

POURQUOI DONC LES 'MARBRES
ROUGES' SONT-ILS ROUGES?

Bernard Mamet & Alain Pr at
Université de Bruxelles

.... les calcaires ('marbres')
rouges d'Europe
fascinent les architectes et les
sculpteurs depuis de siècles

- monuments
- oeuvres d'art
- ... et poèmes!

*' Quand sur toi leur scie a grincé,
les tailleurs de pierre ont blessé
quelque Vénus dormant encore,
et la pourpre qui te colore
te vient du sang qu 'elle a versé'*

Alfred de Musset, Poésies Nouvelles

LE PROBLÈME...

ORIGINE
?

```
graph TD; A[ORIGINE ?] --- B[détritique]; A --- C[biologique]; A --- D[chimique];
```

détritique

biologique

chimique

marbres rouges d'Europe : ± rares

recherchés et exploités depuis le Moyen Age

- **griottes** Dévonien, France et Belgique + Viséen d'Espagne
- **Ammonitico Rosso** Jurassique d'Italie...
- **'marbres rouges'** Dévonien Inf. de Slivenec (Prague), Frasnien franco-belge

...

*cathédrales, châteaux, Palais de Louis XIV,
Trianon...*

... d'où vient cette couleur qui rend la pierre si précieuse?

XVIII^e-XIX^e siècles: rouge = fer (Delhaye, 1908)

- le fer est 'détritique' (Reijers, 1985), transporté puis mélangé à la matrice carbonatée lors de la sédimentation....
- sa concentration et son degré d'oxydation sont responsables des teintes ± foncées

UN PEU PLUS TARD (1964-1988)

la relation ferruginisation/paléogéographie/climat est à la mode: les sols délavés équatoriaux (latérites) fournissent de grandes quantités d'oxydes de fer ...

les calcaires rouges



sont donc des indicateurs climatiques???

MAIS

autre énigme mal expliquée?

les calcaires rouges
voisinent souvent
d'autres calcaires verts



nouvelle 'explication'
géologique

degré d'oxygénation?

- les calcaires rouges sont riches en oxygène
 - les calcaires verts sont réducteurs

le tout en milieu peu profond

MAIS

il existe des calcaires silicifiés rouges de milieux profonds, avec un minimum de fer et d'oxygène et ils ne sont pas réduits!...

finalement, le +simple est d'ignorer
 le problème de la coloration

ex du Symposium de l'Ammonitico Rosso (1991)
'abstract book' avec couverture ECARLATE
 traitant de sédimentologie, paléontologie,
 diagenèse pas un seul mot sur le couleur de
 l'Ammonitico **ROSSO!**

observations de base...

la teneur de ces roches est faible
1 à 2 %, souvent < 1 %
(parfois des pointes à 5 % lors de la
stylolitisation)

ce n'est donc pas cette teneur qui est
à l'origine de la teinte

la teneur en oxygène n'est pas
liée à l'oxydation du fer, et n'est
alors pas liée à des milieux
marins peu profonds où cet
oxygène est omniprésent

QUID ?

une alternative possible ...

PhD de Frédéric BOULVAIN ULB/1989
les monticules micritiques du Frasnien
du bassin de Dinant sont des 'récifs' se
formant pdt une régression qui passe
de la z. aphotique, par la z. dysphotique
[càd. rouges] à la z. euphotique

une alternative possible ...

- * la base des bioconstructions est en milieu très calme, sous ZAT, sans grande énergie et passe dans ZAV (oxygénation, énergie) où la croissance se termine
- * pas d'exondation comme dans les récifs actuels

tout se passe donc en
MILIEU MARIN
NORMAL

les marbres rouges se sont donc
formés dans les milieux calmes, sans
apports importants ni en fer, ni en
oxygène

ils sont stratifiés avec des
zonations de teinte rouge à rosée

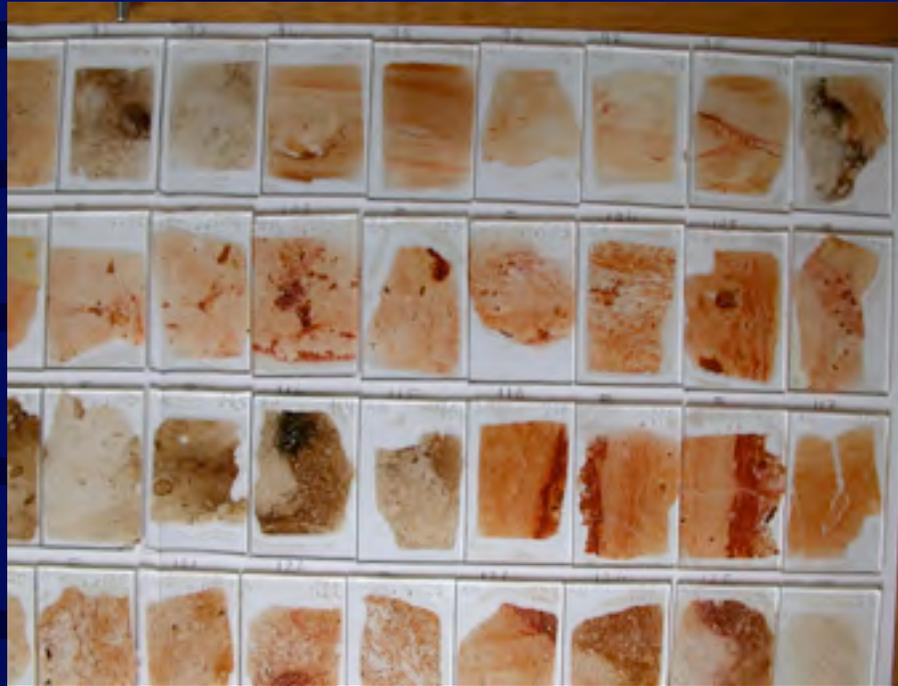
Ammonitico Rosso (Italie)



ar



ar



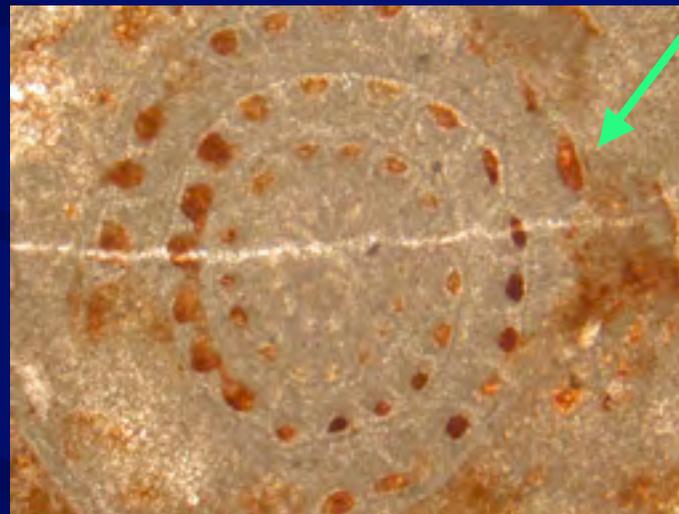
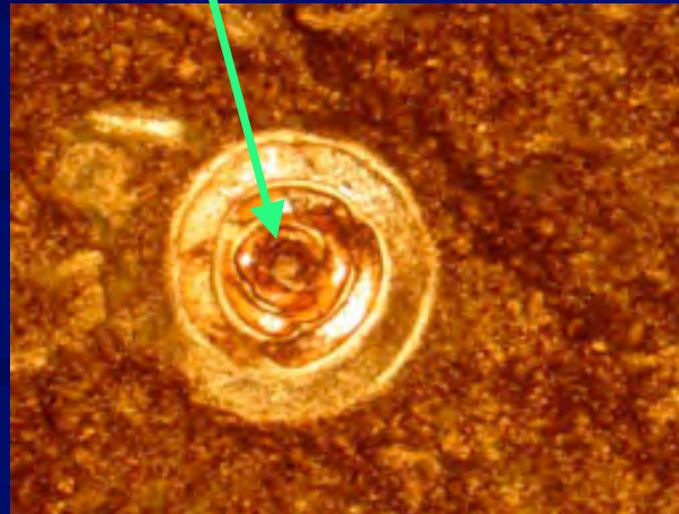
microscopic morphologies of the iron constructions

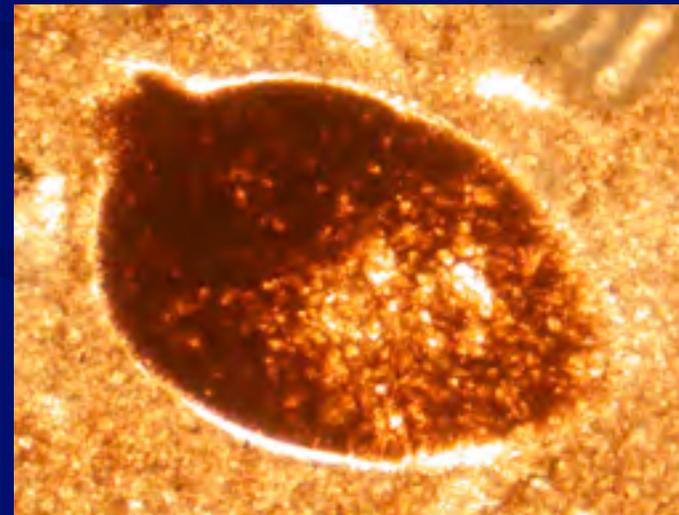
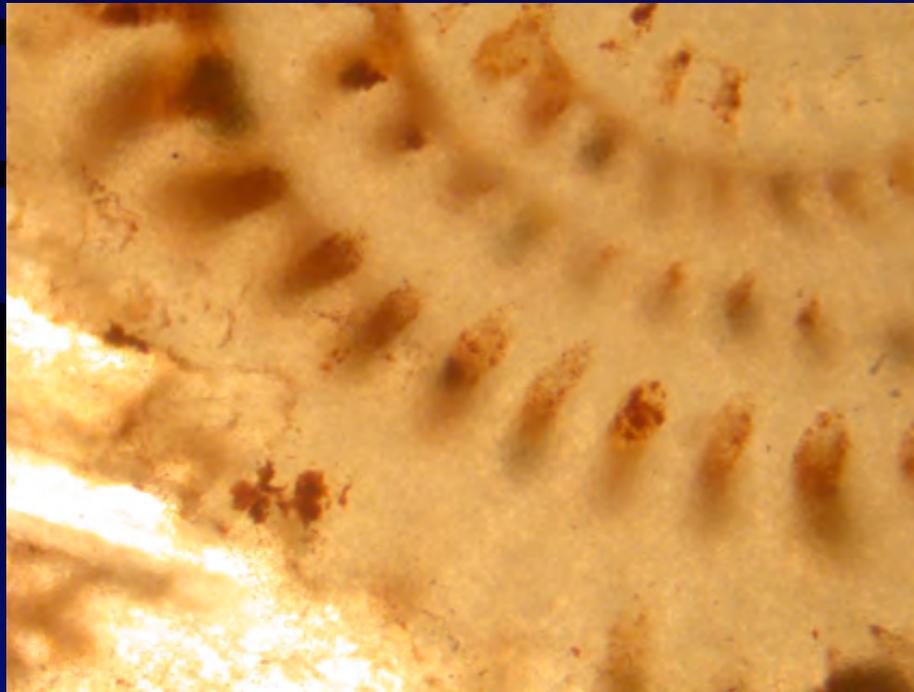
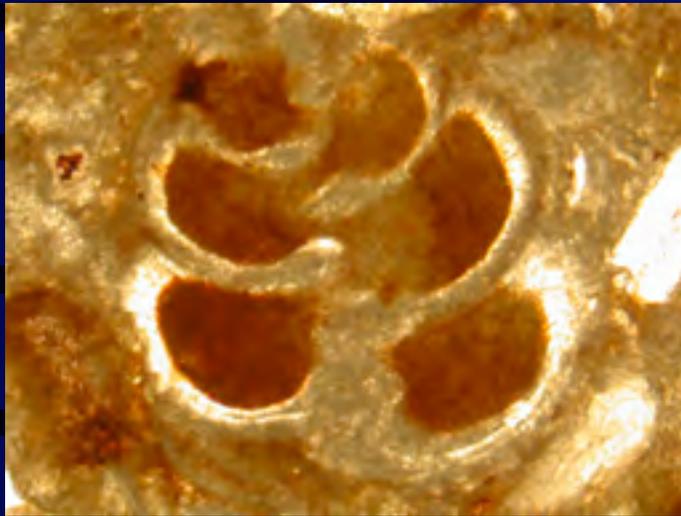
- infillings of original fossil cavities
 - calcite replacement of dissolved echinoderm plates
 - infillings of bioperforations
 - bacterial/fungal filaments
 - ‘hedgehogs’ and ‘erythrospheres’
 - massive hematite coating around microfossils
 - simple or multiple biofilms
 - microstromatolites (exogens ou endogens, crenulated or not...)
 - oncolites
- *non exhaustive*

microscopic morphologies of the iron constructions

1. intraparticulate fillings

- bryozoan zoecia
- foraminiferal chambers
(*Tetrataxis*, *Neoarchaediscus*, *Fusulina*...)



