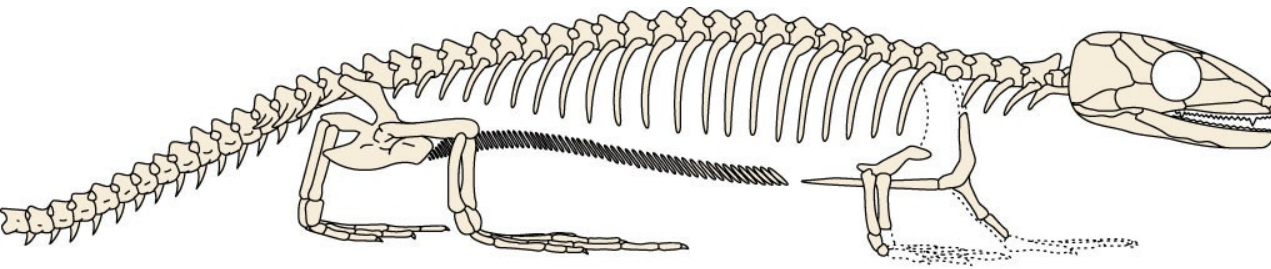
First diapsids – late Carboniferous

Thecodonts, ancestors of dinosaurs – late Permian

Notosaurs (euryapsids),

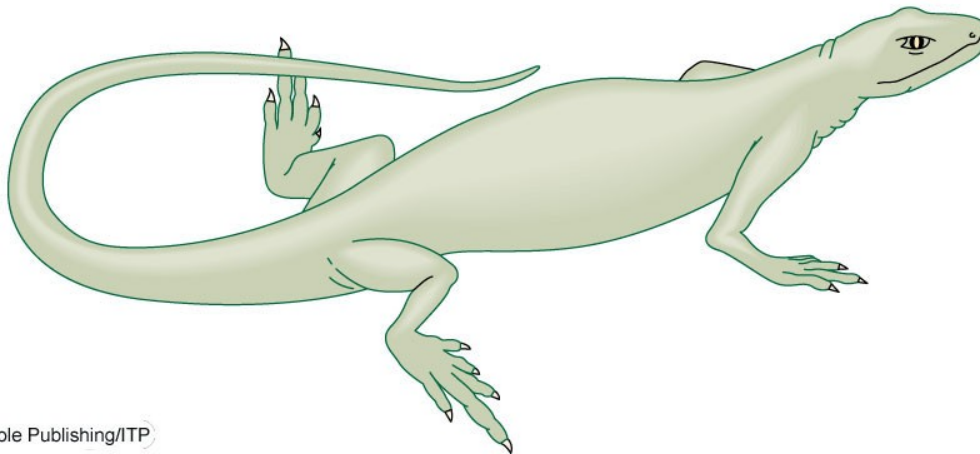
# One of the Oldest Known Reptiles

- Reconstruction and skeleton of *Hylonomus lyelli* from the Pennsylvanian Period



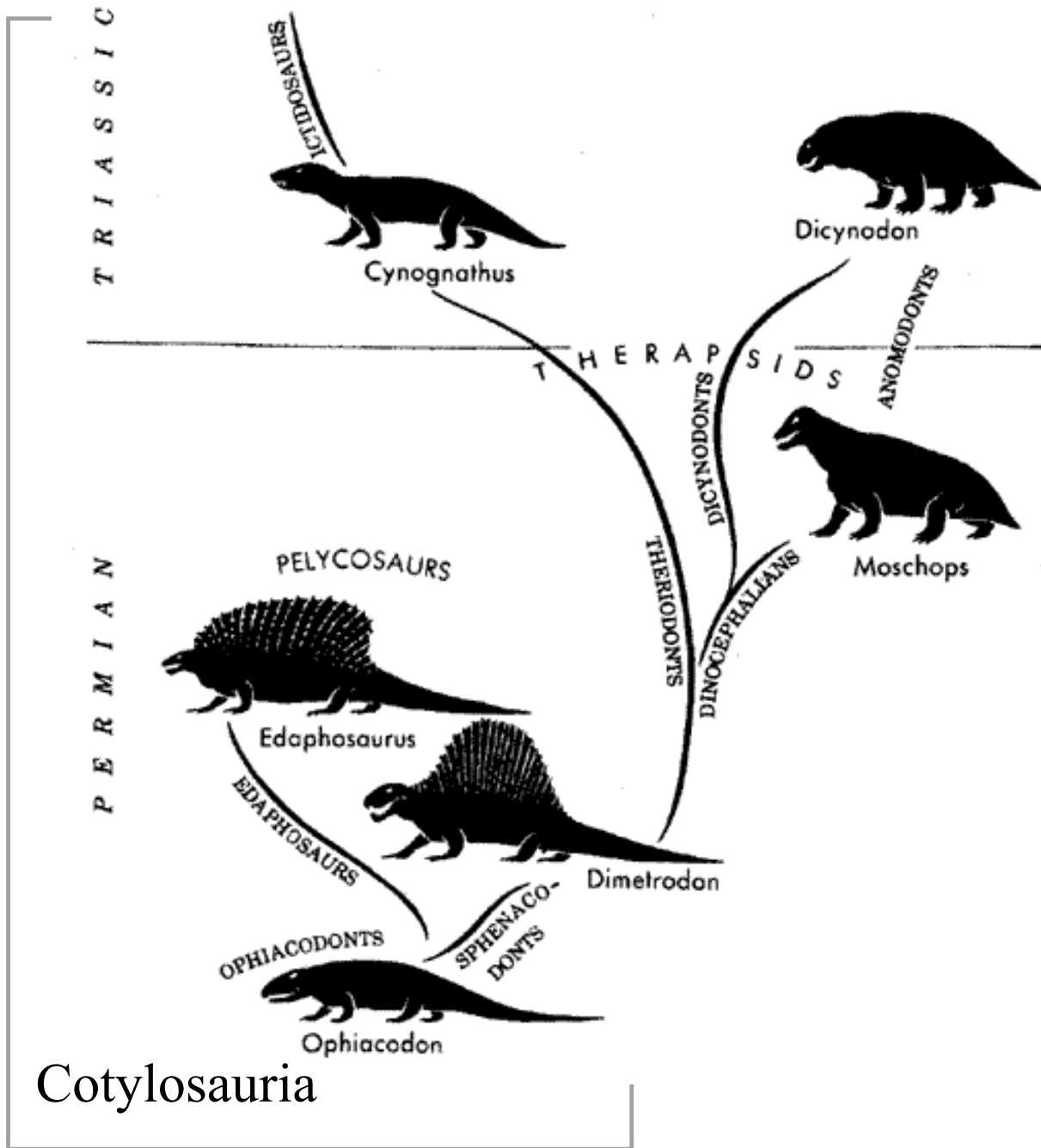
– *Hylonomus lyelli* was about 30 cm long

Cotylosauria



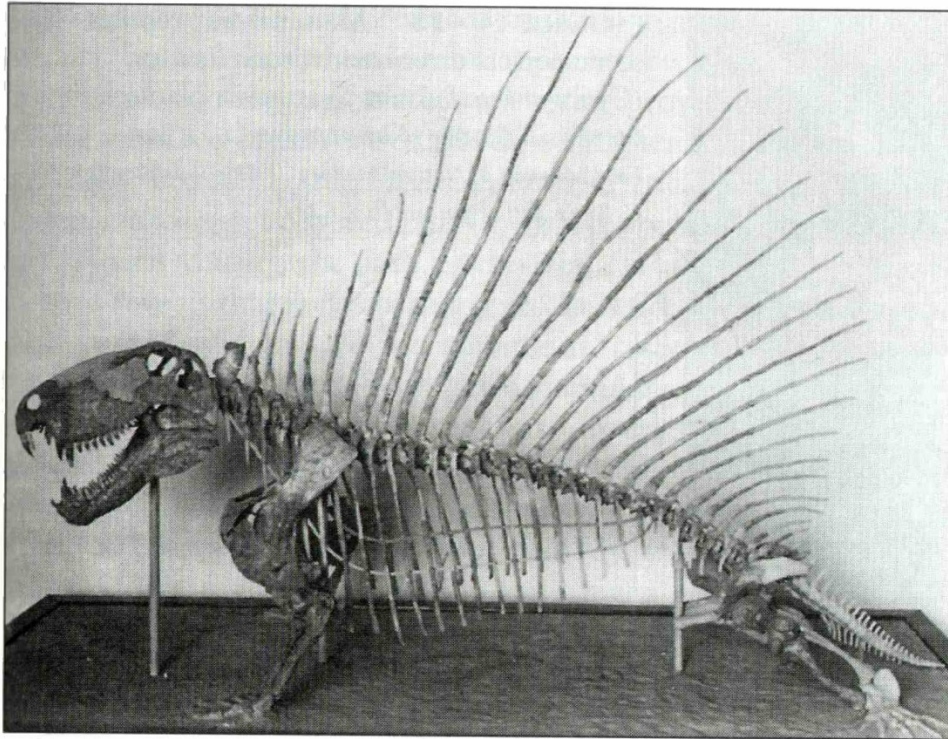






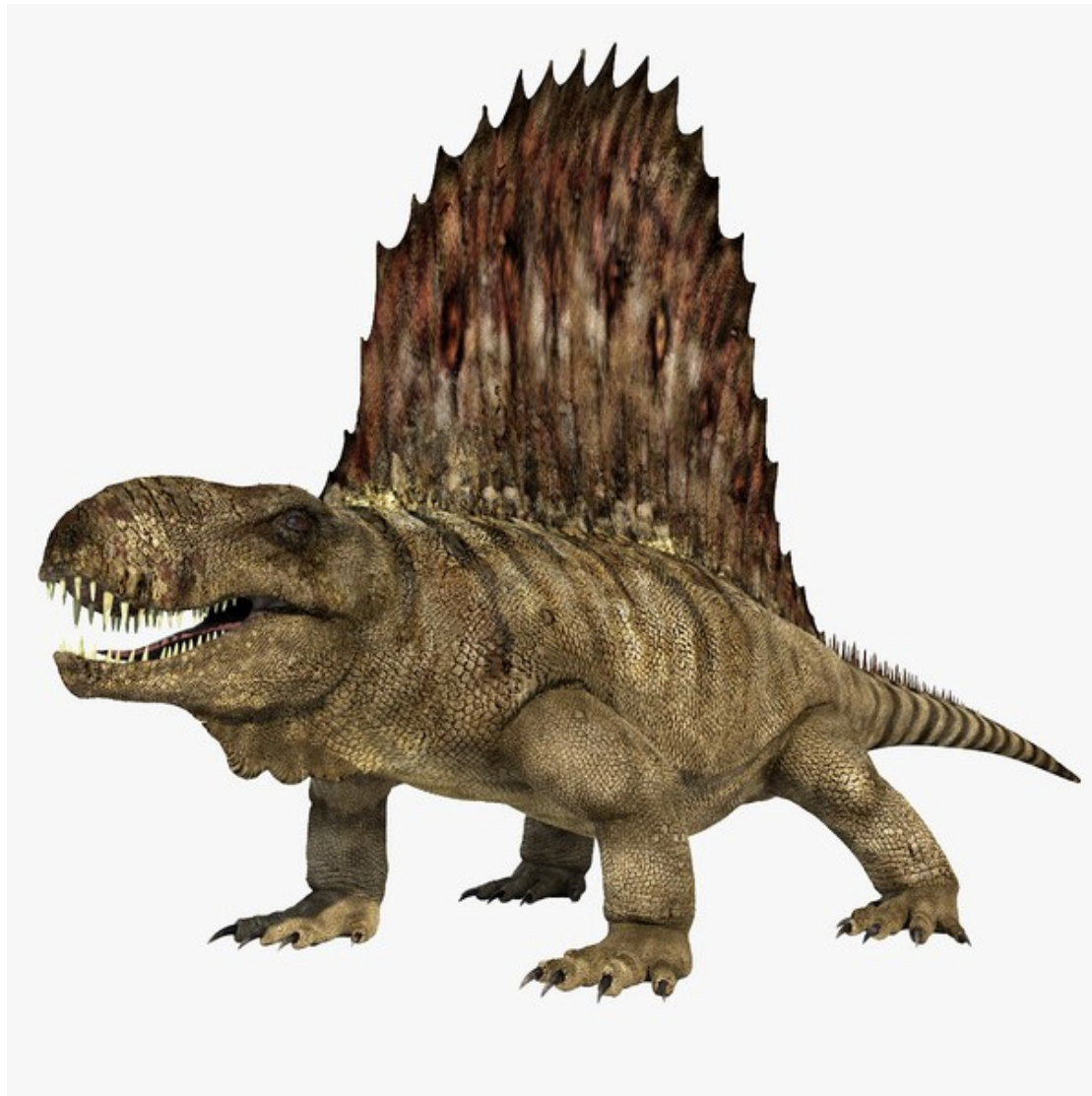
# Edaphosaurus





**FIGURE 10–82** Mounted skeleton of the Permian “sail-reptile” *Dimetrodon gigas*. The tail was actually somewhat longer. (Courtesy of the U. S. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution.)

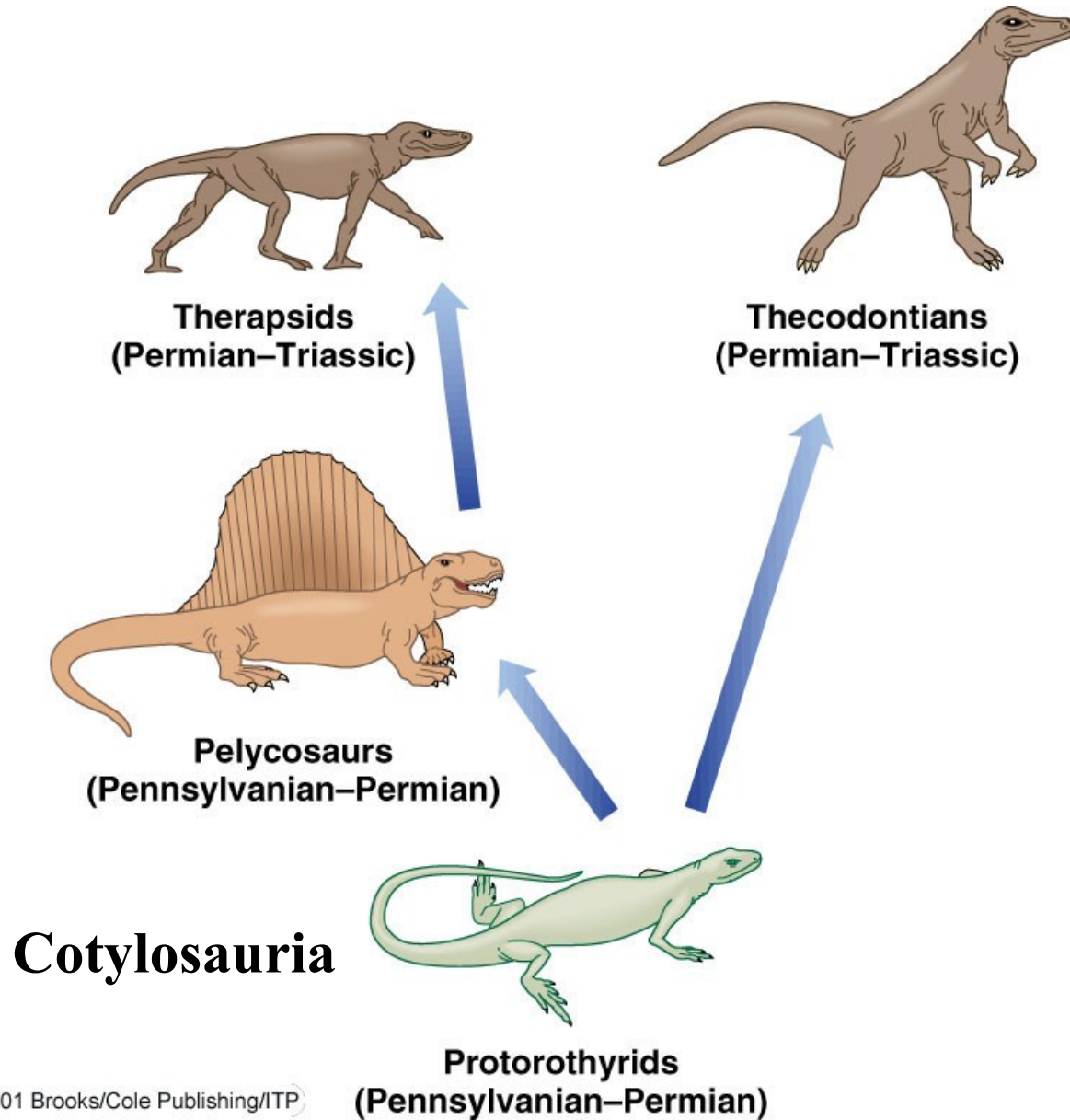
Pre-	Є	Є	O	S	D	M	P	Pr	Tr	J	K	T	Q
------	---	---	---	---	---	---	---	----	----	---	---	---	---