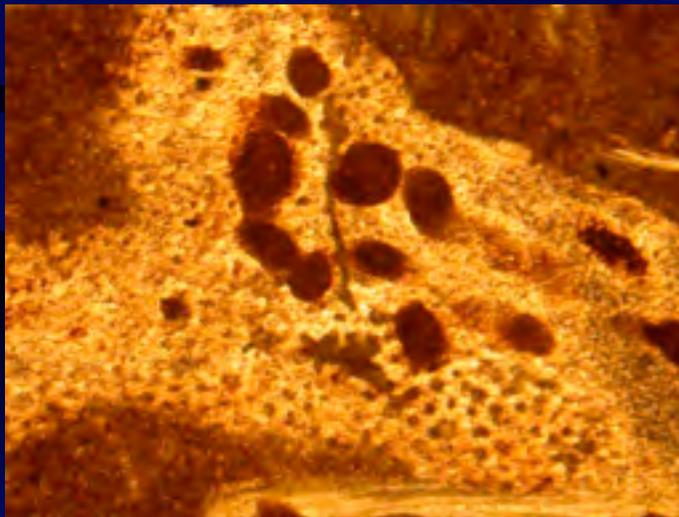
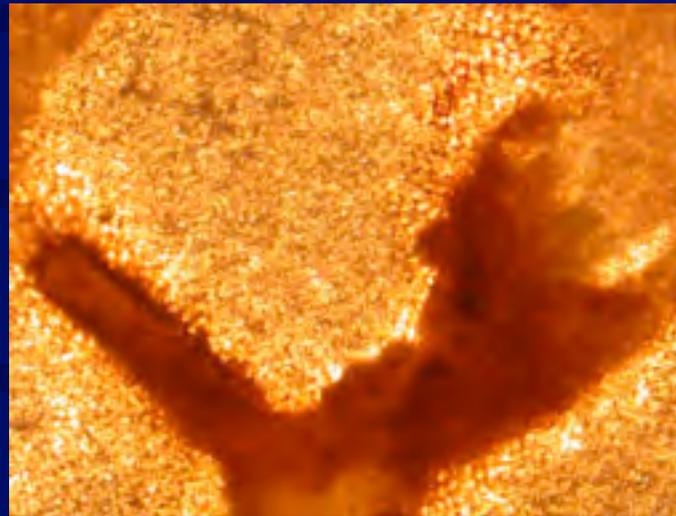
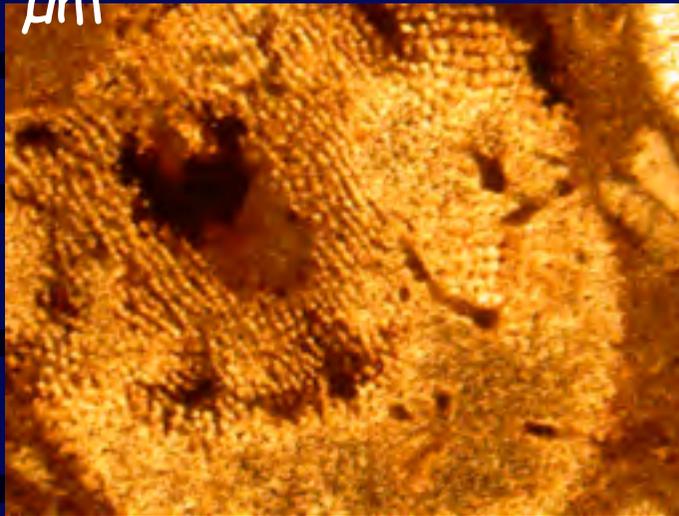


microscopic morphologies of the iron constructions

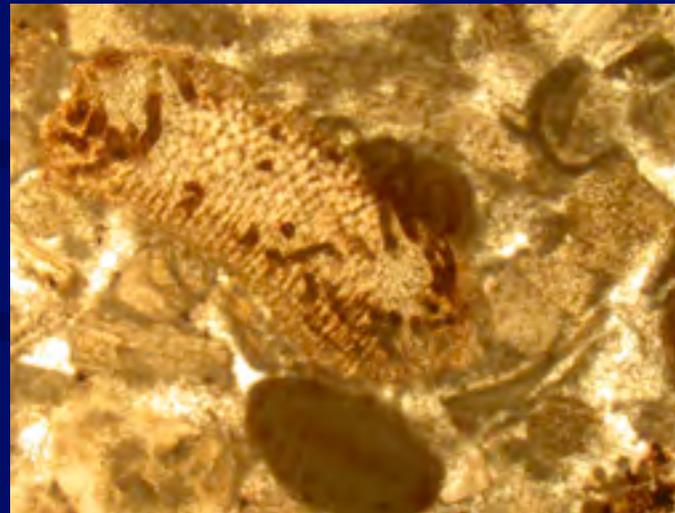
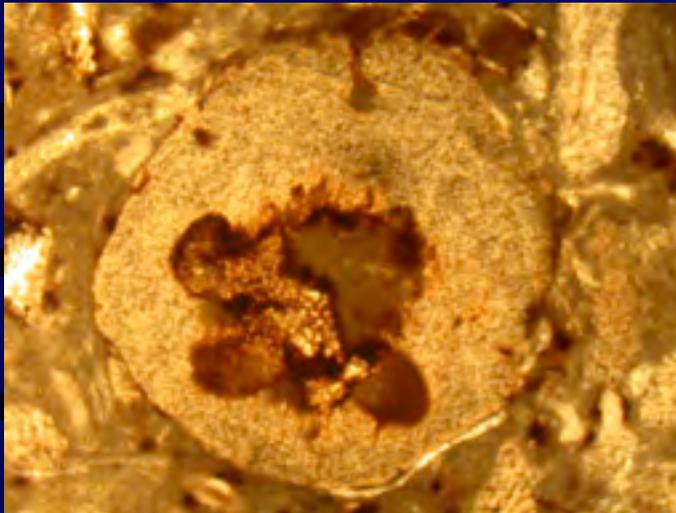
2. skeletal dissolution of echinoderms and progressive replacement of the former calcite lattice

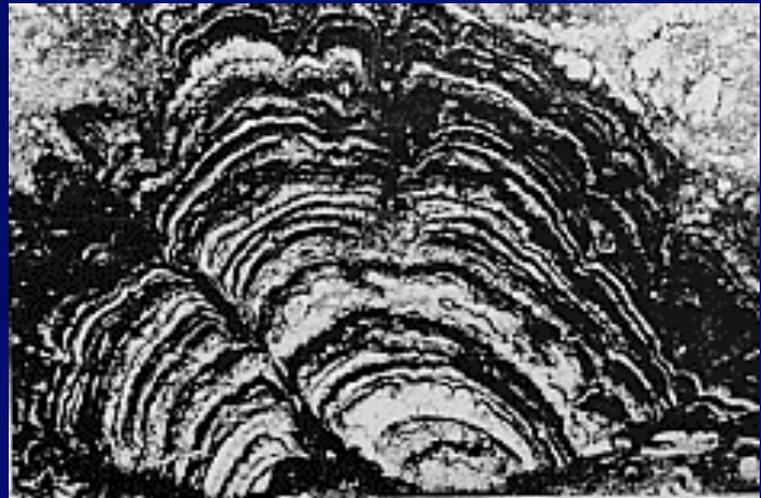
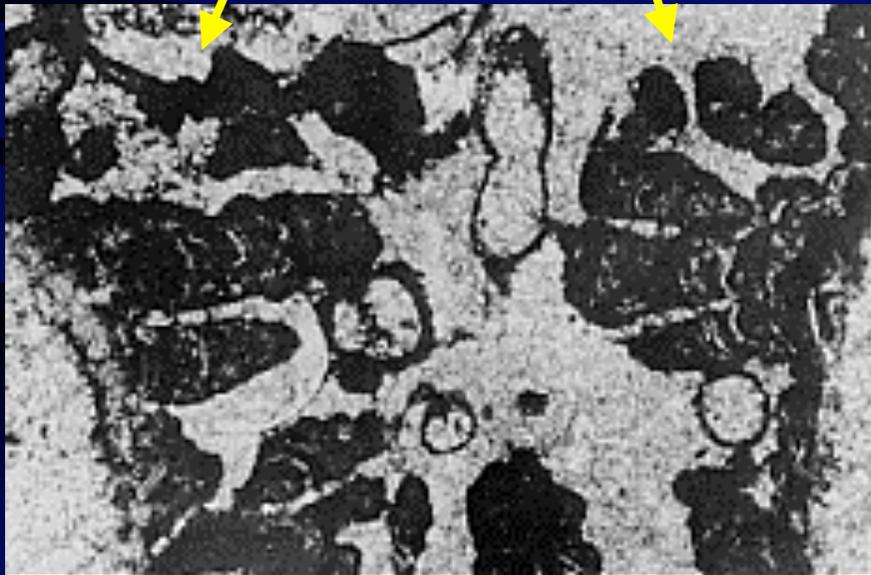
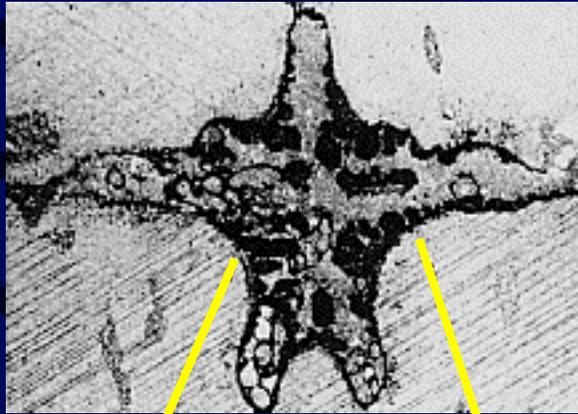
100

μm



100 μm



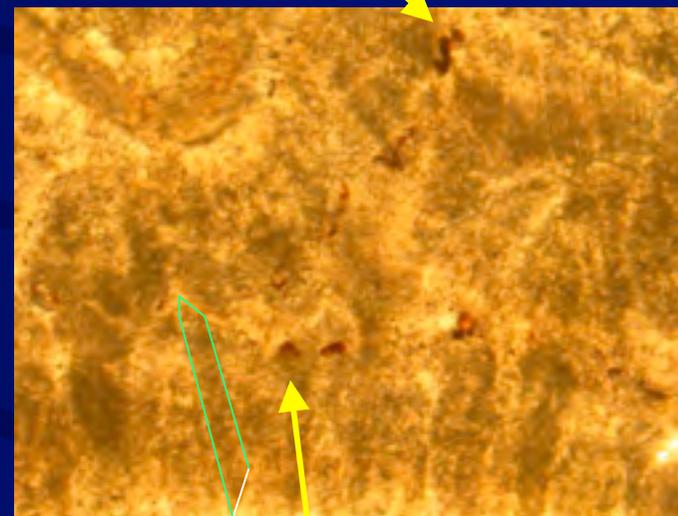


10
 μm

20 μm

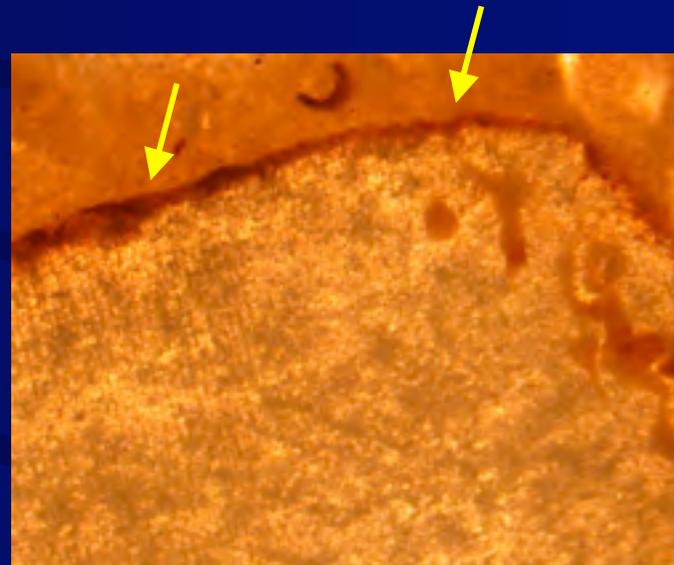
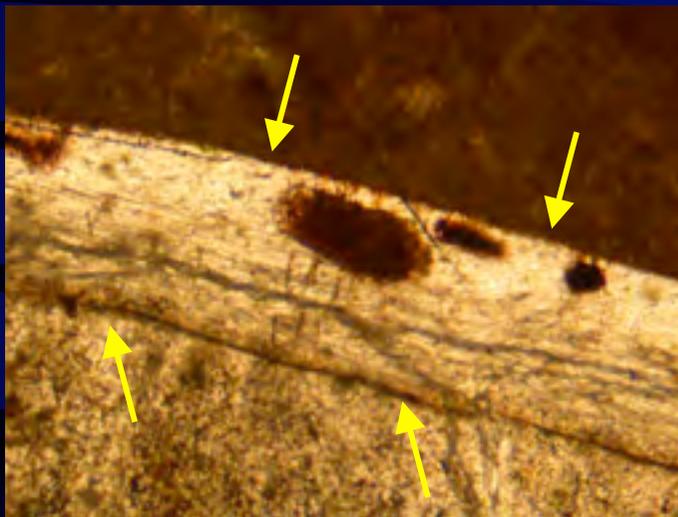
microscopic morphologies of the iron constructions

3. intergranular coatings of former aragonite crystals



microscopic morphologies of the iron constructions

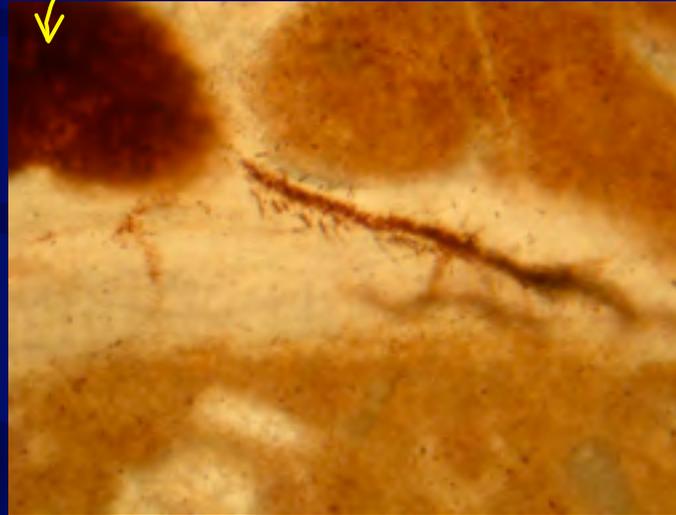
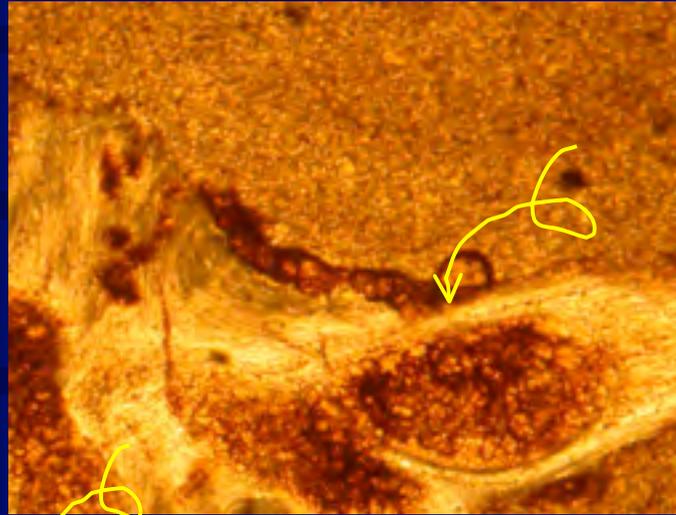
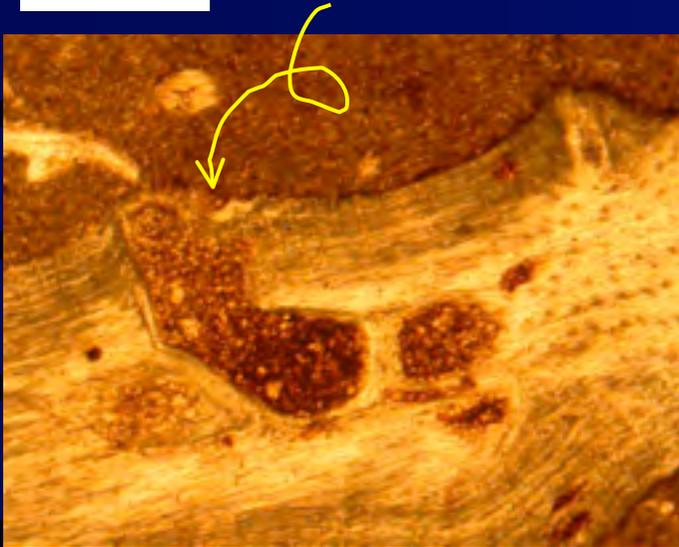
4. single or symmetrical biofilms on various substrates (ostracods, brachiopods, bryozoans...)

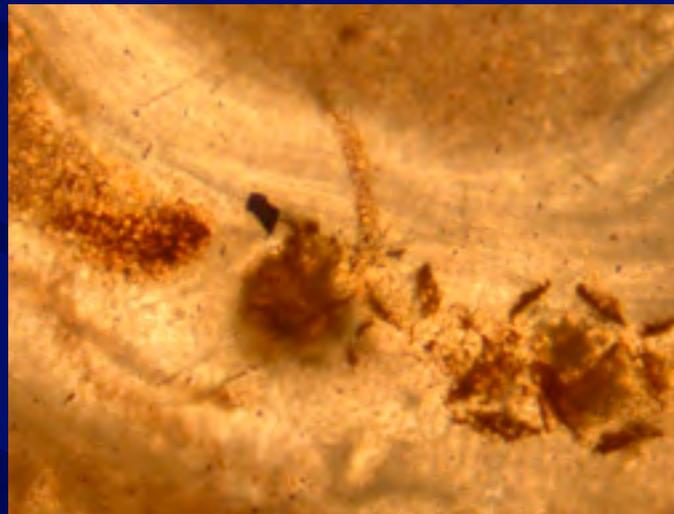
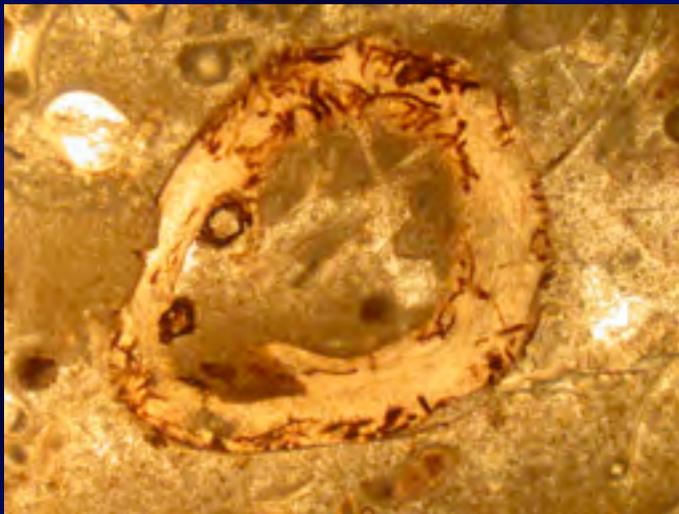


microscopic morphologies of the iron constructions

5. filling of endolithic perforations
(due to algae, sponges, bacteria, fungi, etc.).
common recrystallization of micrite filling into
'rounded' microspar

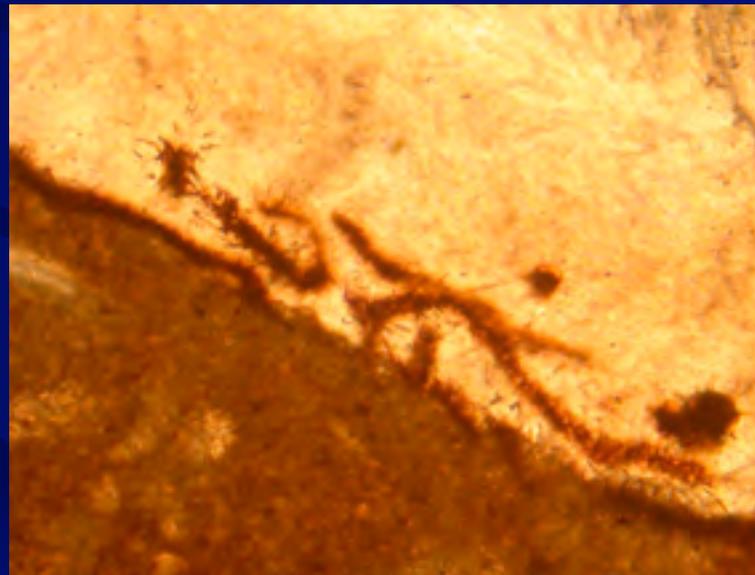
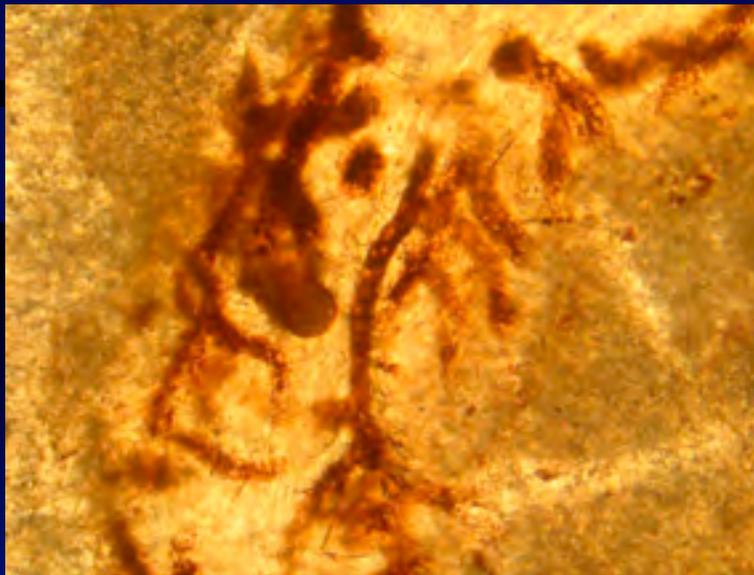
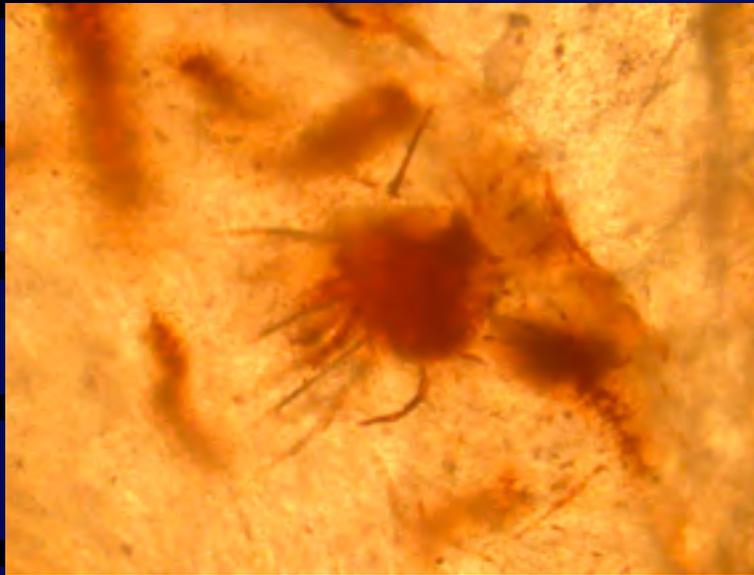
100 μm