**Pelycosaurs** were abundant at low latitudes in early Permian, but disappeared by mid-Permian.  
**Therapsids** (descendants of pelycosaurs)

# Paleozoic Reptile Evolution

- Evolutionary relationship among the Paleozoic reptiles



# Therapsids

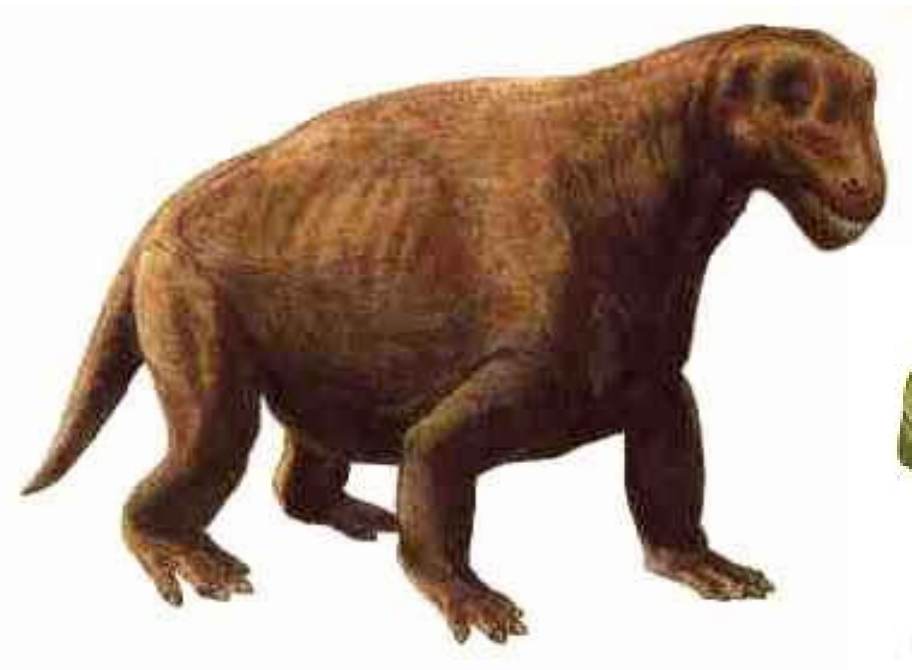


Der Sauroctonus wies bereits ein mächtiges, differenziertes Gebiss auf und wird eines der großen Raubtiere des Perms gewesen sein.(Werk des Künstlers Z. Burian)

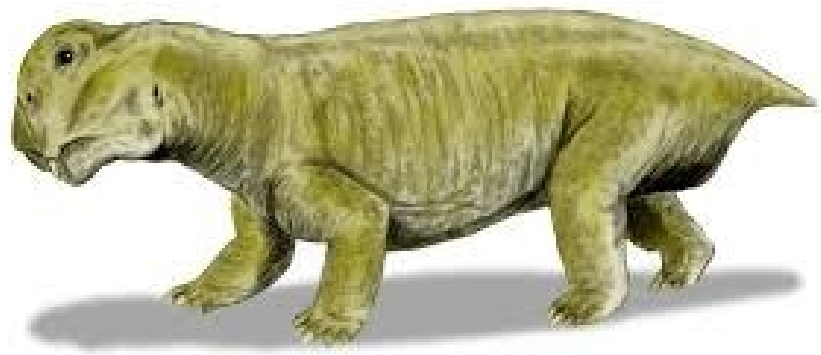




The bear-sized [gorgonopsid](#) *Inostrancevia alexandri* assaulting the ox-sized armoured [pareiasaur](#) herbivore *Scutosaurus karpinski*



Moschops

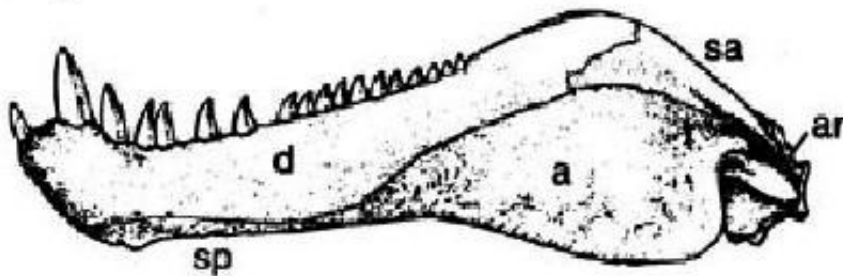


Lystrosaurus

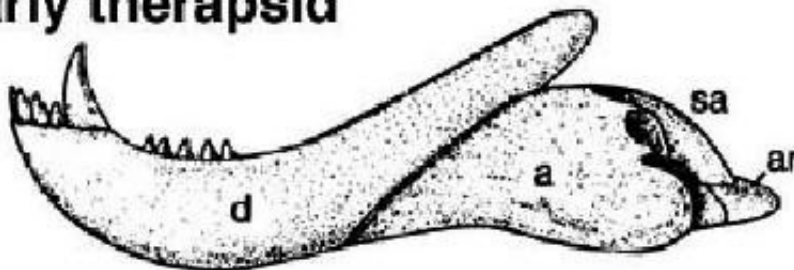
# Pelycosaurs

## Pelycosaur vs. Therapsid Jaw

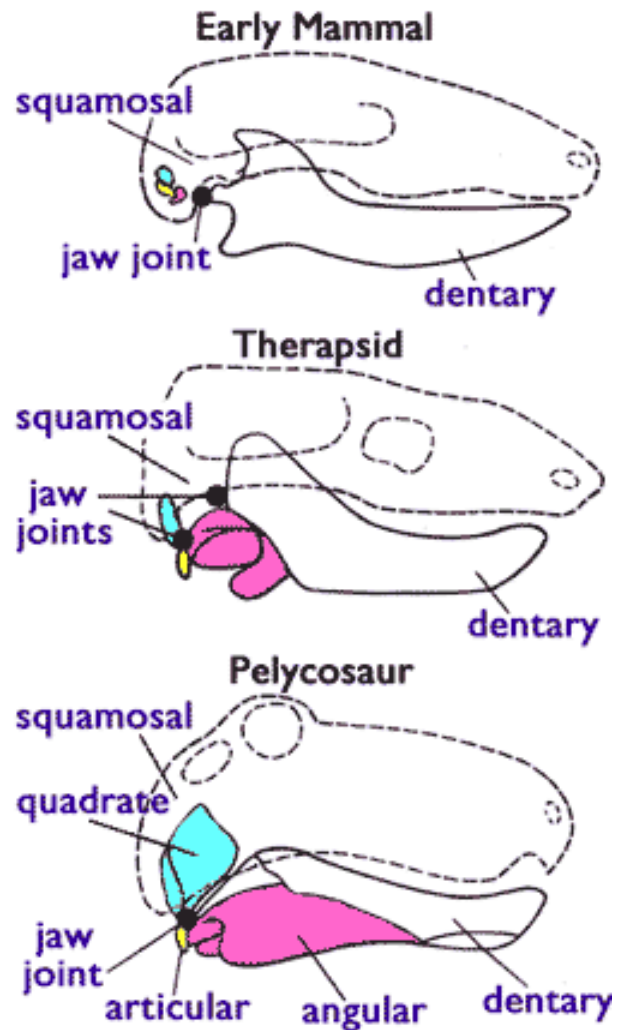
pelycosaur



early therapsid



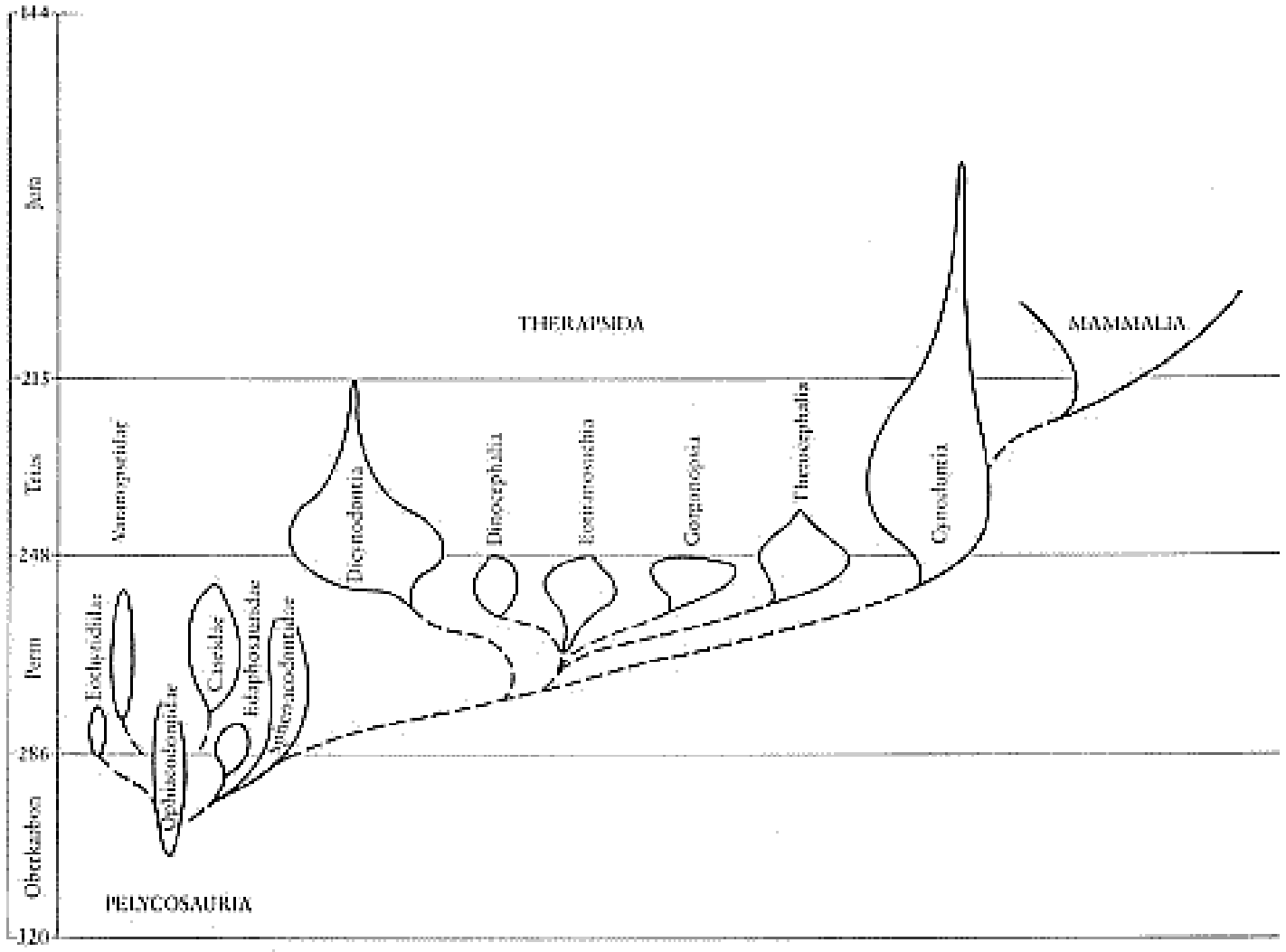
Although Therapsids resemble pelycosaurs in some ways, they had a much larger hole in the outer skull armor, flange on lower jaw for muscle attachment, and shorter heads. All these differences from pelycosaurs are related to more elaborate chewing. In addition, some had a more upright posture.



**Figure 1.4.1. The jaws of three vertebrates—mammal, therapsid, and pelycosaur.** A side view of three idealized skulls of mammals, therapsids (mammal-like reptiles), and pelycosaurs (early reptiles). The figure shows the differences between mammal and reptilian jaws and ear-bone structures. The jaw joint is shown as a large black dot, the quadrate (mammalian anvil or incus) is in turquoise, the articular (mammalian hammer or malleus) is in yellow, and the angular (mammalian tympanic annulus) is in pink. Note how, in the reptile, the jaw joint is formed between the blue quadrate and the yellow articular (with the pink angular close by), and how, in the mammal, the jaw joint is formed between the squamosal above and the dentary below. In the reptile, the squamosal is just above and contacting the quadrate. Advanced therapsids have two jaw joints: a reptile-like joint and a mammal-like joint (Figure based on Kardong 2002, pp. 275, reproduced with permission from the publisher, Copyright © 2002 McGraw-Hill)

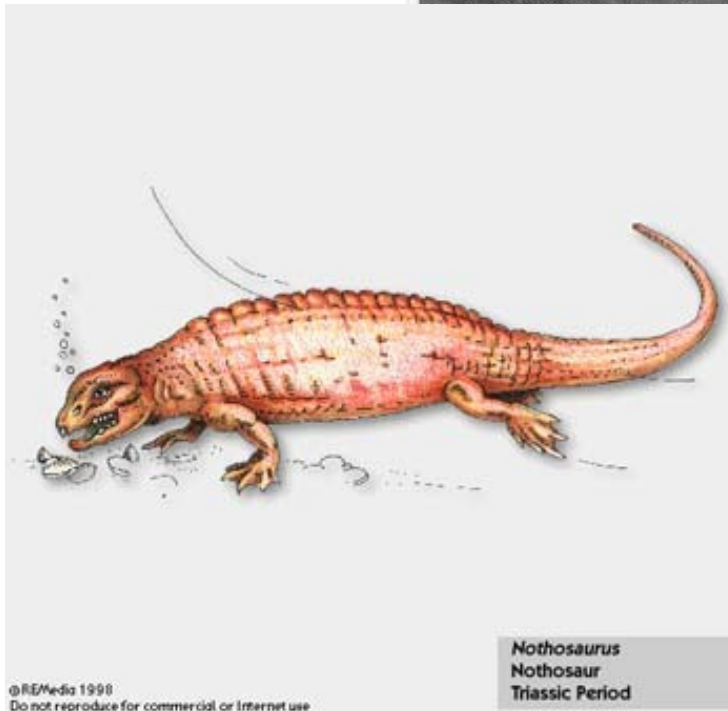
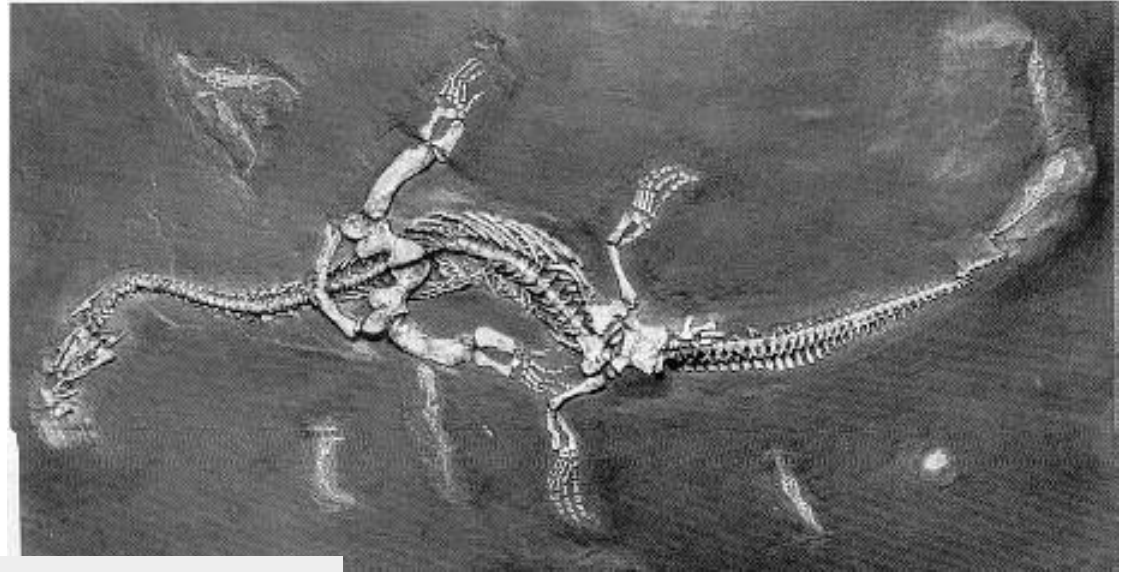
# Evolution of the Reptiles - The Land is Conquered

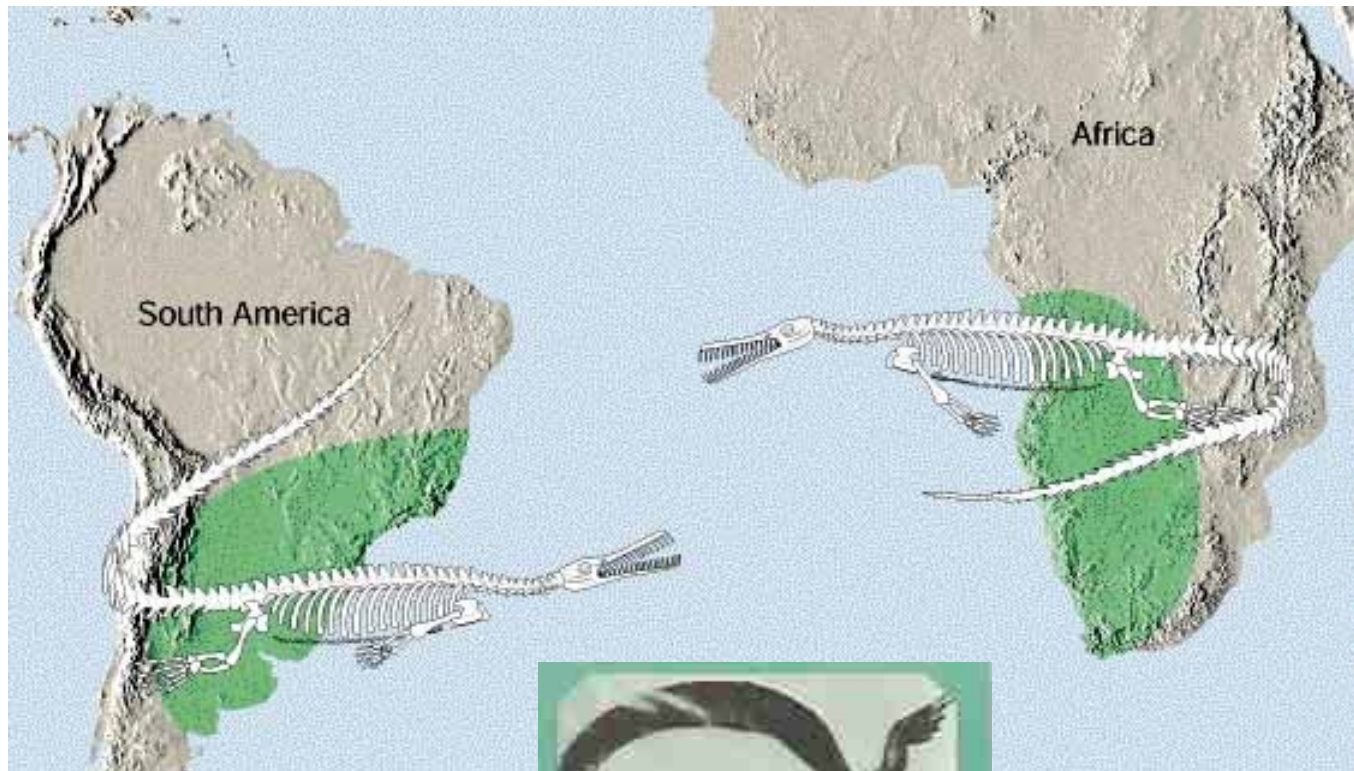
- Therapsids succeeded the pelycosaur during the Permian
  - mammal-like reptiles that quickly evolved into herbivorous and carnivorous forms
  - they displayed fewer bones in the skull, enlargement of the lower jawbone, differentiation of the teeth, and a more vertical position of their legs
  - therapsids may have been endothermic, which may help explain their distribution over wide latitudes
- The Permian extinction eliminated about 66% of all amphibians and reptiles



# Euryapsida

Notosaurs -





19

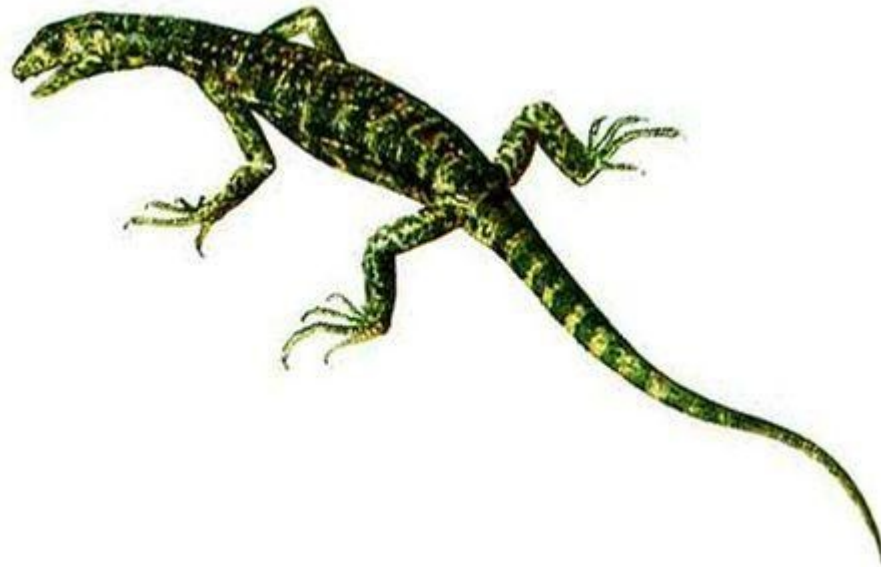
MESOSAURUS



## Diapsida

A great small many insectivorous lizard-like [diapsid](#) reptiles, like *Paliguana*, inhabited the landscape, most of which, curiously, had hind-legs much longer than their forelimbs (clearly an adaptation to bipedal locomotion, like the frill-necked lizard of Australia today)

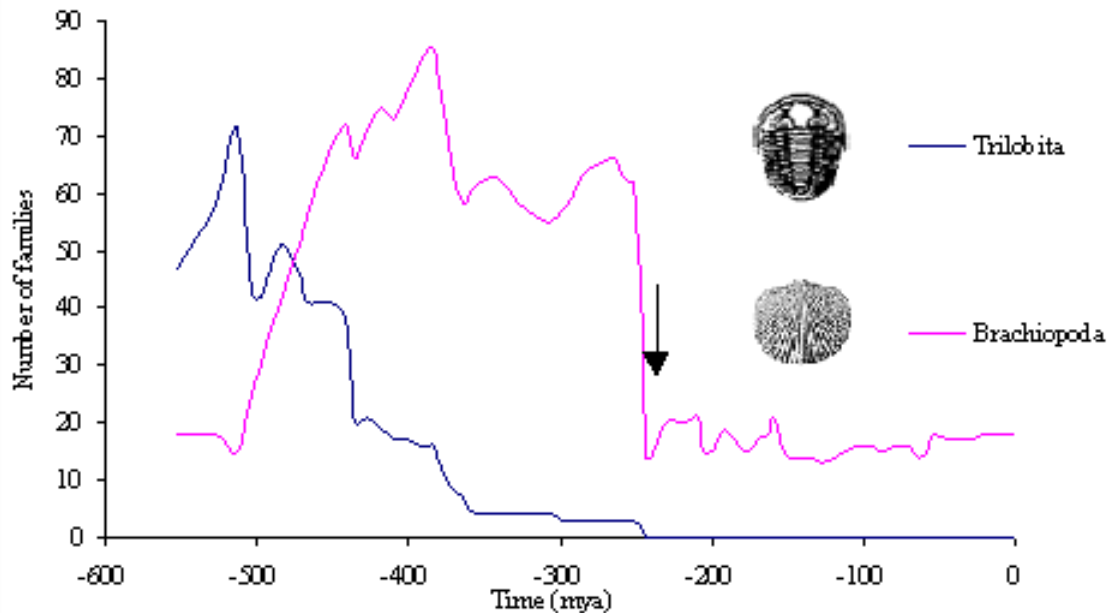
***Petrolacosaurus*** was a small, 40-centimetre (16 in) long, reptile, and the earliest diapsid known. It lived during the late [Carboniferous](#) period, the



# Late Permian Extinctions

The end-Permian mass extinction event ranks as the most devastating to terrestrial faunas in the history of the Earth. Marking the end of the great Palaeozoic era, it saw the death of about **95% of marine species and 70% of land families**. This is the most extensive extinction event ever, the closest that metazoans have come to being exterminated in the 600 million years since they first evolved in the Cambrian radiation.

Figure 4 Showing the effect of the P-T extinction, indicated with an arrow, upon the diversification levels of two organismal groups (Benton, 1993)



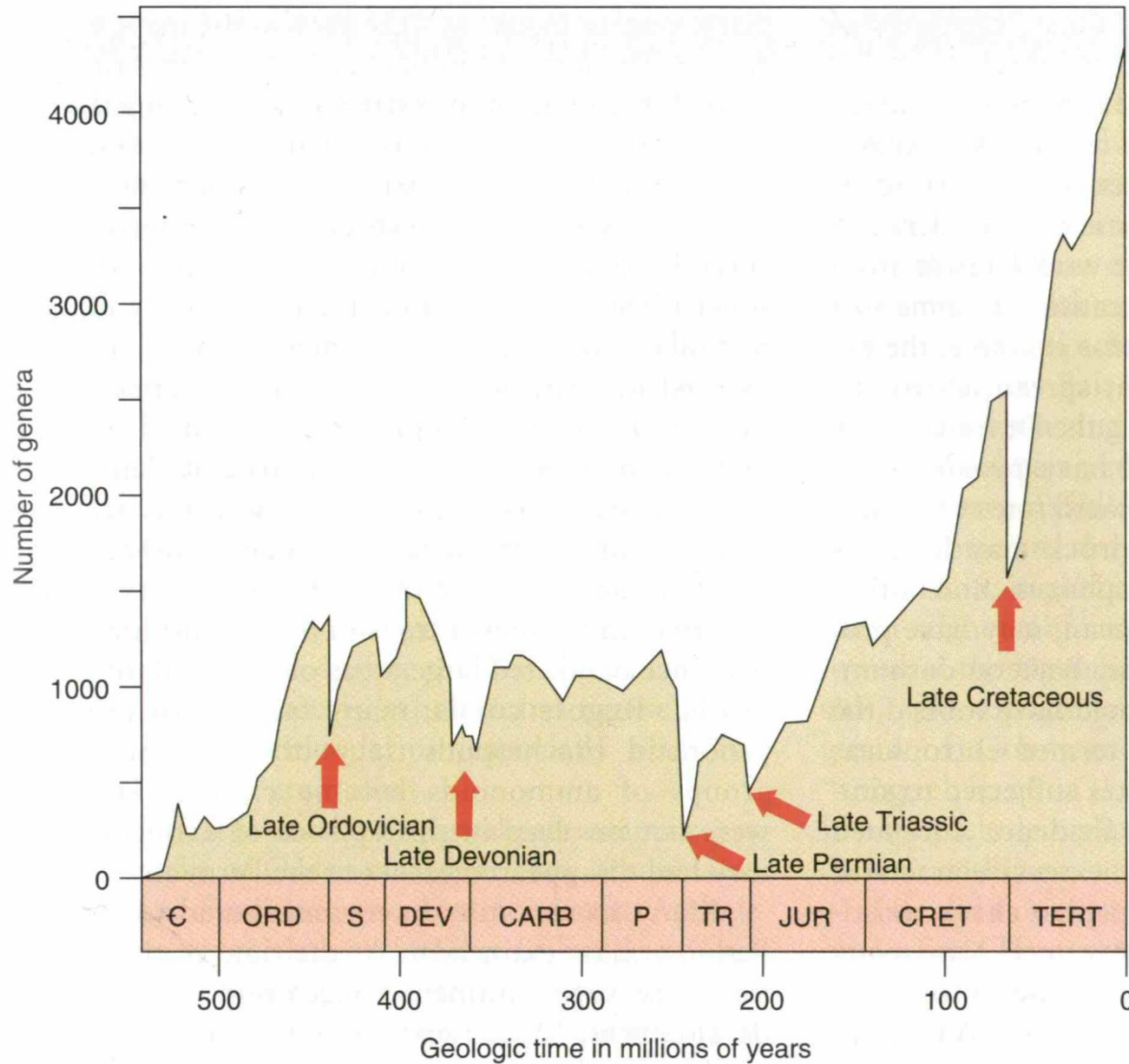
- Biggest mass extinction of all time

### **JUST PLAIN GONE**

- fusulinids
- rugose coral
- tabulate coral
- trilobites

### **HIT PRETTY HARD**

- 20% therapsids
- ammonoids
- brachiopods
- bryozoans
- Stalked echinoderms
- bivalves
- gastropod mollusks



**FIGURE 10-84** Diversity of marine animals compiled from a database recording first and last occurrences of more than 34,000 genera. The graph depicts five major episodes of mass extinction (global extinctions over a short span of geologic time). (Adapted from Sepkoski, J. J., Jr. 1994. *Geotimes* 39(3):15-17.)