microscopic morphologies of the iron constructions

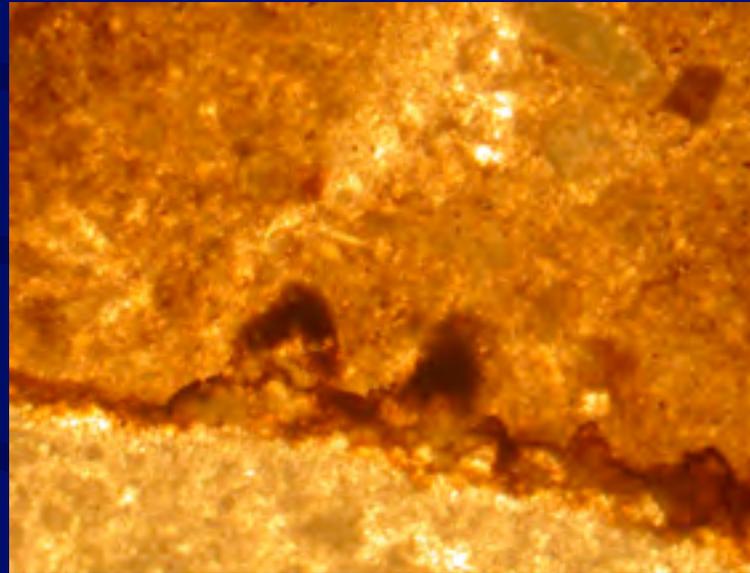
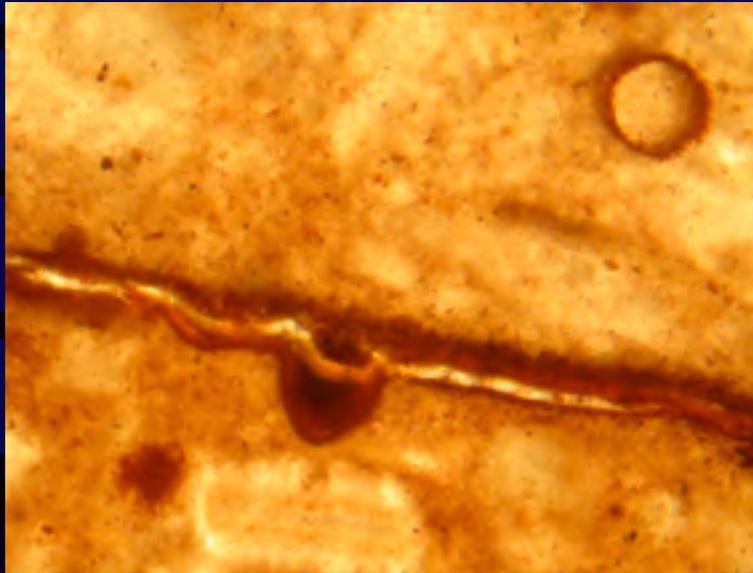
6-7. specific megascopic morphologies derived from 5 'HEDGEHOG' perforations (6) surrounded by hair-like single, dichotomic, or curved bacterial filaments, and more complex large 'CACTUS'-like (7) perforations



10
um

microscopic morphologies of the iron constructions

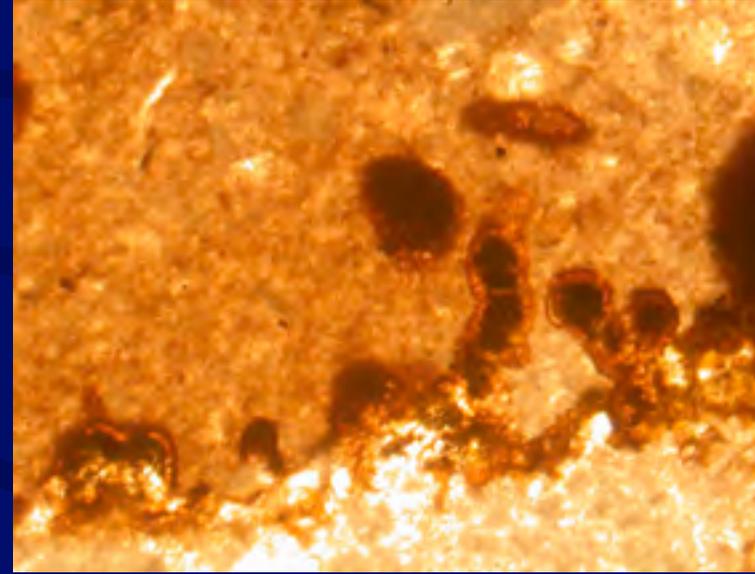
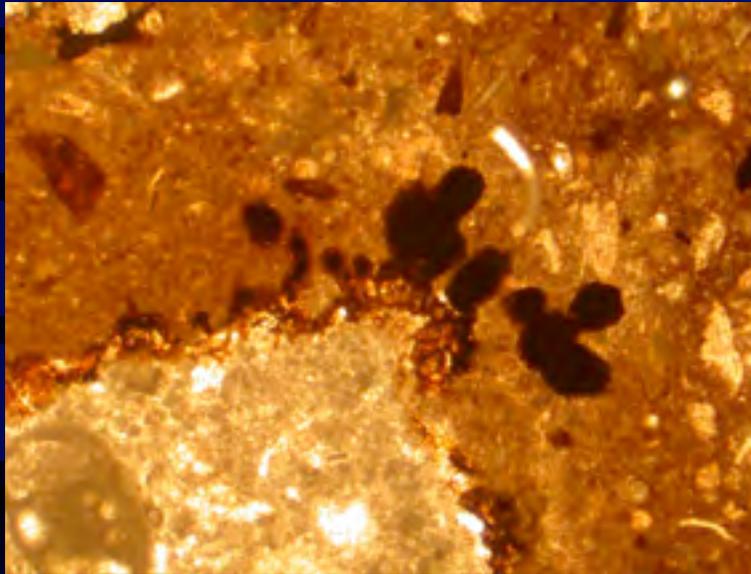
8-9. blisters, multiple blisters and crusts



10 μm

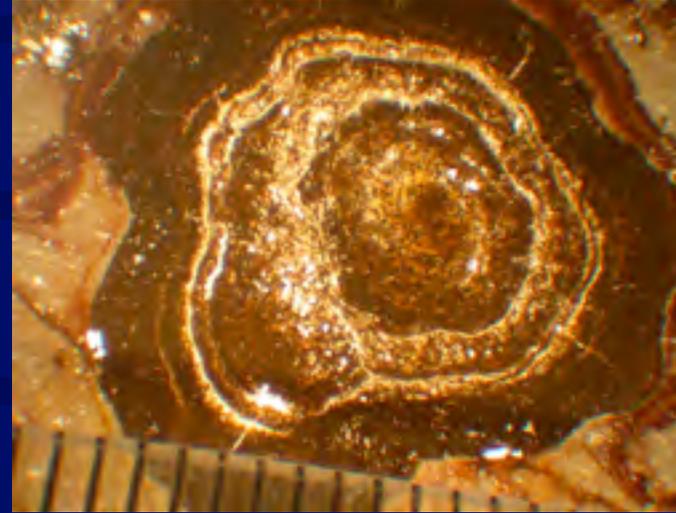
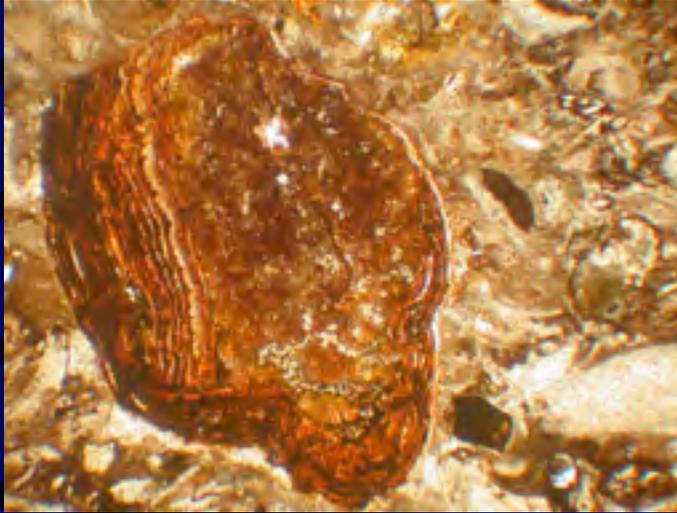
microscopic morphologies of the iron constructions

10. incipient microstromatolites

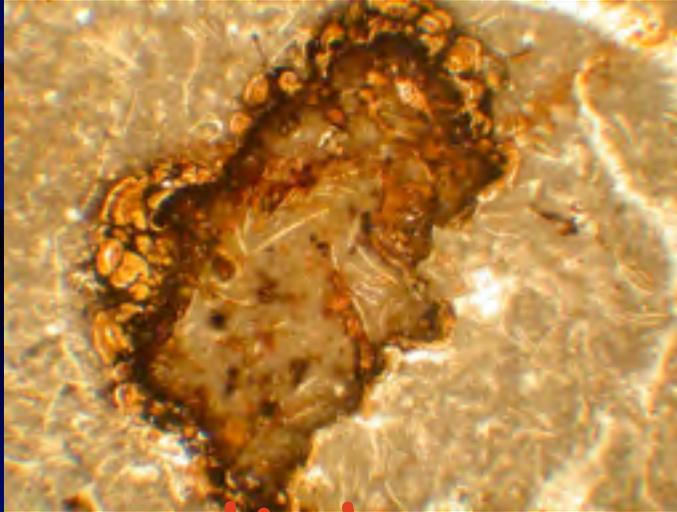


50 μm

ar



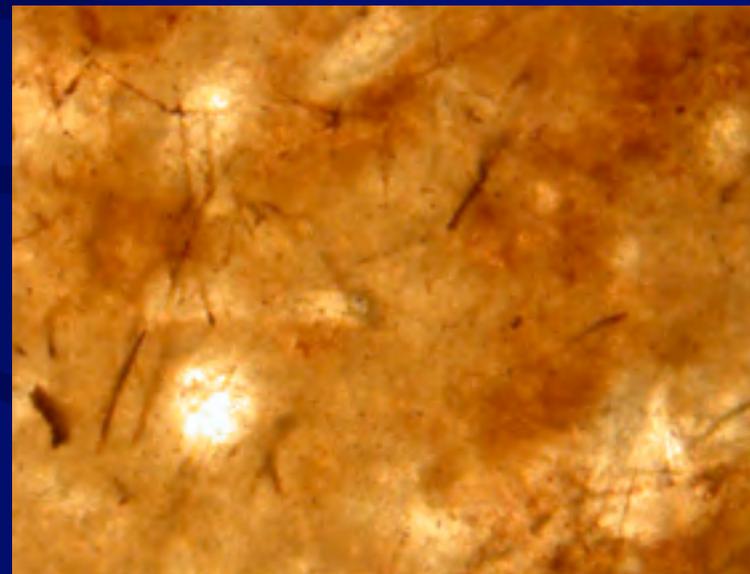
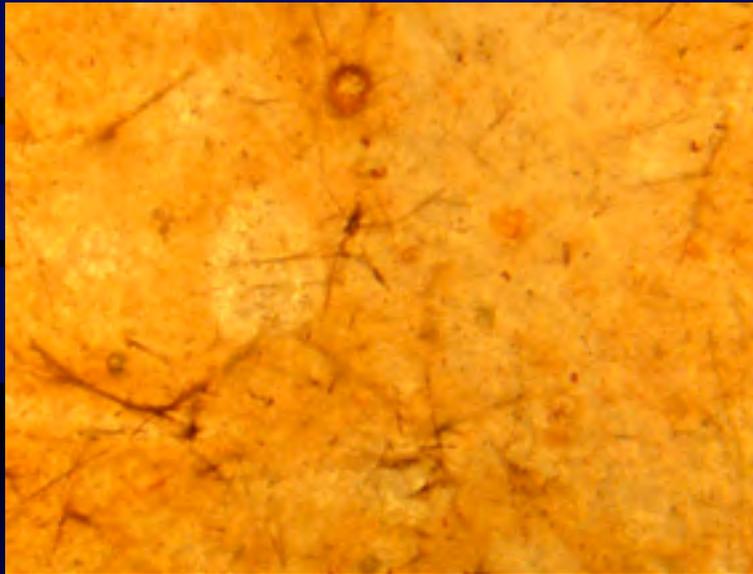
1mm



oncolithes- μ stromatolithes

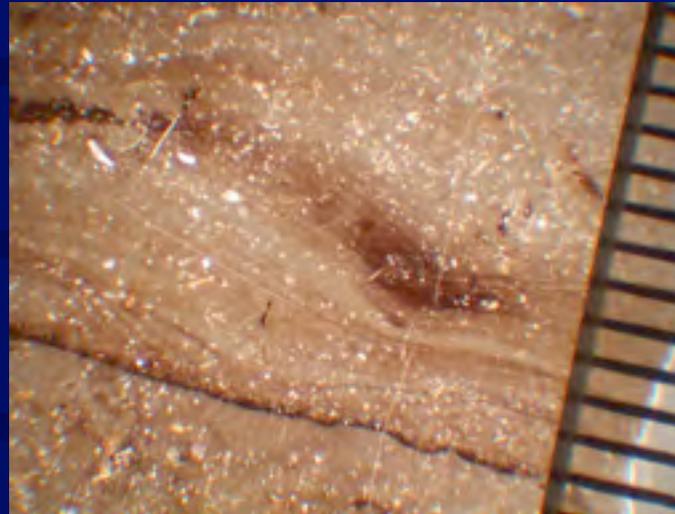
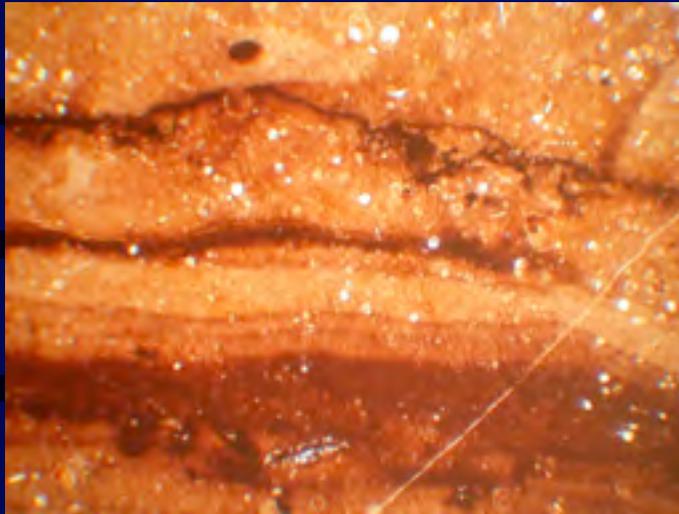
microscopic morphologies of the iron constructions