# ***THE PERMIAN EXTINCTION***

- volcanic eruptions occurring in Siberia, flood basalts released huge amounts of CO<sub>2</sub>
- **Drop in oxygen content of surface ocean water**  
(from very high oxygen content (30%) to very low (15%) during the Permian)•
- **Increased CO<sub>2</sub> content**
  - Increased methane content

# Permian extinction

- Increase in CO<sub>2</sub> levels
  - Lead to global warming
  - Major anoxic event
- How to raise CO<sub>2</sub> levels?
  - Massive volcanic eruptions in Siberia
  - Release of **methane** from sea floor

Methane clathrate, also called methane hydrate, hydromethane, methane ice or "fire ice" is a solid clathrate compound (more specifically, a clathrate hydrate) in which a large amount of methane is trapped within a crystal structure of water, forming a solid similar to ice

Significant deposits of methane clathrate have been found under sediments on the ocean floors of Earth.

Methane hydrates are believed to form by migration of gas from depth along geological faults, followed by precipitation, or crystallization, on contact of the rising gas stream with cold sea water.



**Metan hydrát** ( $\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$ ) je tuhá bílá látka skládající se z krystalické vody, která obsahuje metan. Dříve se předpokládalo že krystalická voda se nachází na hranici Sluneční soustavy, kde jsou nízké teploty. Metan hydrát byl však objeven i pod sedimenty na dne moří Země.

Předpokládá se, že metan hydrát vzniká uvolňováním metanu ze zemského jádra, který stoupá zlomy v zemské kůře a v místech, kde se smísí s chladnou vodou moře je uzavřen do krystalů.

V poslední době se některé země pokoušejí tuto látku těžit za účelem zisku spalitelného plynu.

# Which theory is correct?

- Maybe all of them.
- Maybe none of them.
- They all deal with climate changes and changes in the total area that animals could live.
- Most likely...a combination of all of them.



Geological development

# Variscides



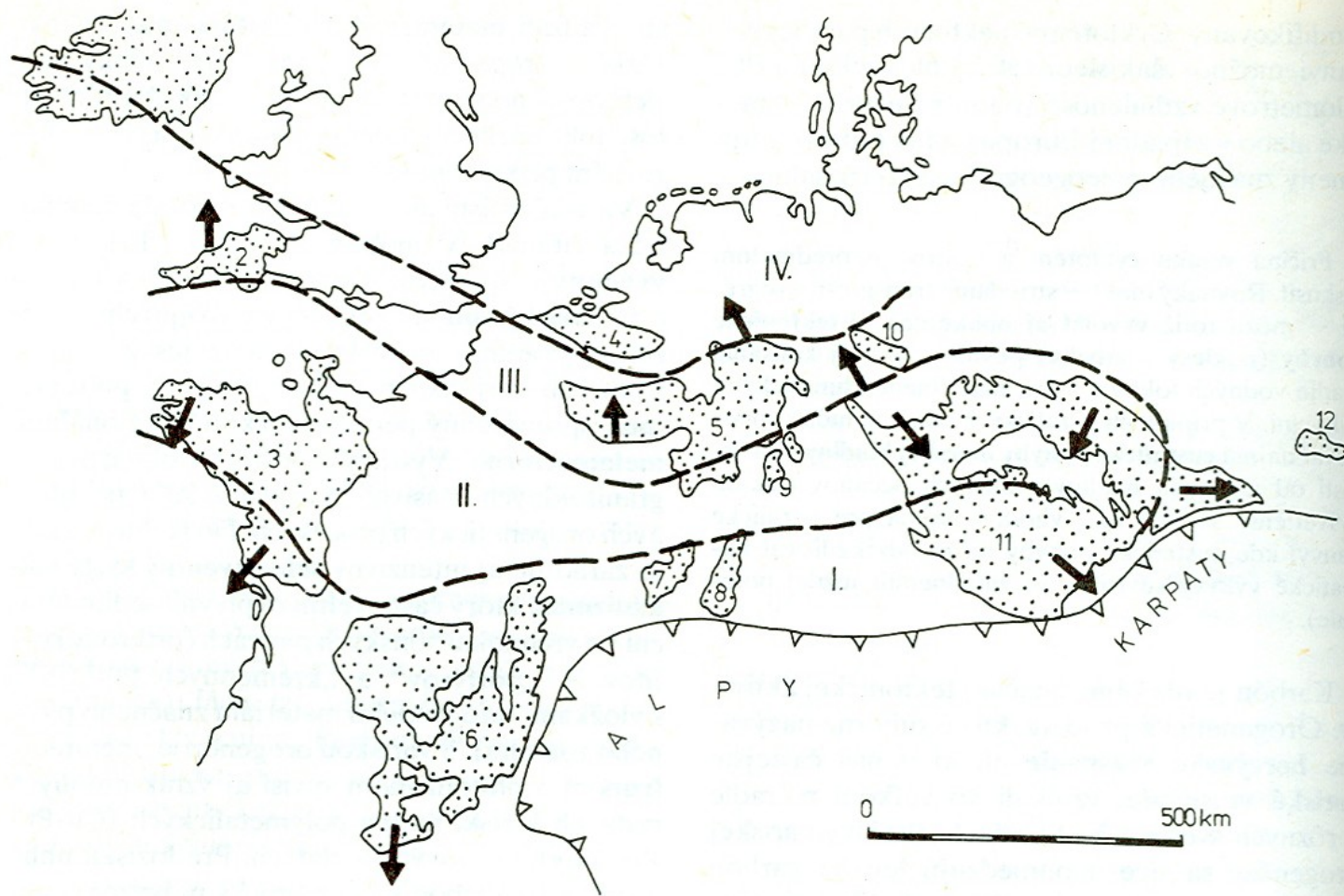


**Subvariská zóna** – dozvuky variského vrásnění – slabě zvrásněné nebo nezvrásněné sedimenty.  
Molasové paralické uhelné pánve

**1) Rhenohercynské-jihoportugalská zóna** – extenzní zóna variské kolize (devon-spod. karbon),  
Okraj Avalonie, brunovistulika, příkrovová stavba, bimodální vulkanismus, slabá  
nebo žádná metamorfóza, typický flyš (kulm)

**2) Sasko-durynská zóna** – značná metamorfóza a grantizace slábnoucí k severu, postorogenní  
plutonismus. Počátek vrásnění v spodním devonu, hlavní fáze spodní karbon.  
Divolý flyš – devon-sp, karbon. Terán saxothuringika oddělen od moldanubika  
ebersdorfskou linií (litoměřický zlom), marianskolázeňský ultrabazický komplex

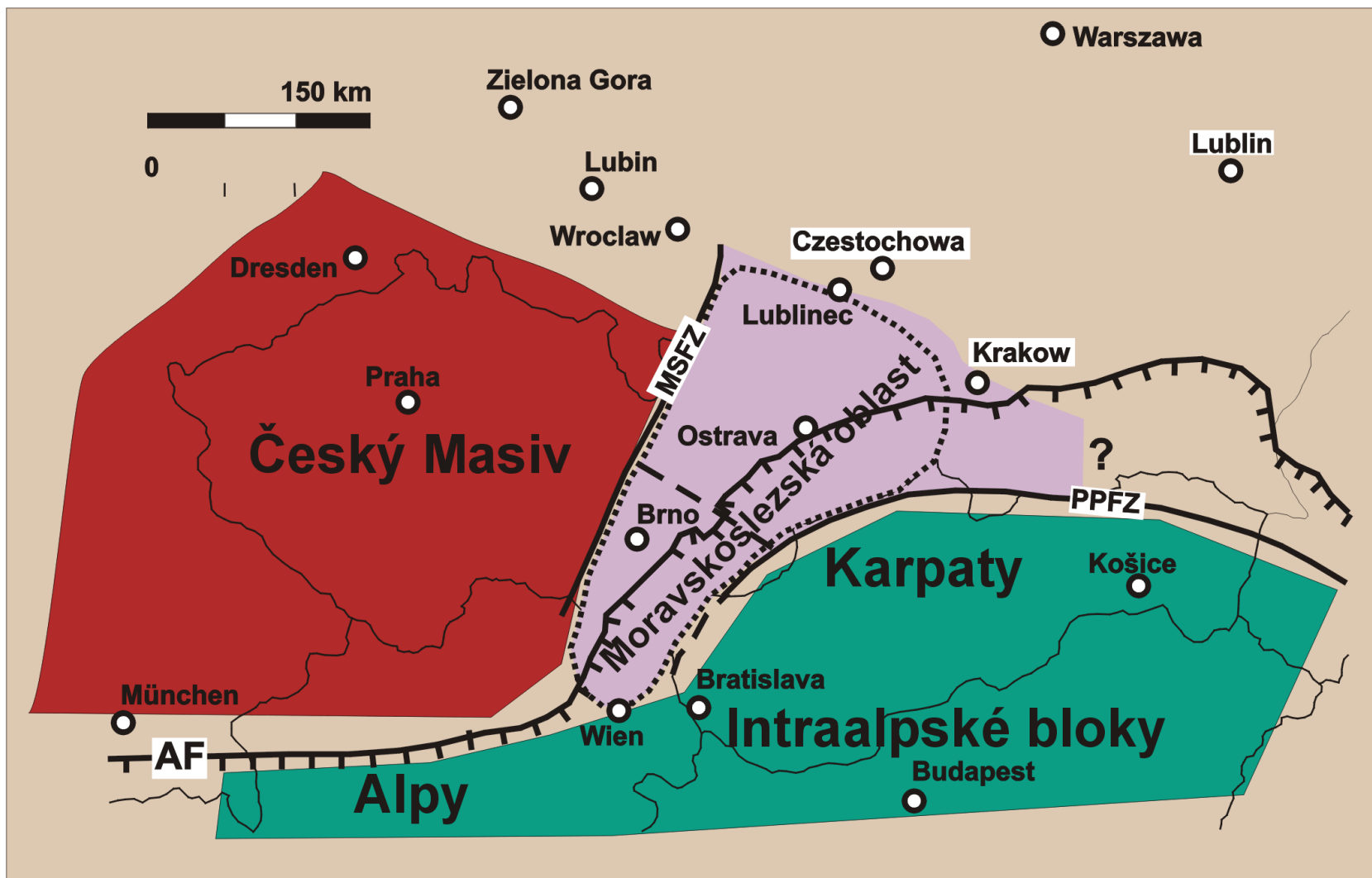
**3) Moldanubická zóna** – intenzivní metamorfóza, grantizace a plutonismus. Hlavně devonské fáze  
vrásnění. Moldanubický terán (Perunica). Na západě a severu tekton. Kontakt s  
saxothuringikem, na jihu s perimediterránním teránem a na východě s brunovistulikem



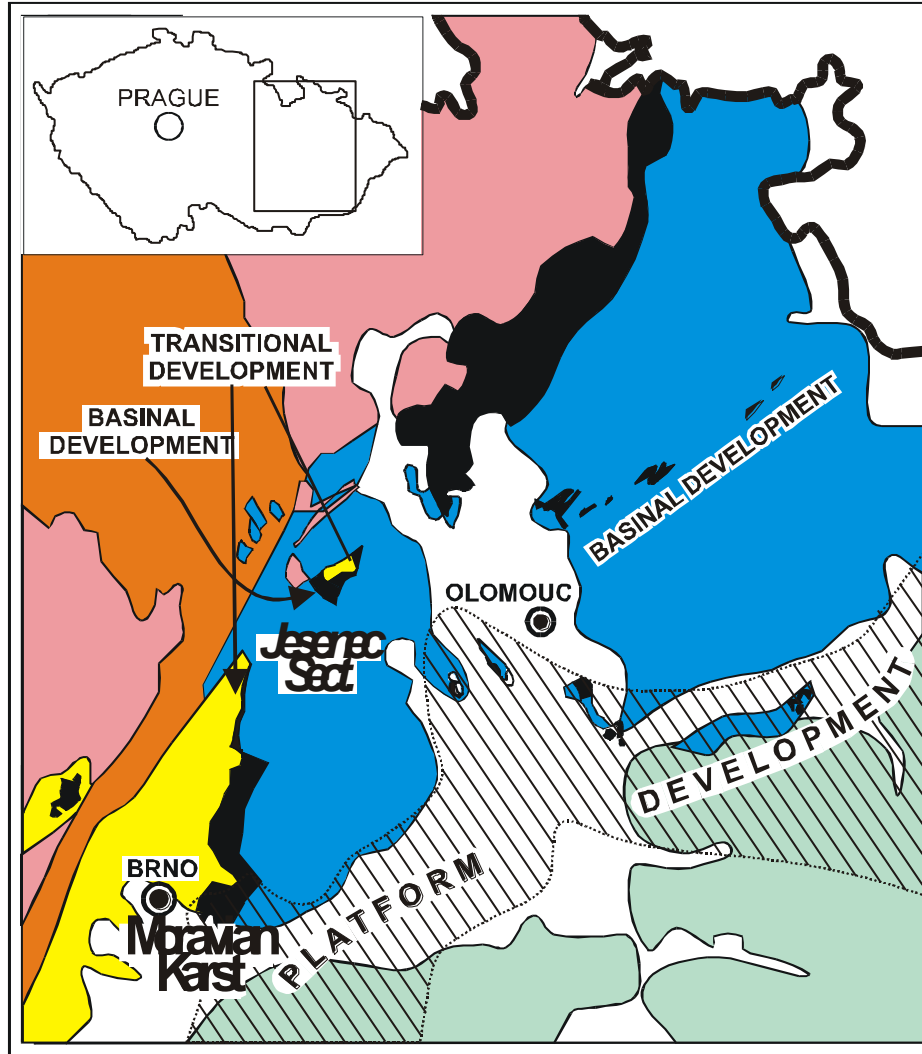
Obr. 278. Zjednodušená schéma variscíd strednej a západnej Európy (upravené podľa F. PATOČKU, 1980, s použitím dát M. G. RUTTENA, 1969, C. F. BURRETTA a J. GRIFFITHSA, 1977 a W. KREBSA, 1975).










I moldanubická zóna a jej ekvivalenty, II sasko-durýnska zóna a jej ekvivalenty, III rhenohercýnska zóna a jej ekvivalenty, IV subvariská zóna a predpolie variského orogénu. Na povrch vystupujúce časti variscíd (vybodkované): 1 južné Írsko, 2 Cornwall, 3 armorický masív, 4 brabantský masív, 5 Ardeny a Porýnska bridličnatá vrchovina, 6 Massif Central, 7 Vogézy, 8 Schwarzwald, 9 Odenwald a Spessart, 10 Harz, 11 český masív, 12 Svätokrižske hory. Šípky znázorňujú prevládajúcu vergenciu vrás





# Moravosilesian region



- LEGEND:**
- |   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|  | Brunovistulian terrane (Laurussian basement)    |  | Western Carpathian flysch                             |
|  | Variscan crystalline rocks                      |  | Neogene - Quaternary cover                            |
|  | Devonian - Lower Carboniferous pre-flysch rocks |  | Hypothetical subsurface limit of Platform Development |
|  | Lower Carboniferous flysch (Culm facies)        |  | Section locations                                     |
|  | Permian - Cretaceous sedimentary cover          |  | Major city  |

V moravskoslezské oblasti se setkáváme především s faciemi **rhenohercynské** a **subvariské** zóny.

### **Drahanská vrchovina**

V **drahanském vývoji** a **ludmírovském vývoji** se v předflyšovém vývoji v tournai podobně jako ve famenu laterálně zastupují facie s převahou kalciturbiditů (**jesenecké vápence**) a facie břidlic s radiolarity (**ponikevské souvrství**). Ve vývoji **Moravského krasu** v tournai pokračuje ukládání facií **hádko-říčských** a **křtinských** vápenců. Zatímco u hádko-říčských vápenců se jedná v drtivé většině o kalciturbidity, křtinské vápence jsou reprezentovány jednak polohami kalových kalciturbiditů, jednak hemipelagickými faciemi svrchní části pánevního svahu. Ve svrchním tournai až středním visé se hádko-říčské vápence laterálně zastupují s **březinským souvrstvím**, jehož plošné rozšíření směrem do nadloží narůstá. Březinské souvrství je tvořeno břidlicemi a prachovci místy jsou hojné vložky kalciturbiditů i arenitických siliciklastických turbiditů (droby, vápnité pískovce, arkózy). V břidlicích je místy bohatá trilobitová fauna. Březinské souvrství reprezentuje přechod k flyšové kulmské sedimentaci.



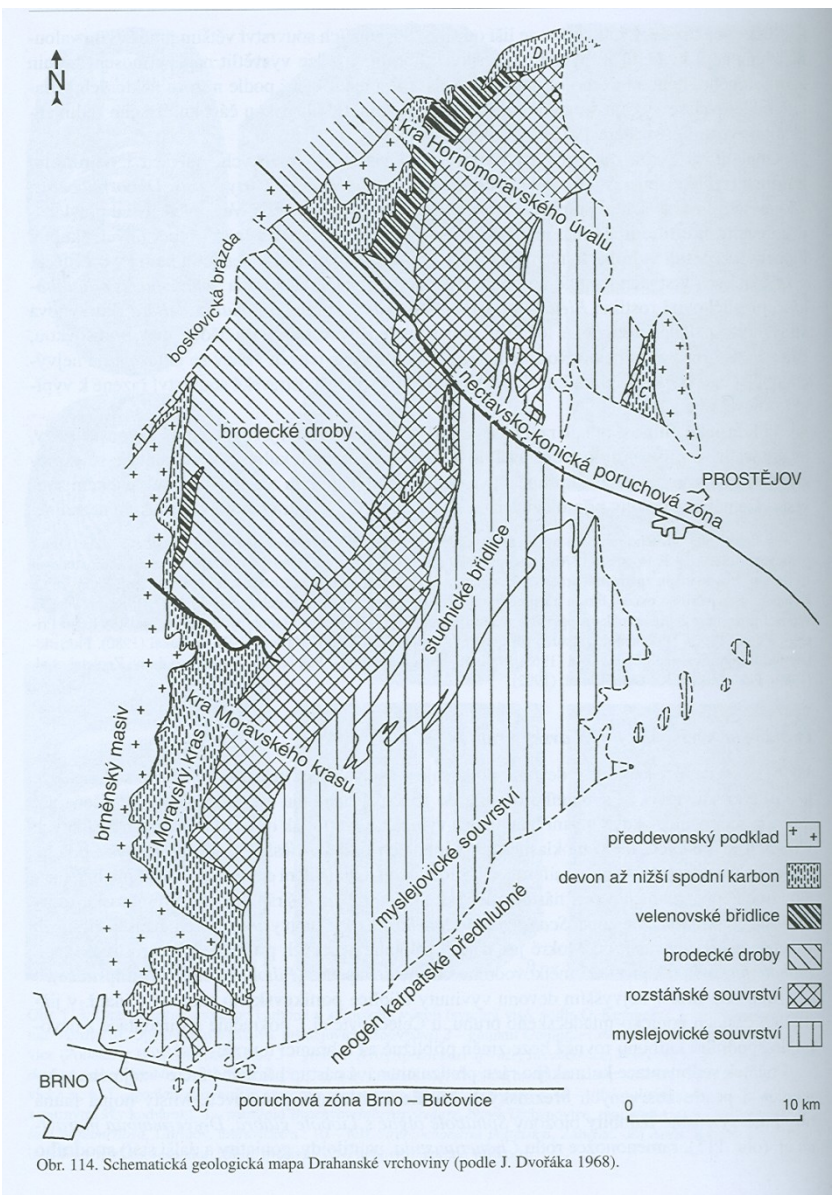
**Kulmská flyšová sedimentace** v oblastech s **drahanským** a **ludmírovským** vývojem nastupuje poblíž hranice tournai a visé a je reprezentována **protivanovským souvrstvím**. Na bázi vystupují břidlice velenovské, výše potom brodecké droby. Stratigraficky významné jsou polohy kořeneckého slepence obsahující valouny vápenců vyššího spodního visé. Nad ním se ukládají facie **rozstáňského souvrství** (střední až počátek svrchního visé) reprezentované jemně rytmickým flyšem.

Nejmladší kulmskou jednotkou v nadloží rozstáňského souvrství reprezentuje **souvrství myslejovické**. Je tvořeno slepenci, drobami a břidlicemi. Významné jsou zejména materiálově odlišné polohy **slepenců račických** (starší) a **lulečských** (mladší). Břidlice obsahují faunu nejvyššího visé (*Arhegonus moravicus*, *Posidonia becheri*, zástupci rodu *Goniatites*). Za distální ekvivalent myslejovického souvrství jsou považovány sedimenty moravického a hradecko-kyjovického souvrství v Nížkém Jeseníku.

Archegonus



*Goniatites crenistria*



Obr. 114. Schematická geologická mapa Drahané vrchoviny (podle J. Dvořáka 1968).

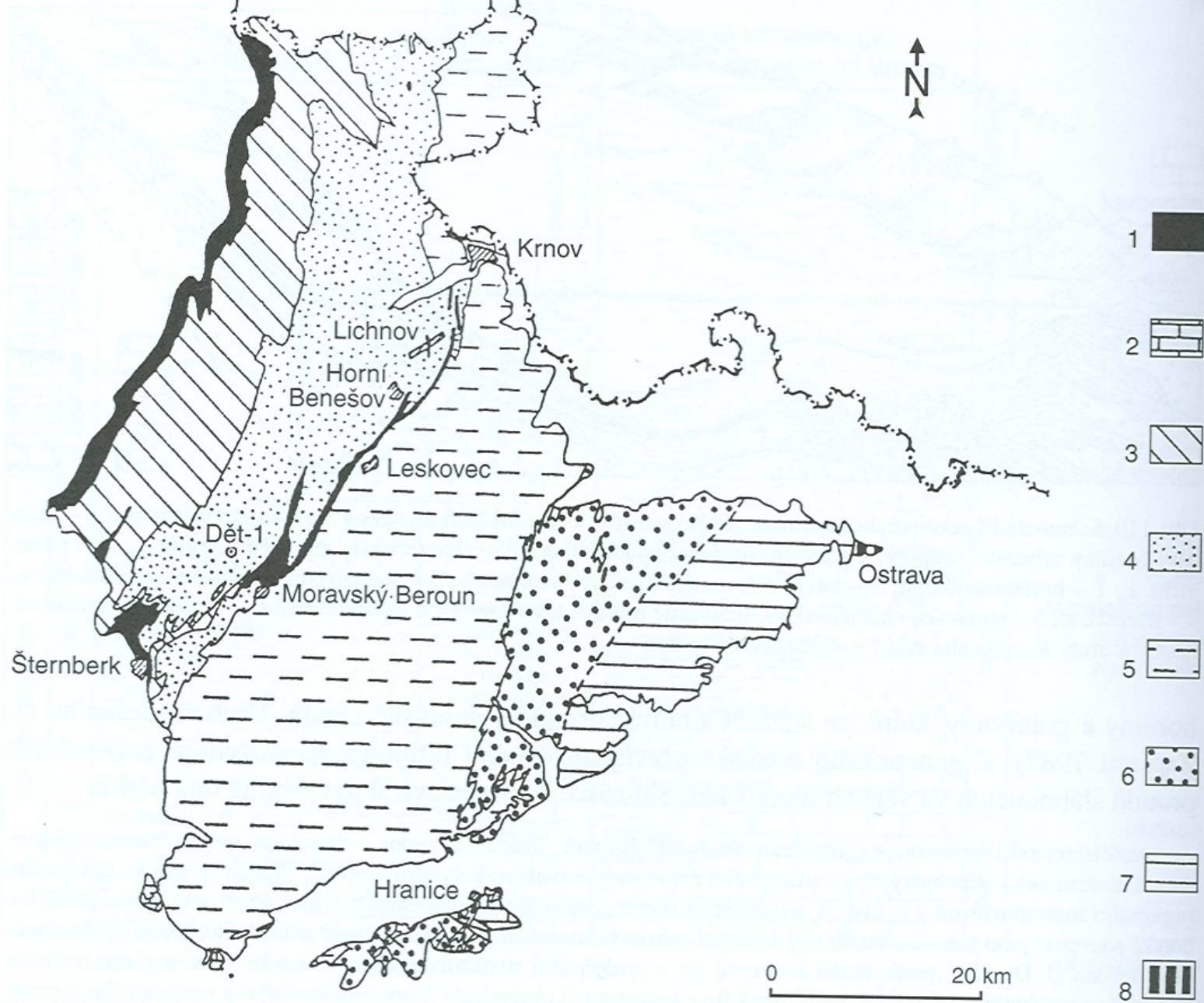




## Nízký Jeseník

V nejnižší části spodního karbonu pokračuje **předflyšová sedimentace** ukládáním pánevních facií **ponikevského souvrství**, které se laterálně zastupují v blízkosti vulkanických elevací s **jeseneckými vápenci**. Ve východnějších oblastech se vlivy karbonátové platformy projevují v ukládání facií **líšeňského souvrství**.

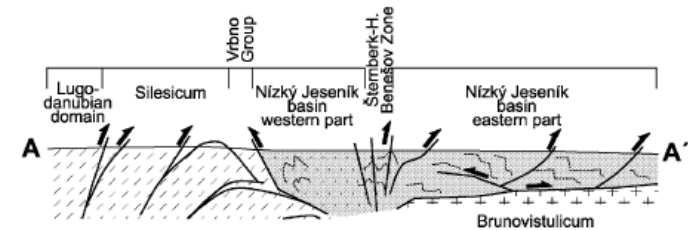
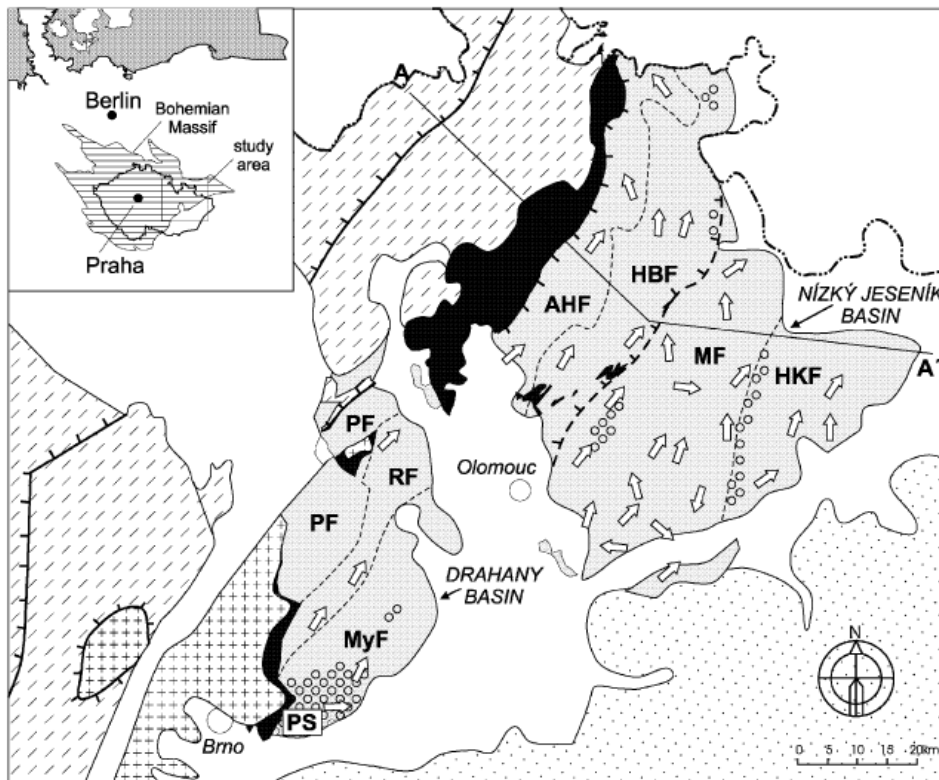
**Kulmská flyšová sedimentace** vykazuje výraznou polaritu. Nejstarší dílčí pánve vznikaly na západě a jejich depocentra se spolu se sunutím příkrovů přesouvala postupně na východ a vytlačovala karbonátovou sedimentaci. Nejstarší **andělskohorské souvrství** je tvořeno rytmicky zvrstvenými drobami a prachovci s polohami slepenců. Ve spodní části se laterálně zastupuje s ponikevským souvrstvím, ve vyšší části potom se souvrstvím hornobenešovským, do kterého přechází i do nadloží. **Hornobenešovské souvrství** je tvořeno převážně drobami a představuje časový i materiálový ekvivalent protivanovského souvrství. V **moravickém souvrství** převažují distální turbidity reprezentované prachovci a břidlicemi. Jedná se o distálnější ekvivalenty myslejovického souvrství se kterým je pojí obdobná zdrojová oblast. Ve spodní části **hradecko-kyjovického souvrství** převažují droby s polohami slepenců na bázi, do nadloží přecházejí do prachovito-jílovitých rytmitů. Vývoj tohoto souvrství tak zachycuje přechod od flyšové do molasové sedimentace.



Obr. 111. Schematická mapa karbonu Nízkého Jeseníku a přilehlých výskytů (upraveno podle J. Dvořáka 1994). 1 – devon v drahanském vývoji; 2 – devon ve vývoji Moravského krasu; 3 – andělskohorské souvrství; 4 – hornobenešovské s.; 5 – moravické s.; 6 – hradecké vrstvy; 7 – kyjovické vrstvy; 8 – ostravské s.

## **Hornoslezská pánev**

Z Polska na naše území zasahuje pouze jihozápadní výběžek. Představuje **molosovou pánev** v předpolí orogénu, tj. v **subvariské zóně**. Ve spodní části se uložilo **ostravské souvrství** (namur A-B) v paralickém vývoji s cyklotémami. Je tvořeno především drobovými nebo arkózovými karbonatickými pískovci, prachovci a jílovci o mocnosti přes 2,5 km obsahuje asi 100 těžitelných hlavních slojí. Nadložní **karvinské souvrství** se ukládalo v limnickém prostředí. Obsahuje menší počet slojí, které však dosahují větších mocností.



- |  |   |            |   |
|--|---|------------|---|
|  | Variscan crystalline nappes (Lugodanubicum, Moravicum, Silesicum) |            | paleocurrent directions                       |
|  | Variscan (par)autochthonous crystalline rocks (Brunovistulicum)   |            | major point source for flysch basins          |
|  | Variscan pre-flysch facies Devonian-Lower Carboniferous           |            | lithologic boundary between flysch formations |
|  | Variscan flysch (Culm facies) Carboniferous                       |            | major tectonic boundary                       |
|  | conglomerate facies within flysch clastics                        | <b>PF</b>  | Protivanov Formation                          |
|  | Flysch Zone of Western Carpathians (Jurassic-Oligocene)           | <b>RF</b>  | Rozstání Formation                            |
|  | post-Variscan cover (Permian-Quaternary)                          | <b>MyF</b> | Myslejovice Formation                         |
|  |   | <b>AHF</b> | Andelská Hora Formation                       |
|  |   | <b>HBF</b> | Horní Benešov Formation                       |
|  |   | <b>MF</b>  | Moravice Formation                            |
|  |   | <b>HKF</b> | Hradec-Kyjovice Formation                     |

# Permocarboniferous basins

Coal-bearing, mainly from Westphalian to Stephanian

Most complete sedimentation - Innersudetic Basin, communication with Podkrkonoše Basin.