11. hair-like single, dichotomic, curved individual filaments in matrix

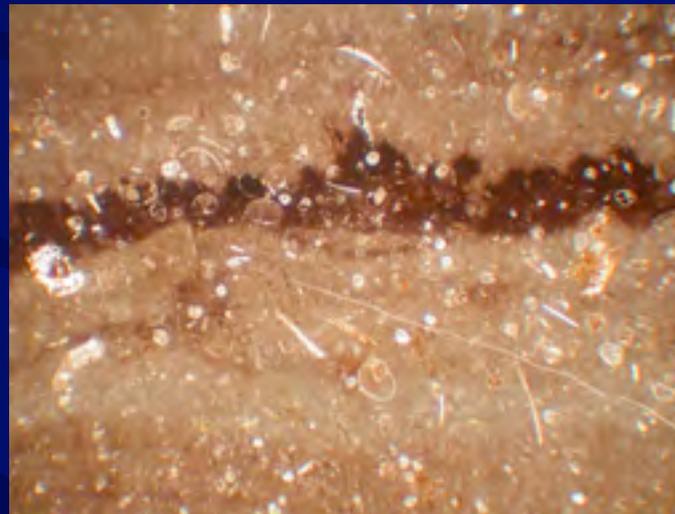
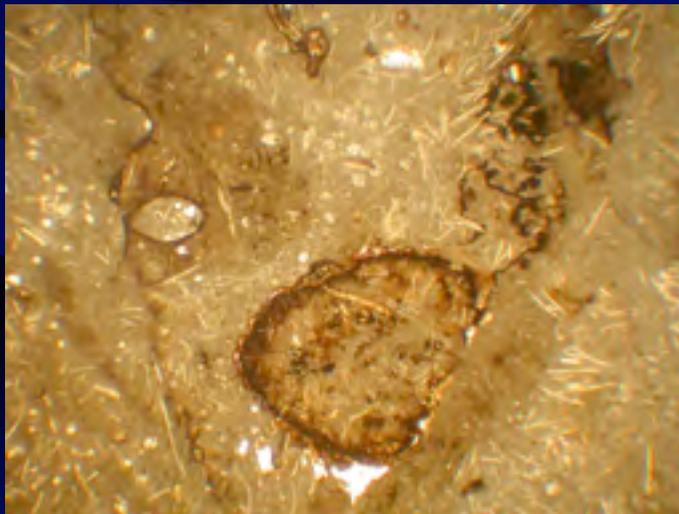