Central Bohemian basins

Boskovice furrow. Halfgraben basin, originated during the gravitational collapse of the Variscan orogeny.  
From Městečko Trnávka to Moravský Krumlov. Stephanian – lower Permian. Carboniferous Balin Conglomerates at the western margin. Permian Rokytná conglomerates at the eastern margin.

#### 2.4.2.4.4. PERMOKARBONSKÉ PÁNVE

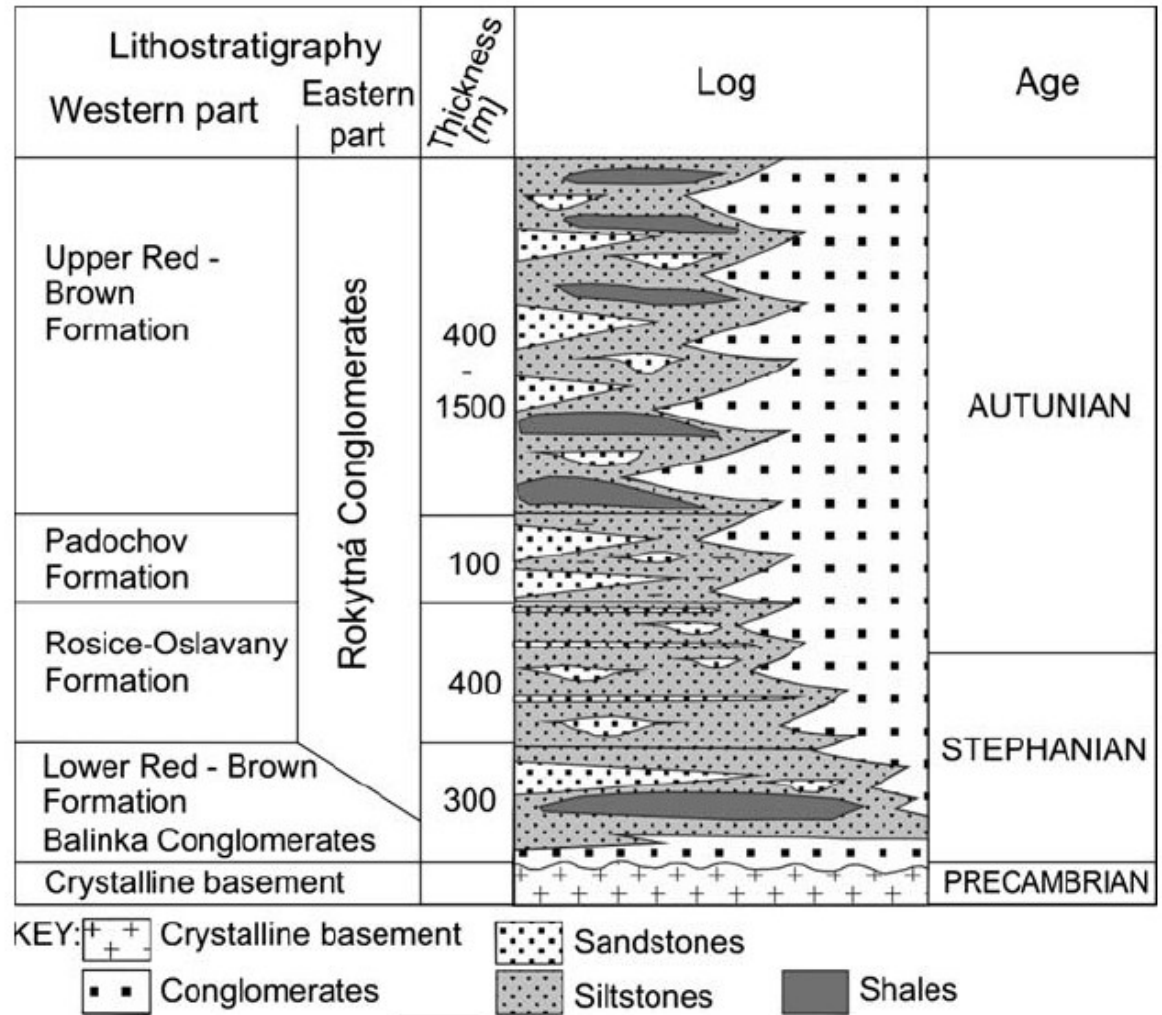
Patří sem pánve, které vznikly většinou až po hlavních fázích variského vrásnění ve svrchním karbonu, a jejichž limnické sedimenty nebyly výrazněji tektonicky postiženy. Od stephanu se v nich začíná vyskytovat v hojnější míře červené zbarvení, které ukazuje postupné zvyšování aridity, tak typické později pro perm. Sblížený faciální vývoj a nedostatek fosílií zapříčiňuje nejistoty při stanovení přesných hranic, proto se často používá pro sedimentární výplň těchto pánví souborný název permokarbon.

Hlavní výskyt pánví je soustředěn do obloukovitého prostoru **mezi moldanubickou a saskodurynskou zónou** (oblast středočeského permokarbonu a oblast v severovýchodní části Českého masivu - podkrkonošská a dolnoslezská pánev). Další mladší pánve vznikaly podél tektonických linií severojižního směru a patří k nim blanická a boskovická brázda. Nejúplněji je sedimentace permokarbonu vyvinuta v **dolnoslezské pánvi**, kde přechází až do triasu. **Podkrkonošská pánev** má do určité míry obdobný vývoj jako sousední dolnoslezská pánev a komunikovala i se středočeskými pánvemi.



## Boskovická brázda

představuje výrazně asymetrickou příkopovou propadlinu SSV-JJZ směru táhnoucí se od Moravského Krumlova až k Městečku Trnávka. Jedná se o denudační reliktní sedimentace v limnickém a fluviálním prostředí a v prostředí aluviálních kuželů kde probíhala sedimentace od stefanu až do spodního permu. Místy jsou vyvinuty polohy šedých bituminózních vápenců a pelitů s hojnou flórou (např. *Callipteris conferta*), faunou krytolebců (např. *Discosauriscus*), paprskoploutvých ryb (hlavně *Paleoniscus*) a hmyzu.









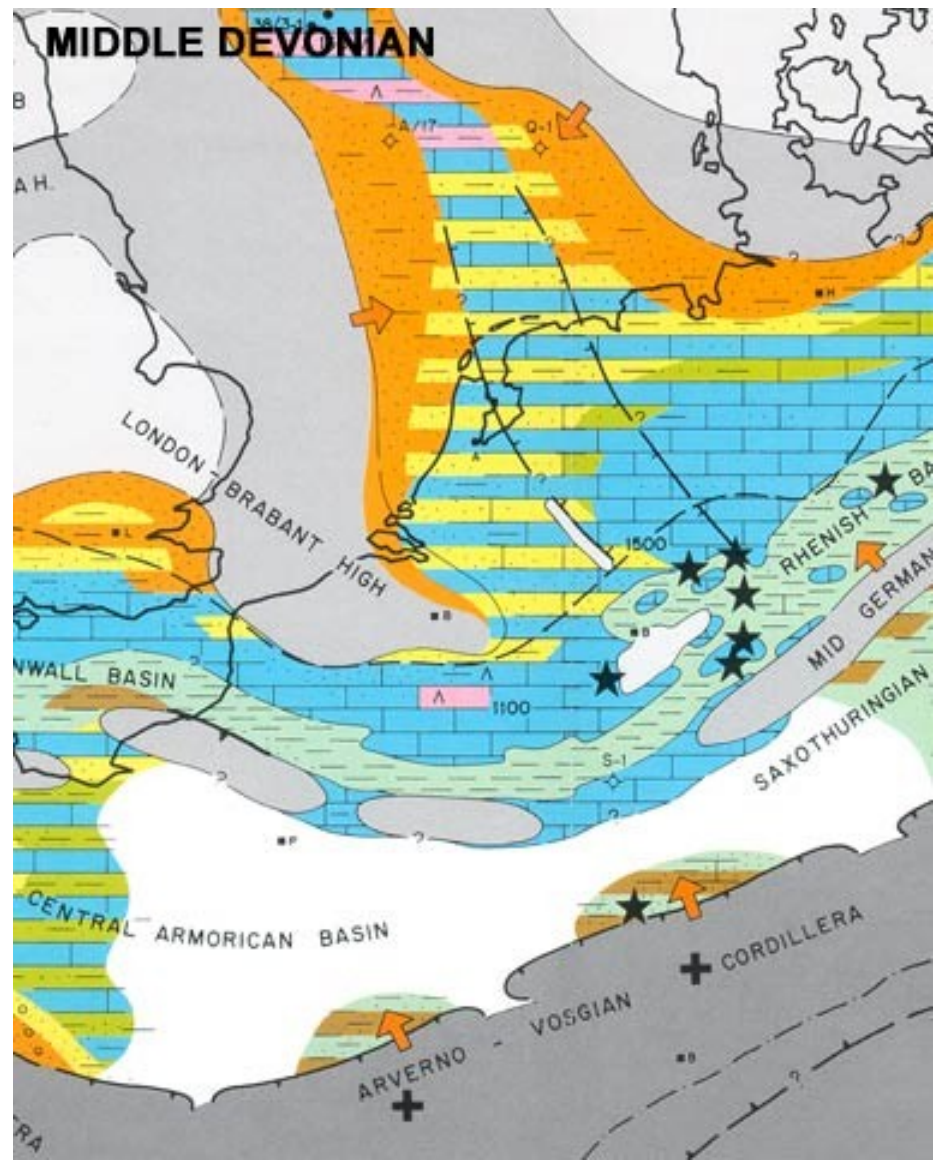
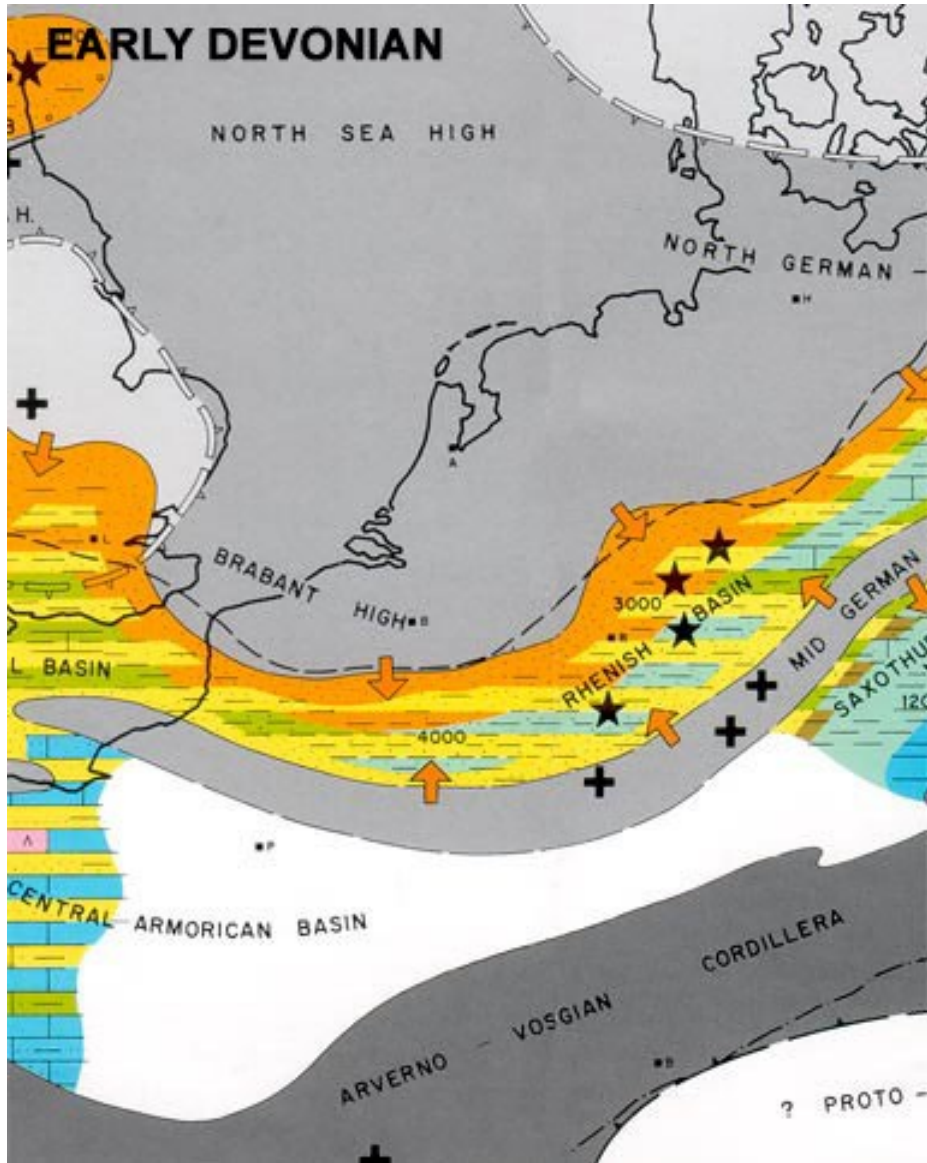