20 μm

ar

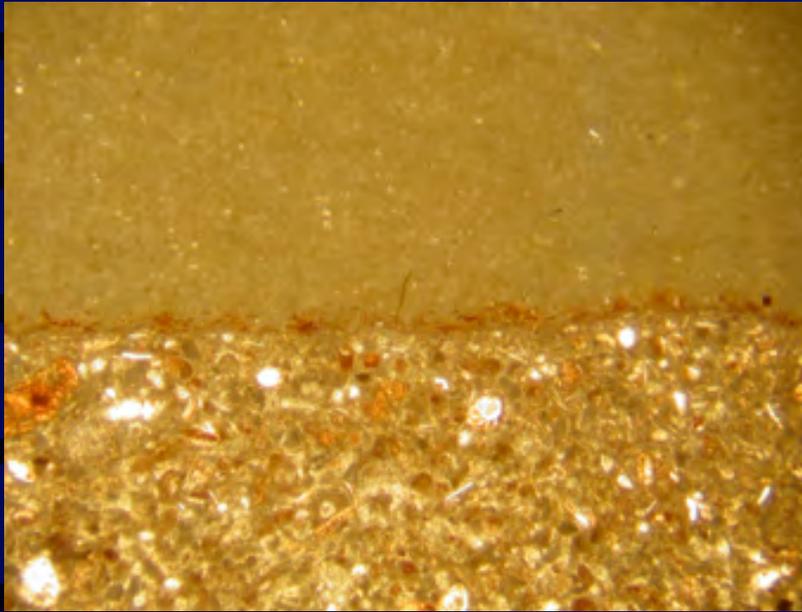


mm

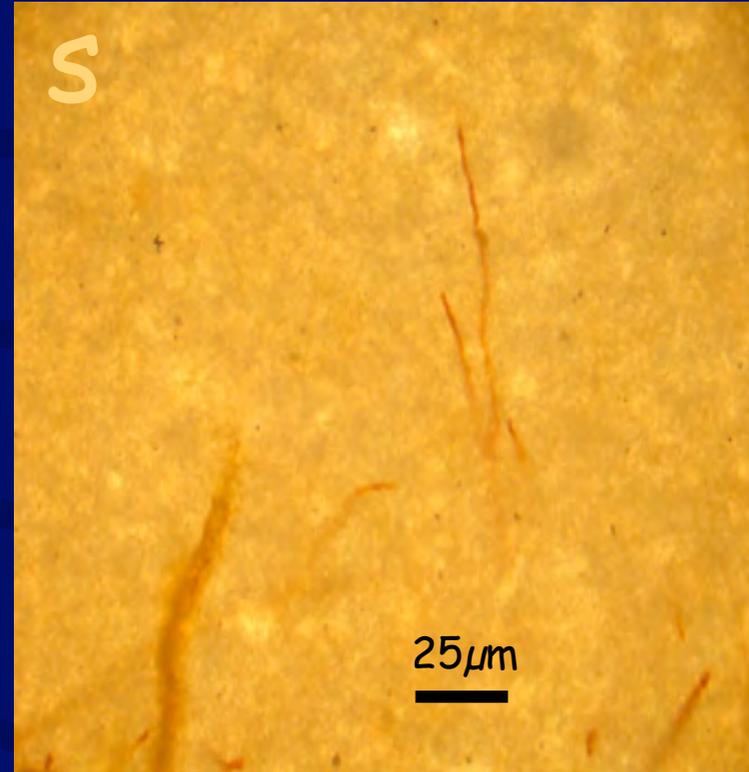


hardgrounds Fe et Mn

hardground



S

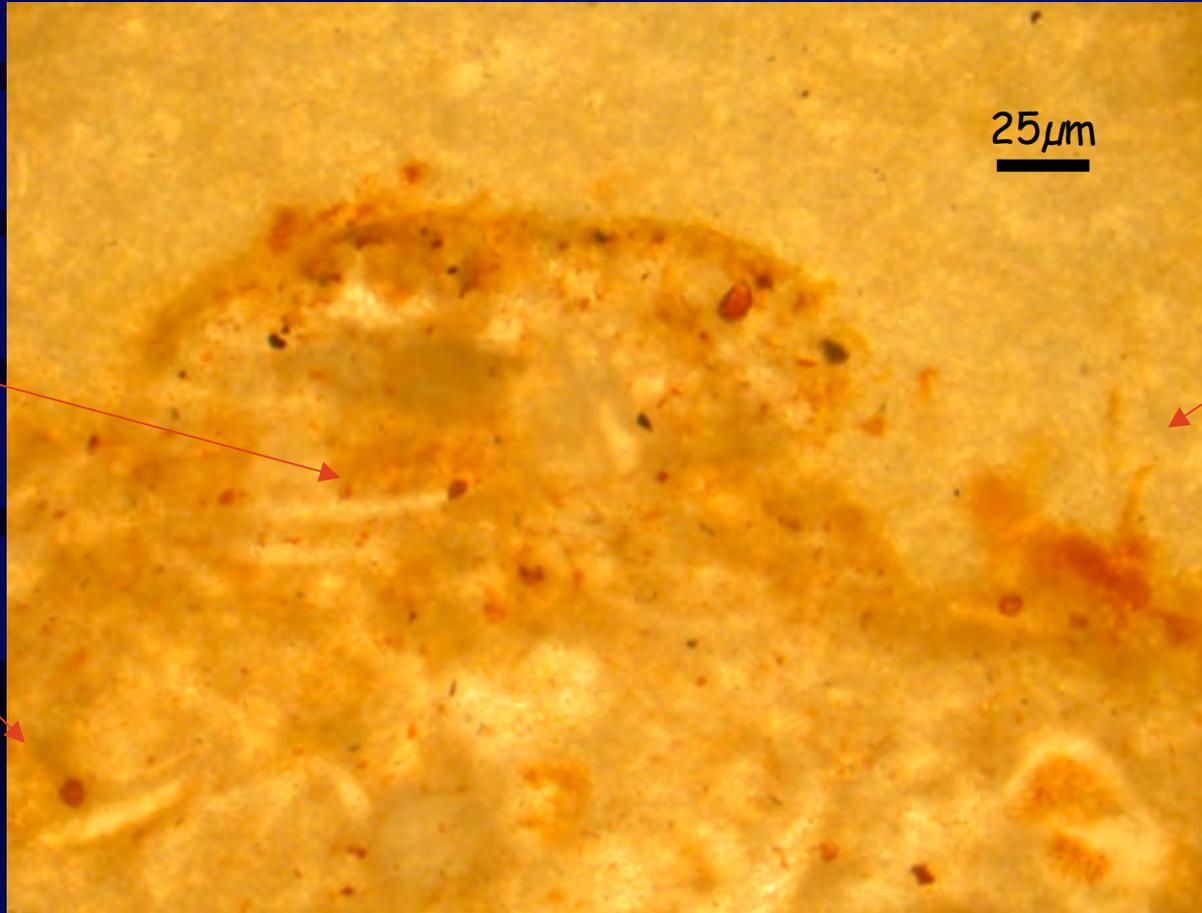


25 μ m

et filaments
dichotomiques

ar

hardgrounds

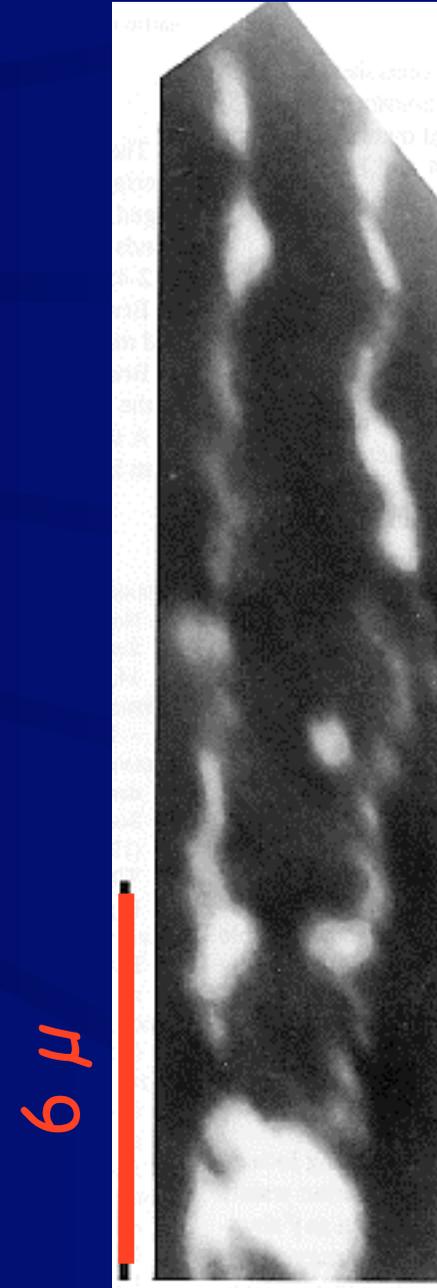
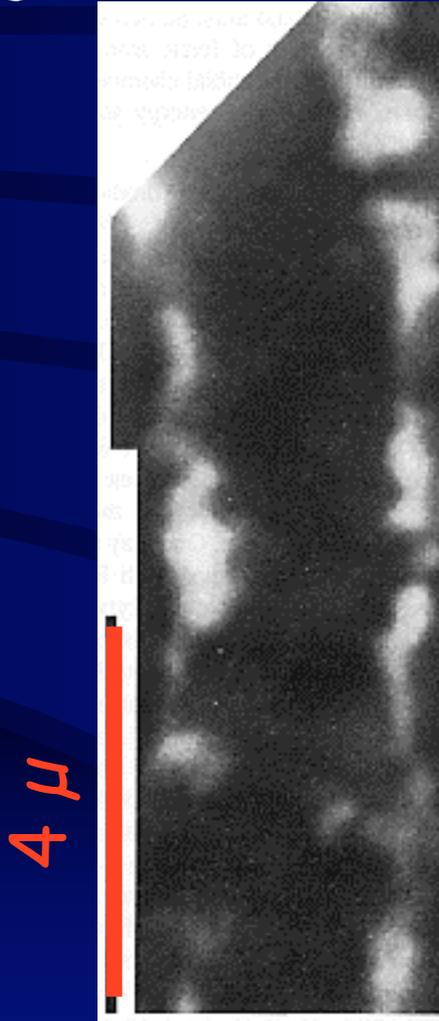
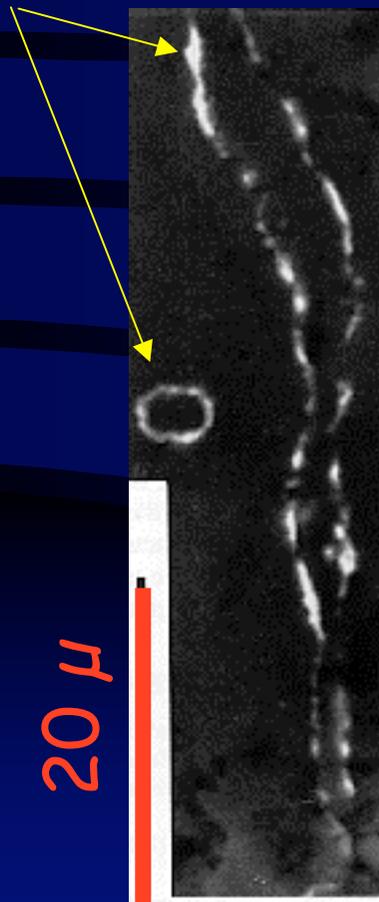


COCC.

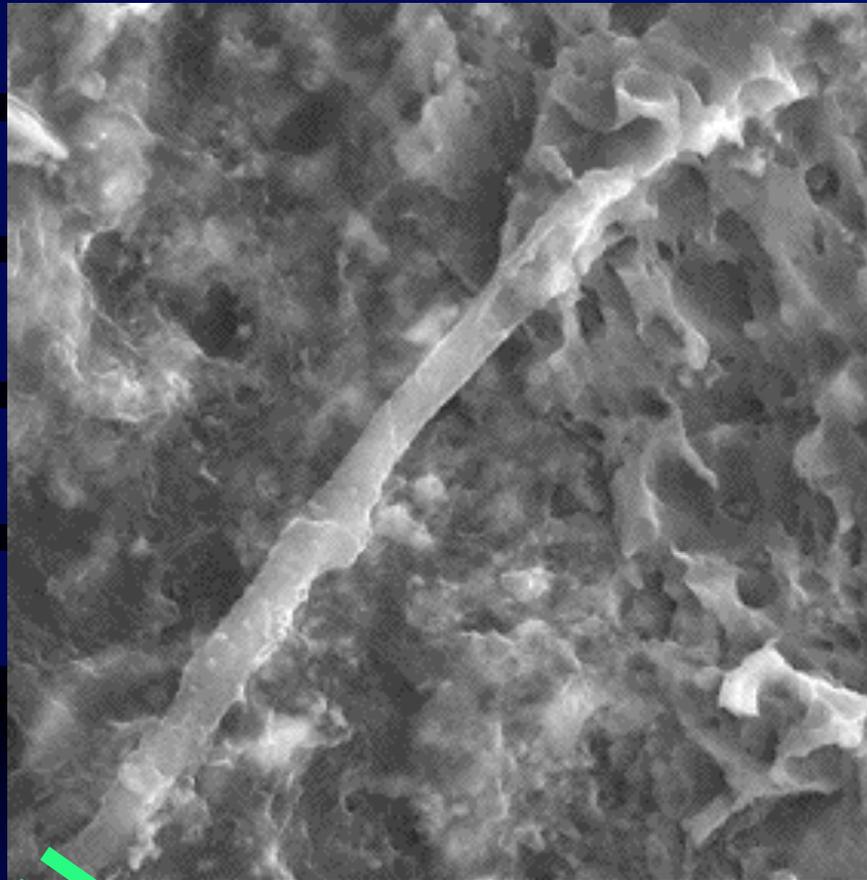
fil.

ar

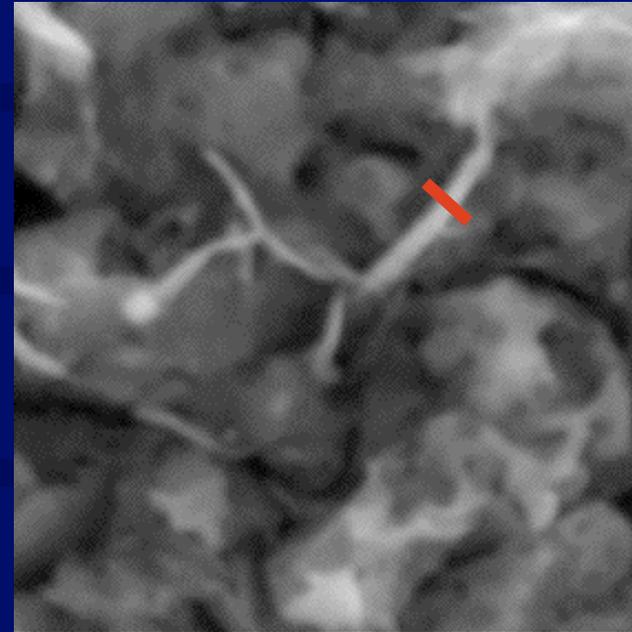
Lower Devonian Red Slivenec Limestone Czech Republic



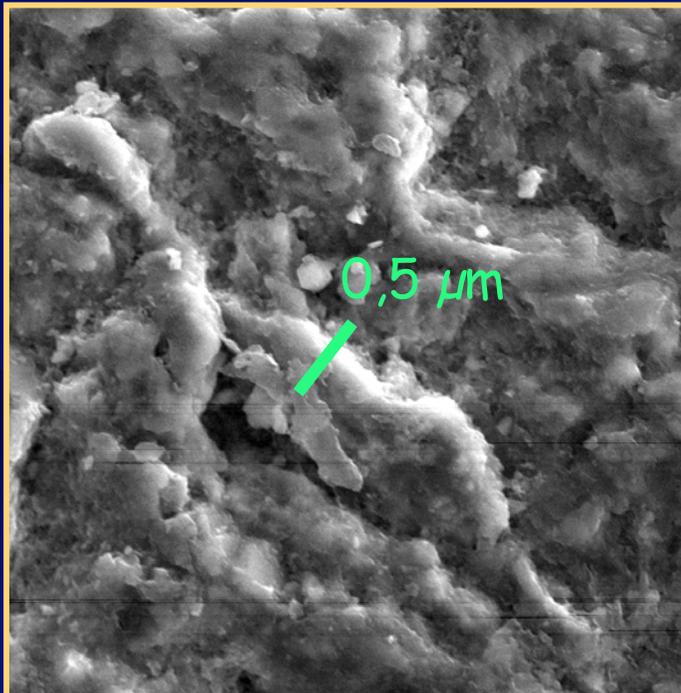
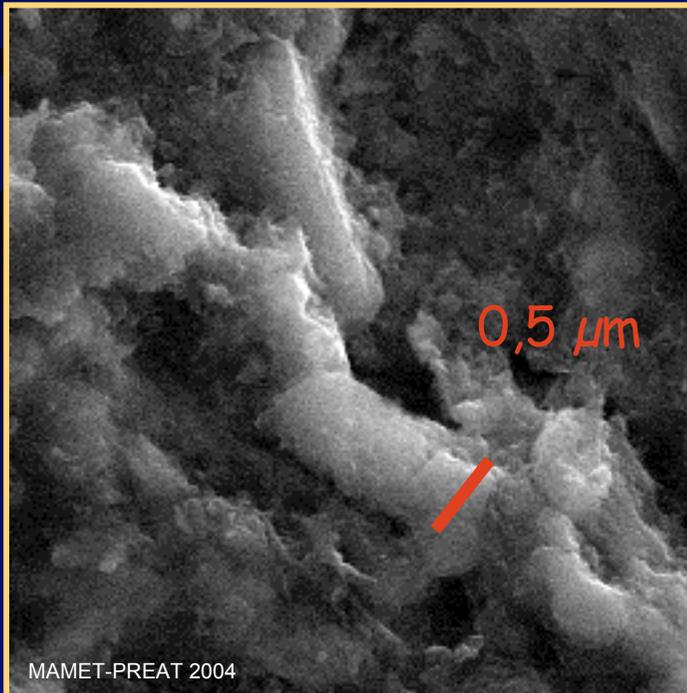
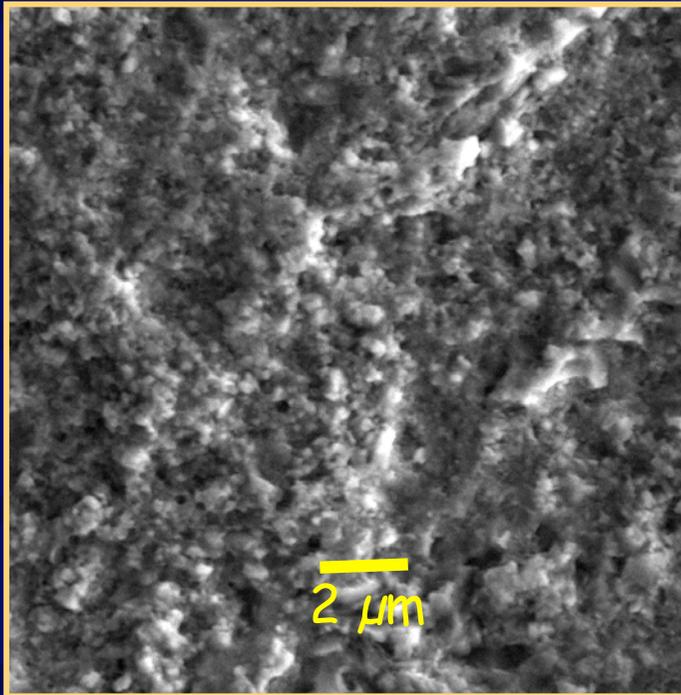
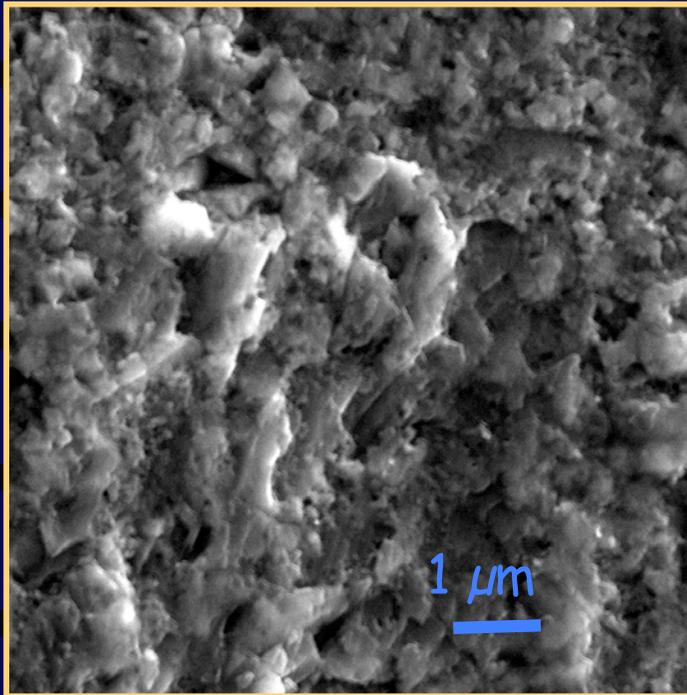
Lower Carboniferous Picos de Europa, Spain



1 μ



0,5 μ

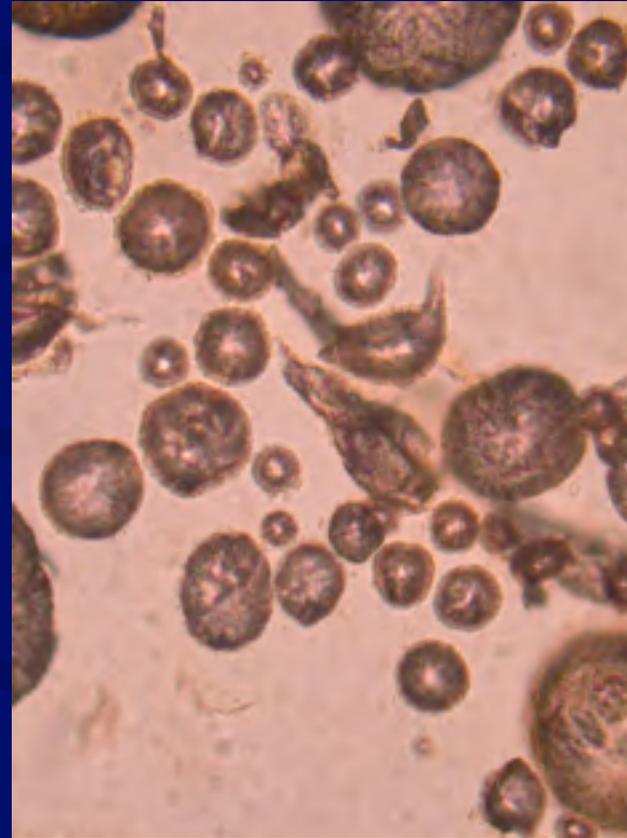
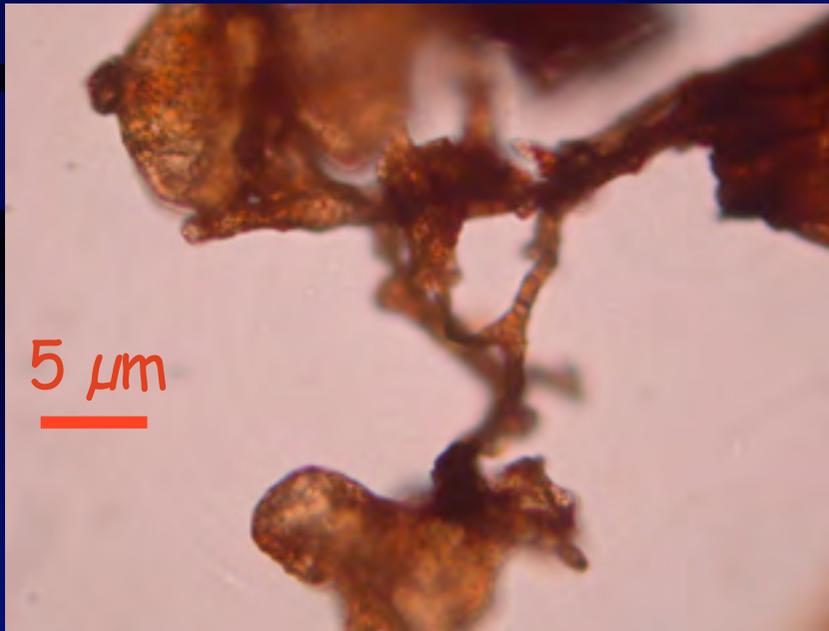
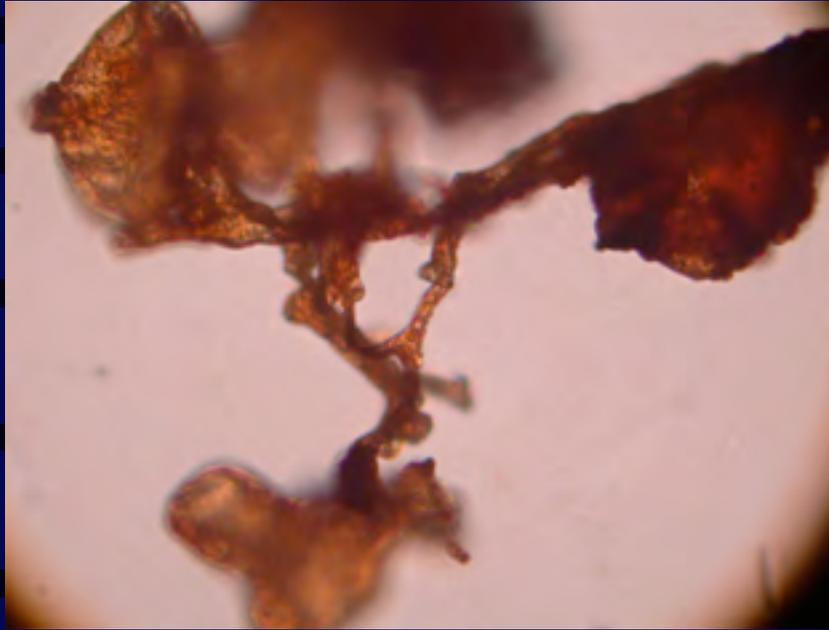


*benthic
bacterial
mats
(up to
20%!)*

JURASSIC
ITALY

ar

JURASSIC ITALY



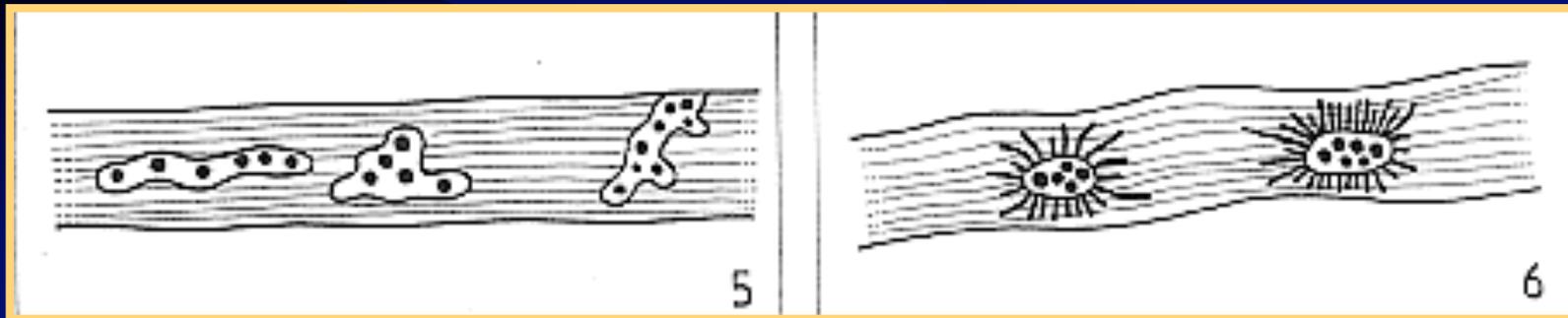
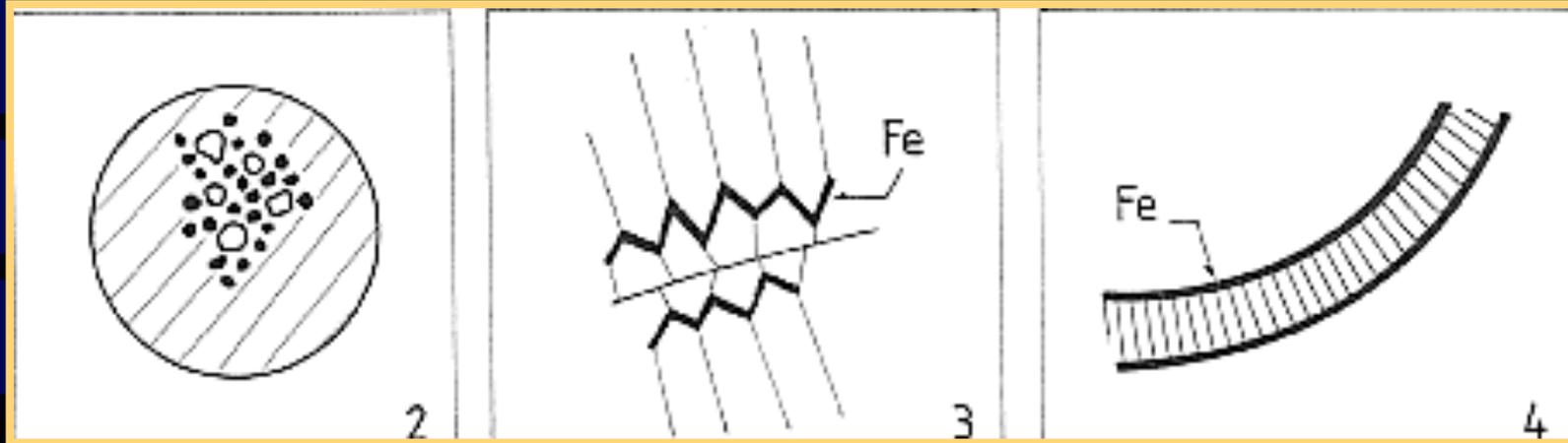
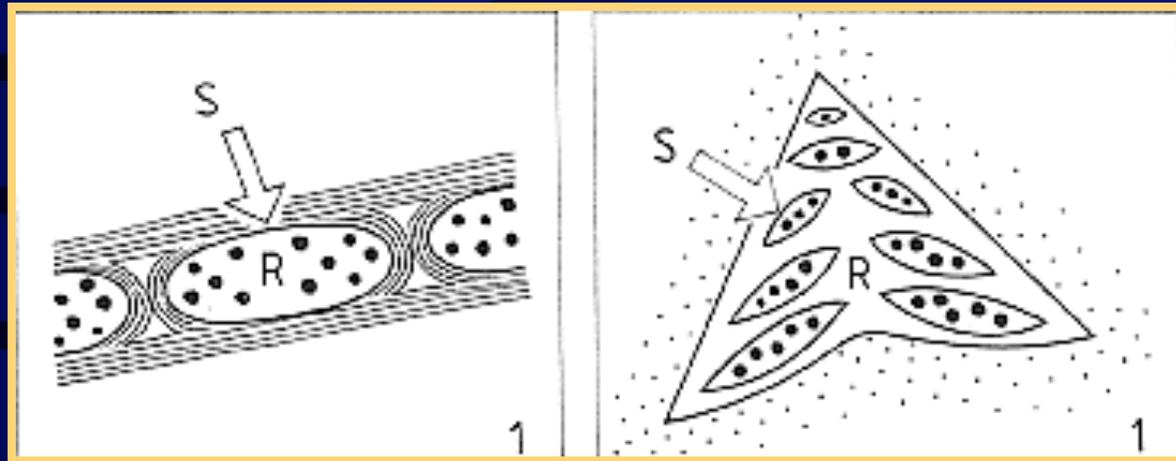
ar

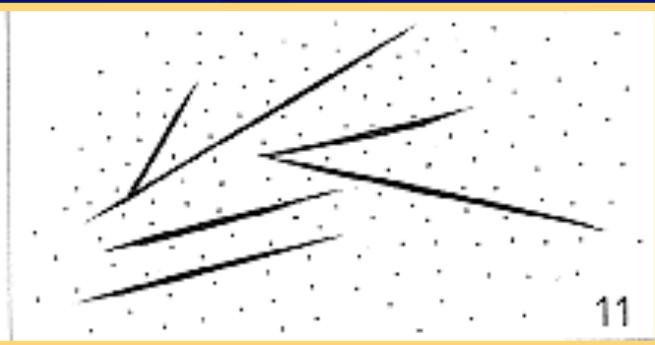
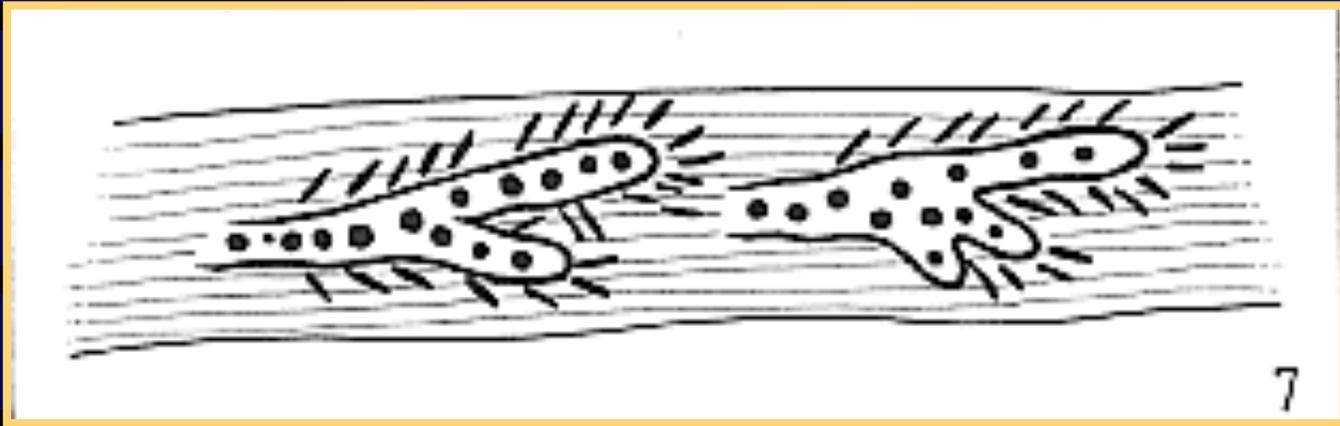
ar



S=
sediment

R=
red





conclusion (provisoire)

l'hématite n'est pas dispersée au hasard,
passivement dans le sédiment,
sa distribution suit certaines règles ...

filière BIOSédimentaire?

les bactéries ferro-oxydantes

ou

ferro-bactéries.