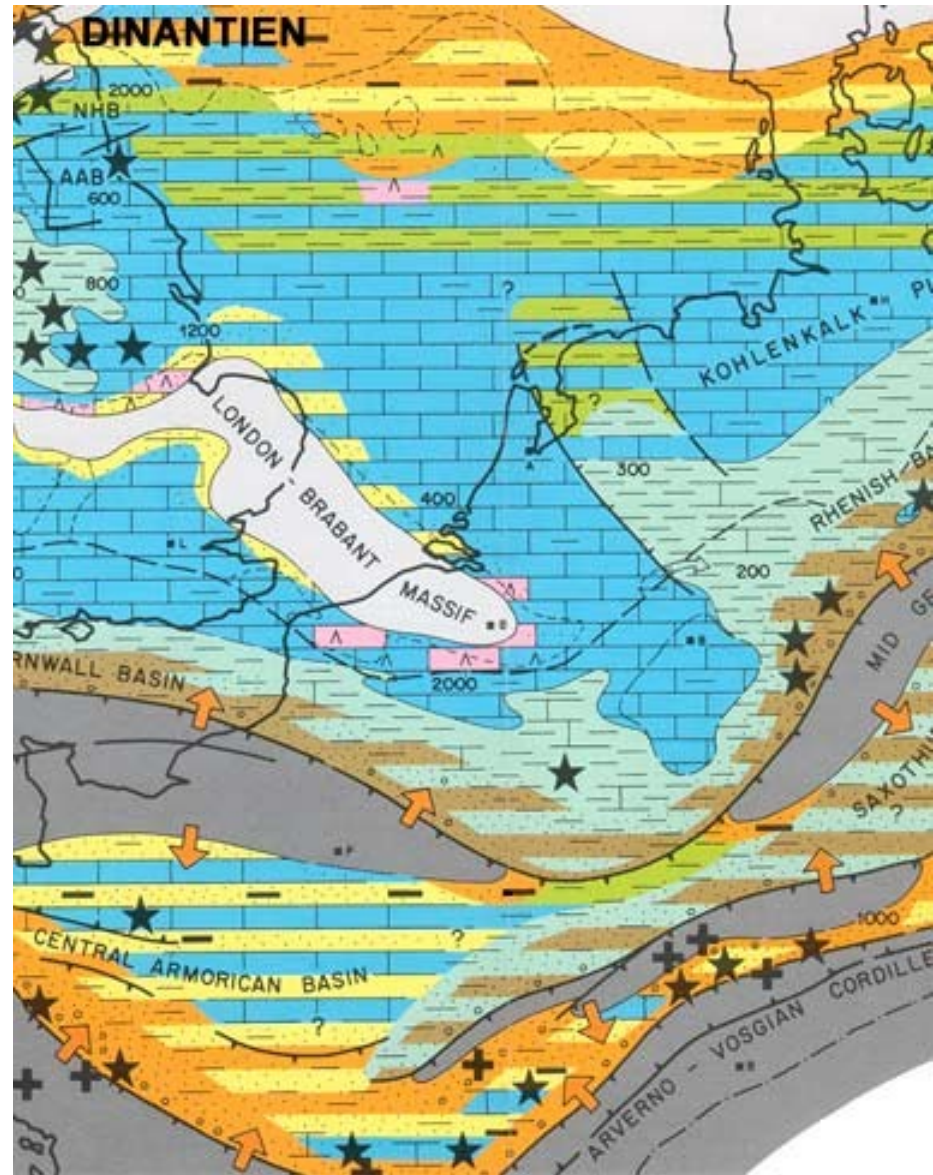
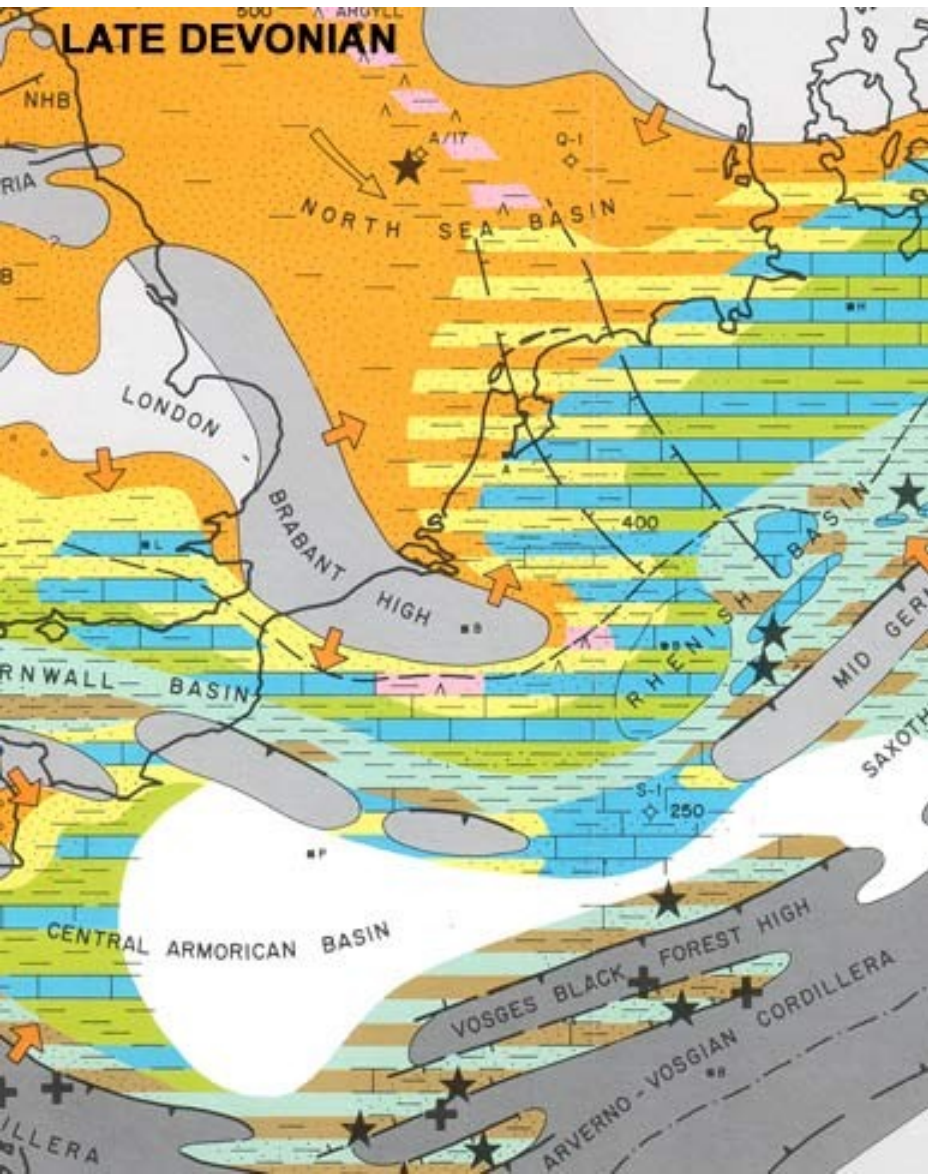
True conifer fossil  
from Permian of  
France.

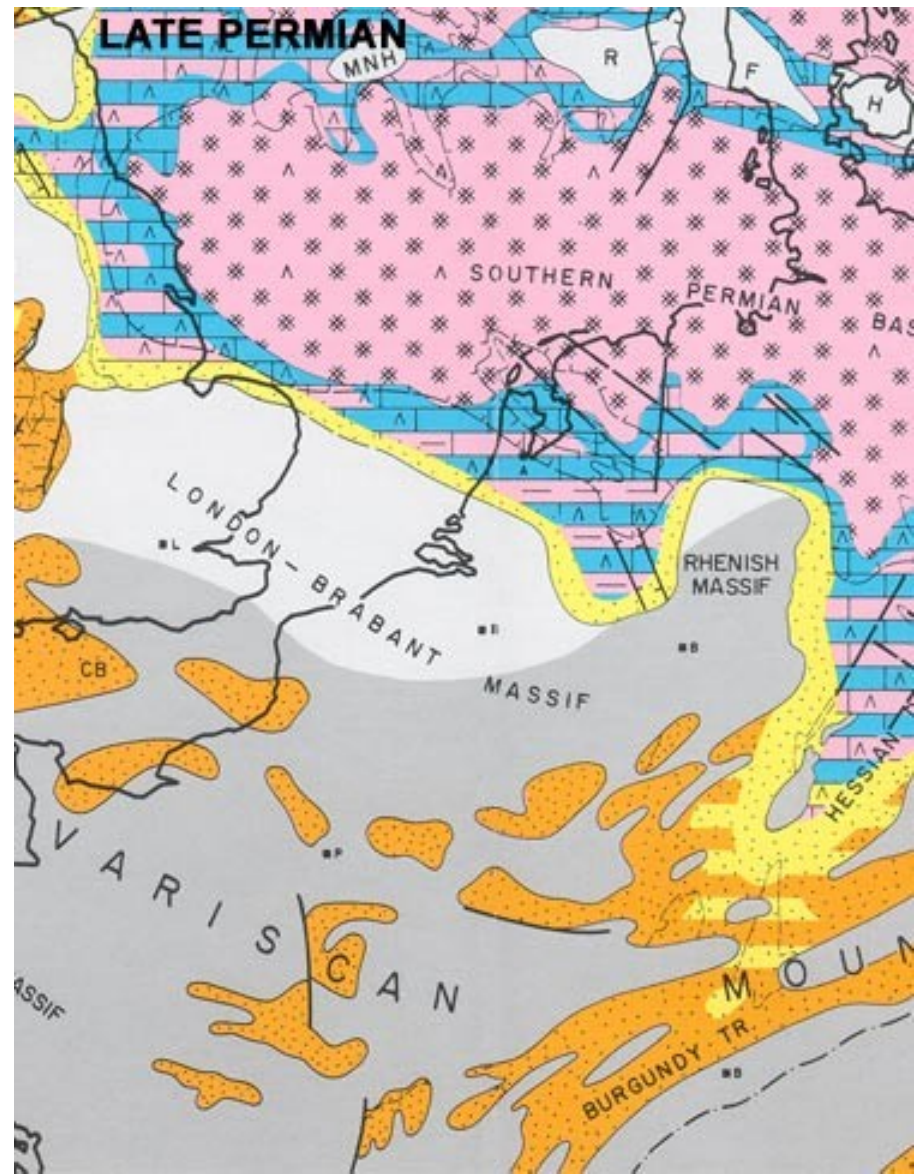
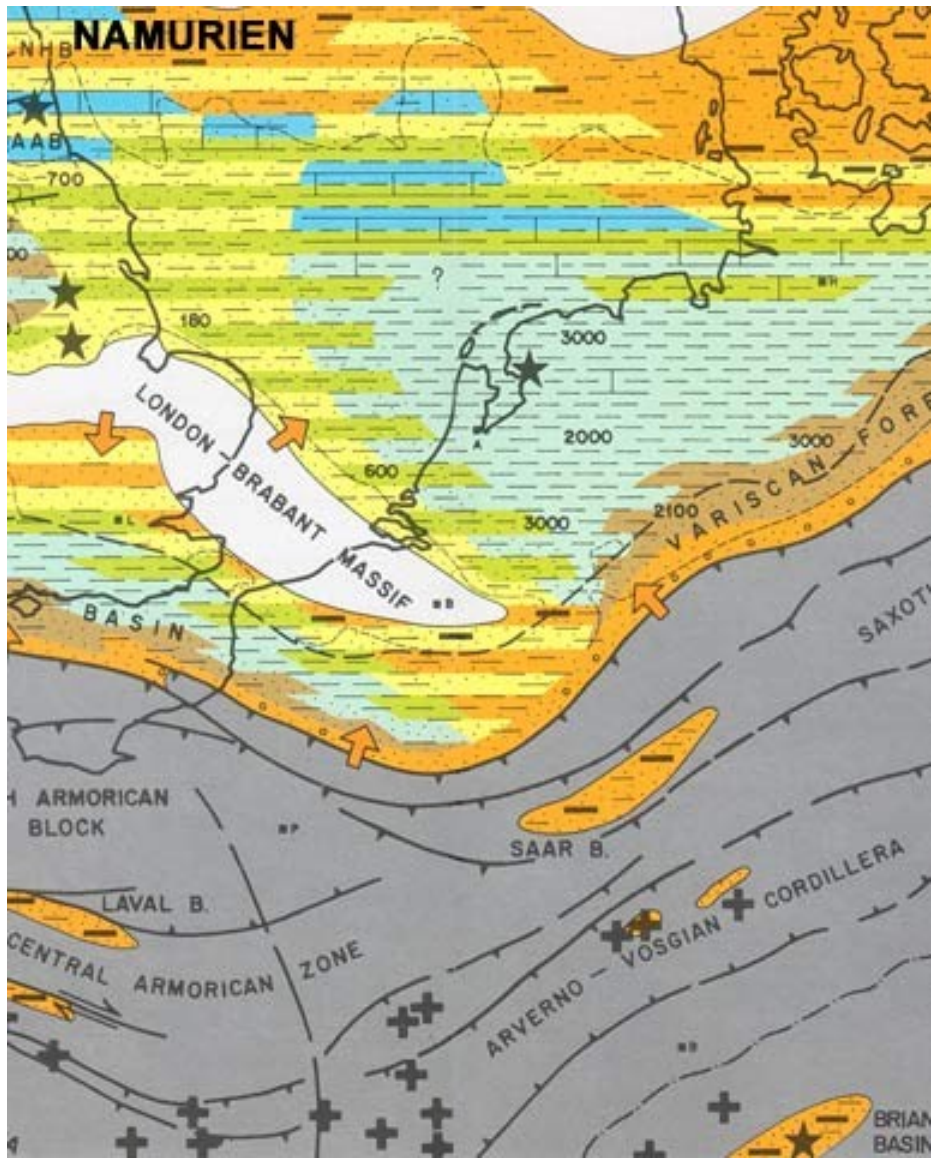
Petrified conifer logs from Late  
Triassic Chinle Fm., Petrified Forest  
National Monument, Arizona

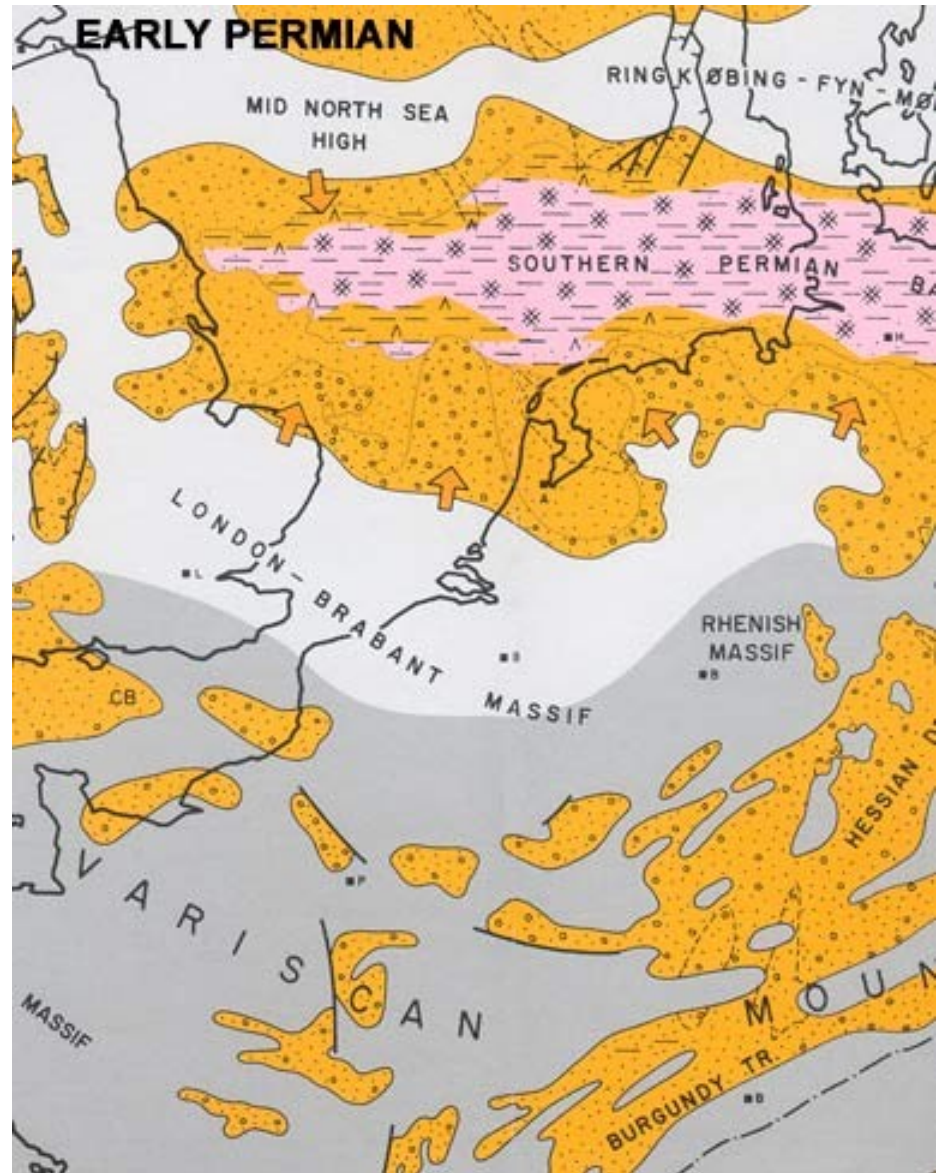
Seeds evolved when the formation of eggs and sperm no longer took place outside of tissue of the parental sporophyte. In seed plants (gymnosperms and angiosperms) the microspores develop into haploid pollen grains and megaspores into female sex cells in ovules while still attached to the plant (sporophyte; for example male and female cones of conifers). Pollen released to wind and larger cones in which ovules are fertilized by pollen.

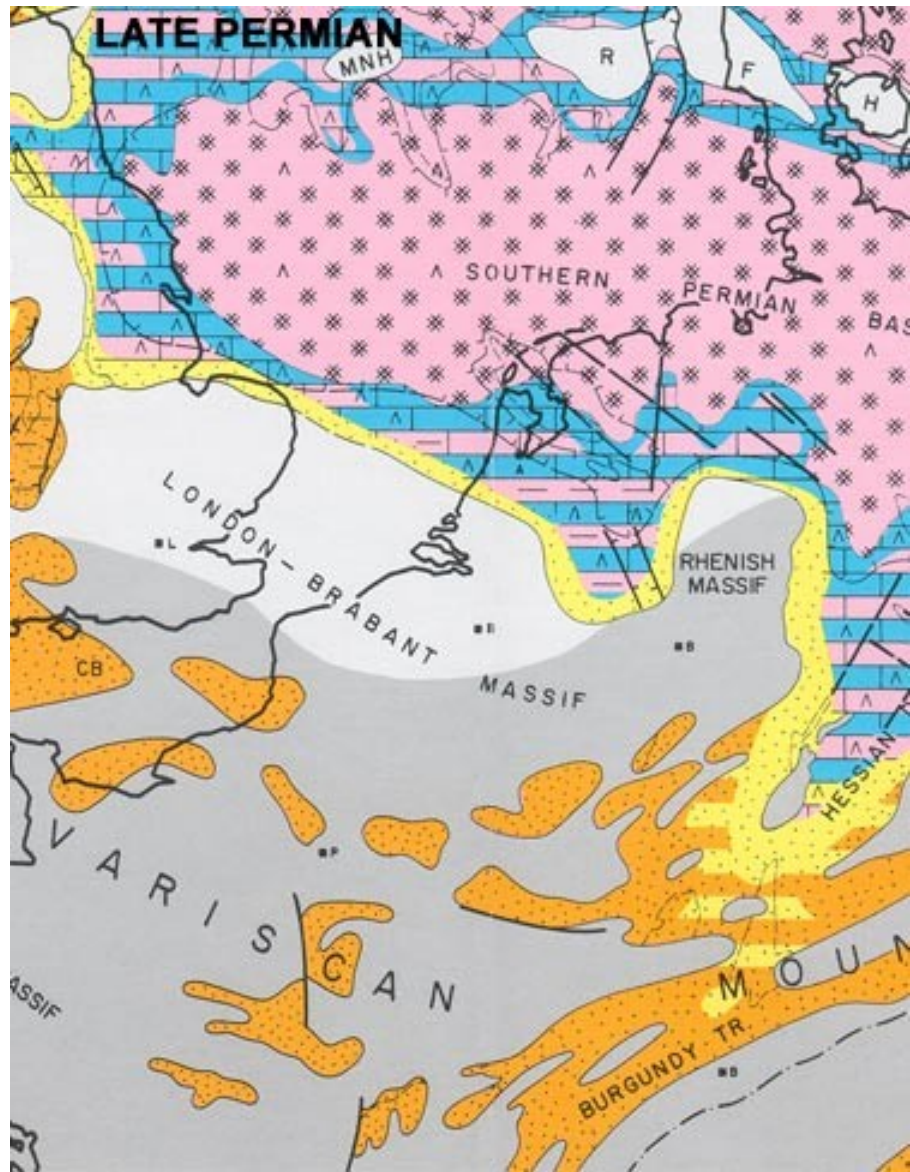




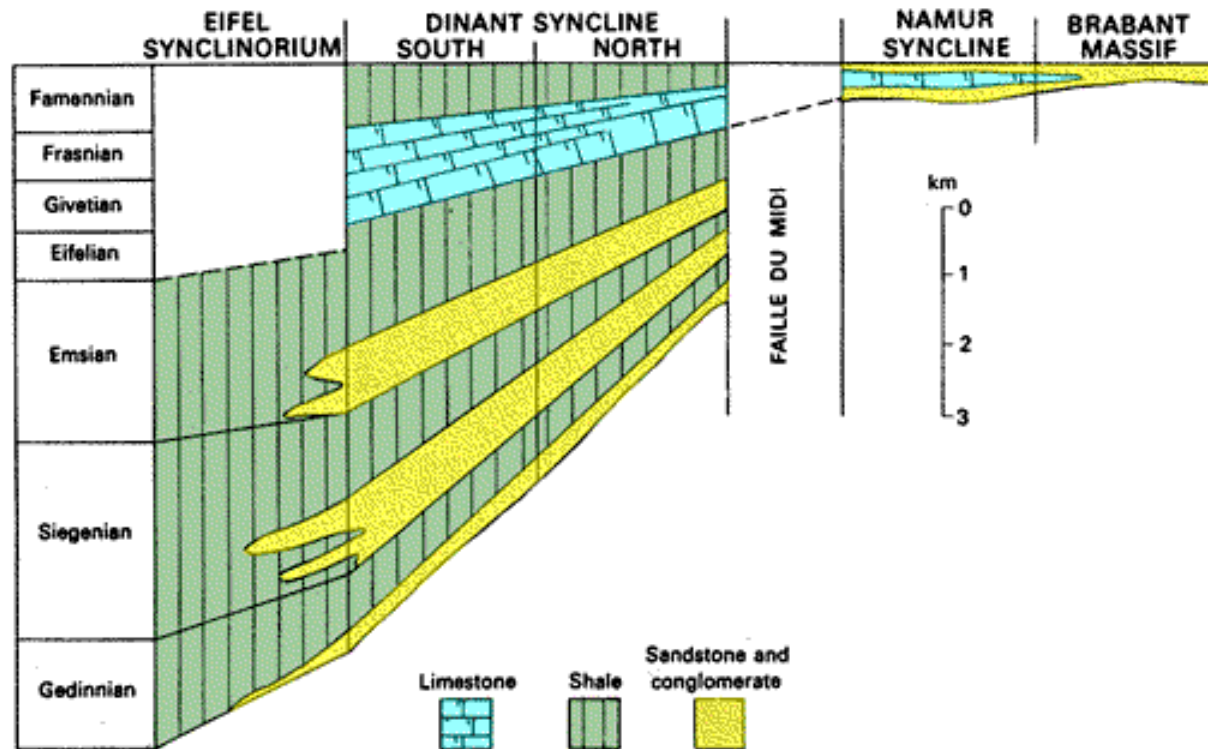












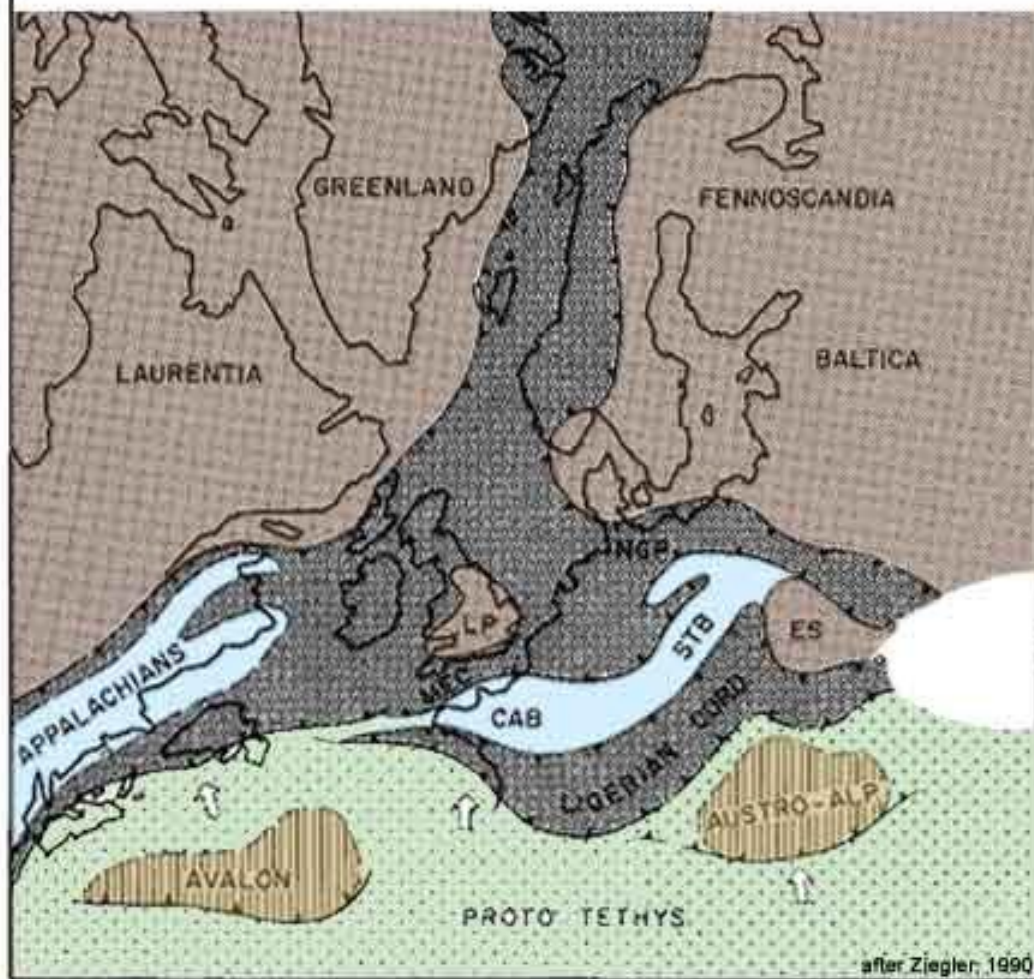
Variations of thickness and facies in the Devonian of the Ardennes (based on Fourmarier)







*The Devonian of the Dinant basin shows a number of features indicative of its sedimentation at the southern border of the Old Red Continent. These are 1) the red colours of the siliciclastics as earliest Devonian sediment, unconformably covering the folded Older Paleozoic, 2) the southward transition of sandy facies into clayey deposits, 3) the thickening of the sediment pile towards the south. The discontinuity in sedimentation towards the Namur basin as on the above scheme, is ascribed to the absence at the surface of a series intermediate between Dinant and Namur basin due to the northward overthrusting of the Dinant basin over the "faille du Midi" or the "faille eifeliennne" ( see [structural relation](#))*



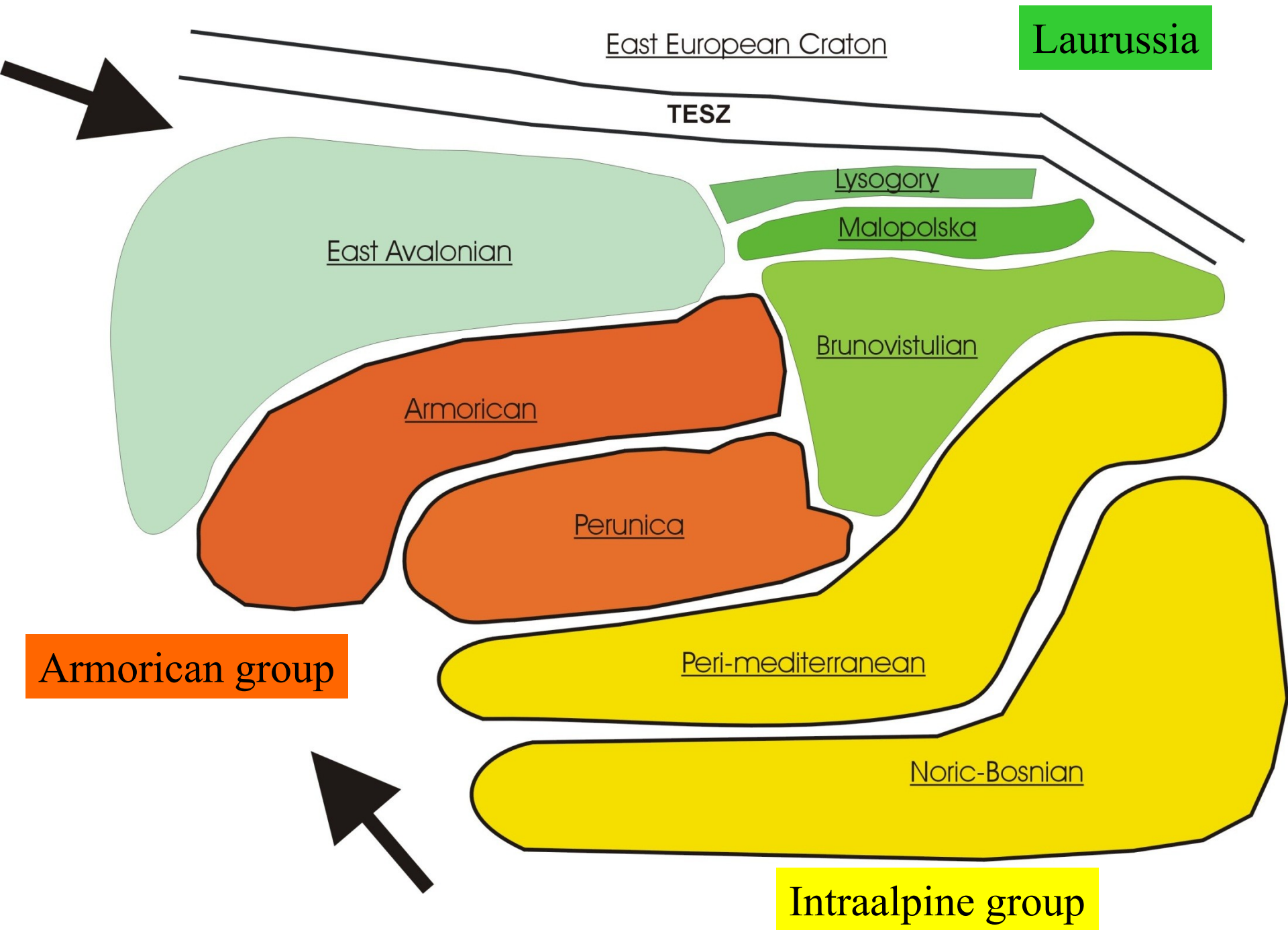
Univ. of Michigan Exhibit Museum of Natural History -- Life Through the Ages Diorama

# LATE CALEDONIAN TECTONIC FRAMEWORK



-  Continental cratons
-  Active fold belts
-  Basins with continuous marine sedimentation across Silurian-Devonian boundary
-  Oceanic domains
-  Micro-continent
-  Deformation fronts of active fold belts

STB - Saxothuringian Basin  
 CAB - Central Armorican Basin  
 LP - London Platform  
 ES - East Silesian Massif



East European Craton

Laurussia

TESZ

Lysogory

Malopolska

East Avalonian

Brunovistulian

Armorican

Perunica

Armorican group

Peri-mediterranean

Noric-Bosnian

Intraalpine group

# Cordilleran Mobile Belt

- The cordillera was a passive continental margin for much of the Proterozoic and Paleozoic
  - collision with an island arc took place in Early Mississippian time - the Antler orogeny
  - sediments eroded from these highlands were deposited to the east