Auj: elles sont associées à des dépôts de Fe et/ou Mn
Les valeurs de pH et les teneurs en O_2 conditionnent
l'état de solubilisation du fer dans les milieux aqueux

Des FB ACIDOPHILES se dév dans les milieux très pauvres
en Fe^{++} et O_2 : ces FB utilisent l'énergie libérée par
l'oxydation du Fe^{++} en Fe^{+++} pour réduire le CO_2

NON TRANSPOSABLE
A NOS SERIES

par contre les ferro-bactéries neutrophiles sont associées à l'interface oxique/anoxique (*Sphaerotilus*, *Leptothrix*, *Gallionella*, *Beggiatoa* ...)

la biominéralisation du fer est liée à la production de SEA -subst. exoplym. anioniques =gânes ou capsules riches en polysaccharides qui forment l'essentiel des tapis bactériens). Le Fe^{+++} est précipité passivement dans les SEA des films bactériens actuels

Fe^{++}

Fe^{+++}

SEA

F
B

Fe^{++}

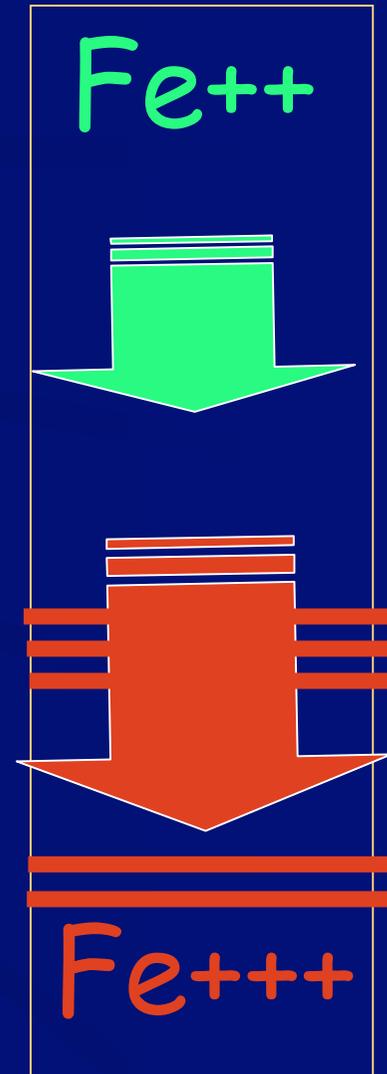
<mm-cm

gradient
 O_2

Fe^{++}

une alternative possible?

ainsi dans le passé,
les bactéries coccoïdes
et bacillaires appartenaient
à des biofilms capables de
biominéralisation



Observations au MEB

X1000, x35000...

- filaments simples et réguliers
- filaments simples avec pincements réguliers
- filaments dichotomes avec pincements
- concentrations de sphérules régulières

diamètre: $\leq 2 \mu\text{m}$

avec hématite submicronique dans la gaine

Observations au MEB (suite...)

formes filamenteuses plus importantes
(10' μm) associées à des spores
càd *fungi imperfecti*
concentrant également le fer

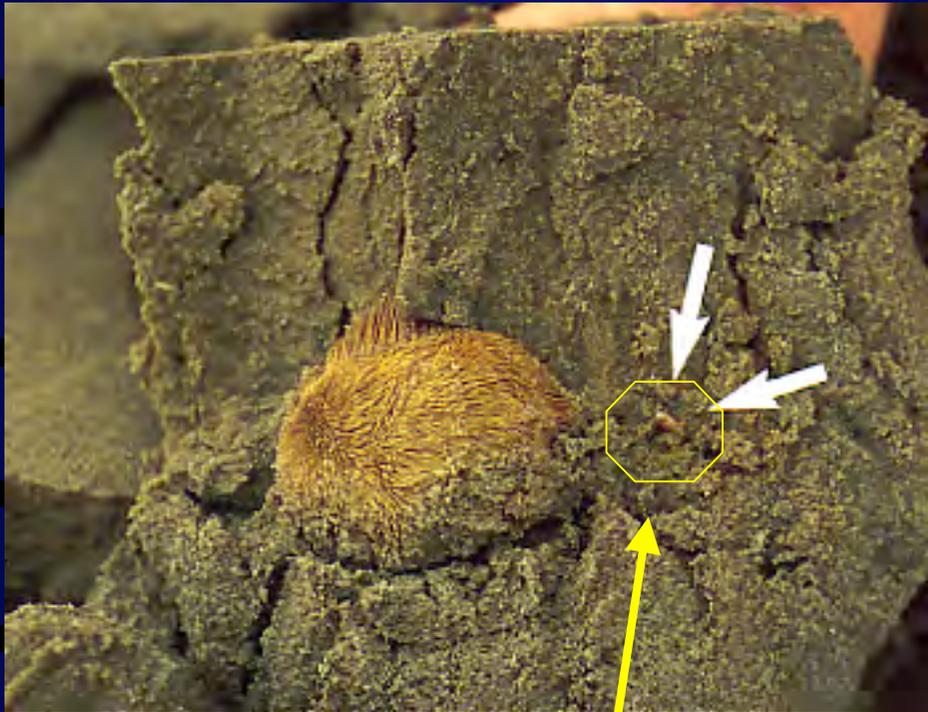
UN LIEN
avec la
BIOLOGIE ...

nous ne connaissons pas de sédimentation actuelle
de boues carbonatées rouges susceptibles de
donner des calcaires comme ceux étudiés...

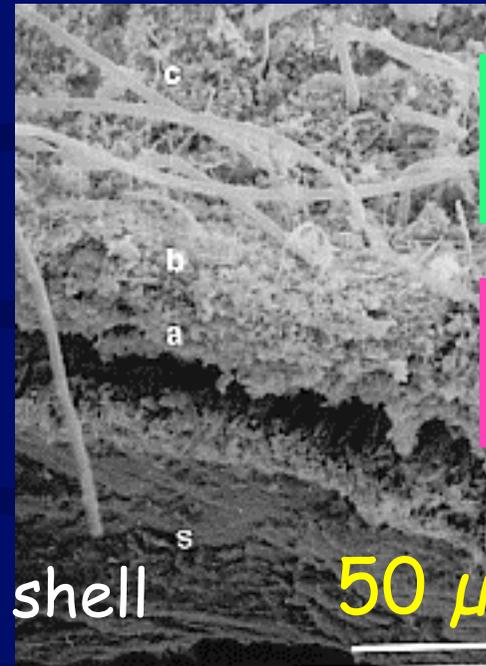
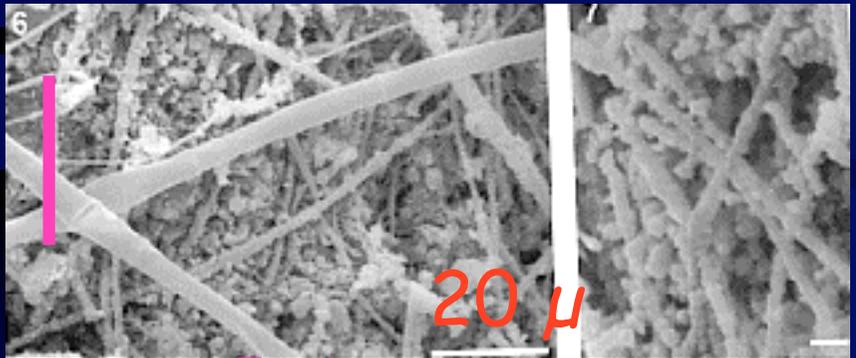
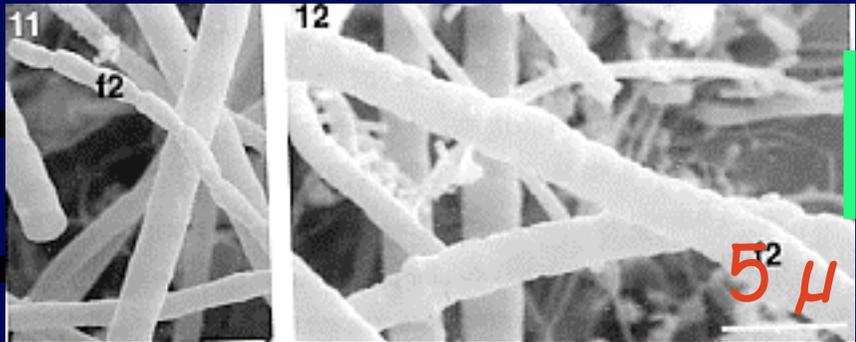
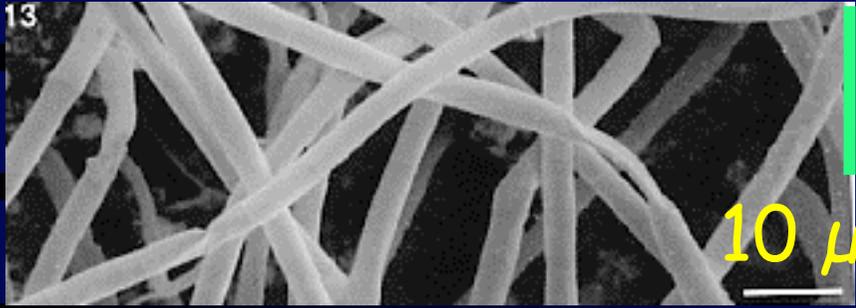
existe t'il des animaux actuels rubéfiés par
biofilms bactériens?

OUI!

Montacuta ferruginosa



Ph D
David GILLAN
biologie marine
ULB 1999

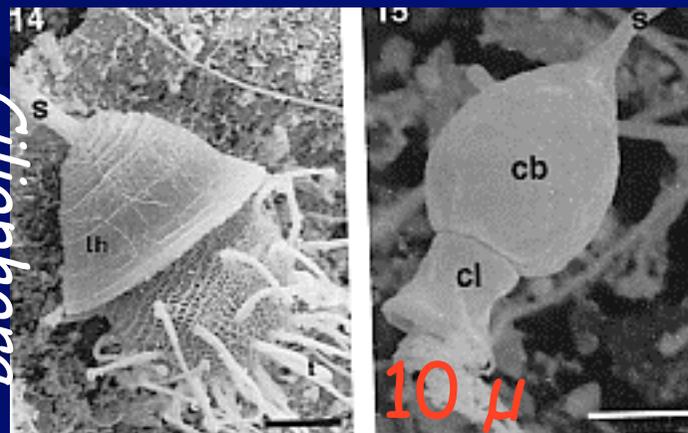


outer layer

intermediate

inner layer

Ciliophora



Choanoflagellateae

ferric iron minerals

Montacuta ferruginosa

Mollusque fouisseur actuel (milieu inter-tidal, côtes sableuses, Mer du Nord)

*coquille rubéfiée par un biofilm bactérien
proliférant à l'interface oxique-anoxique
= micromilieu(x) à variation d'O₂ permettant
FB d'encroûter le bivalve en couches multiples
= ANALOGUE DES MICROSTROMATOLITHES
ANCIENS?*

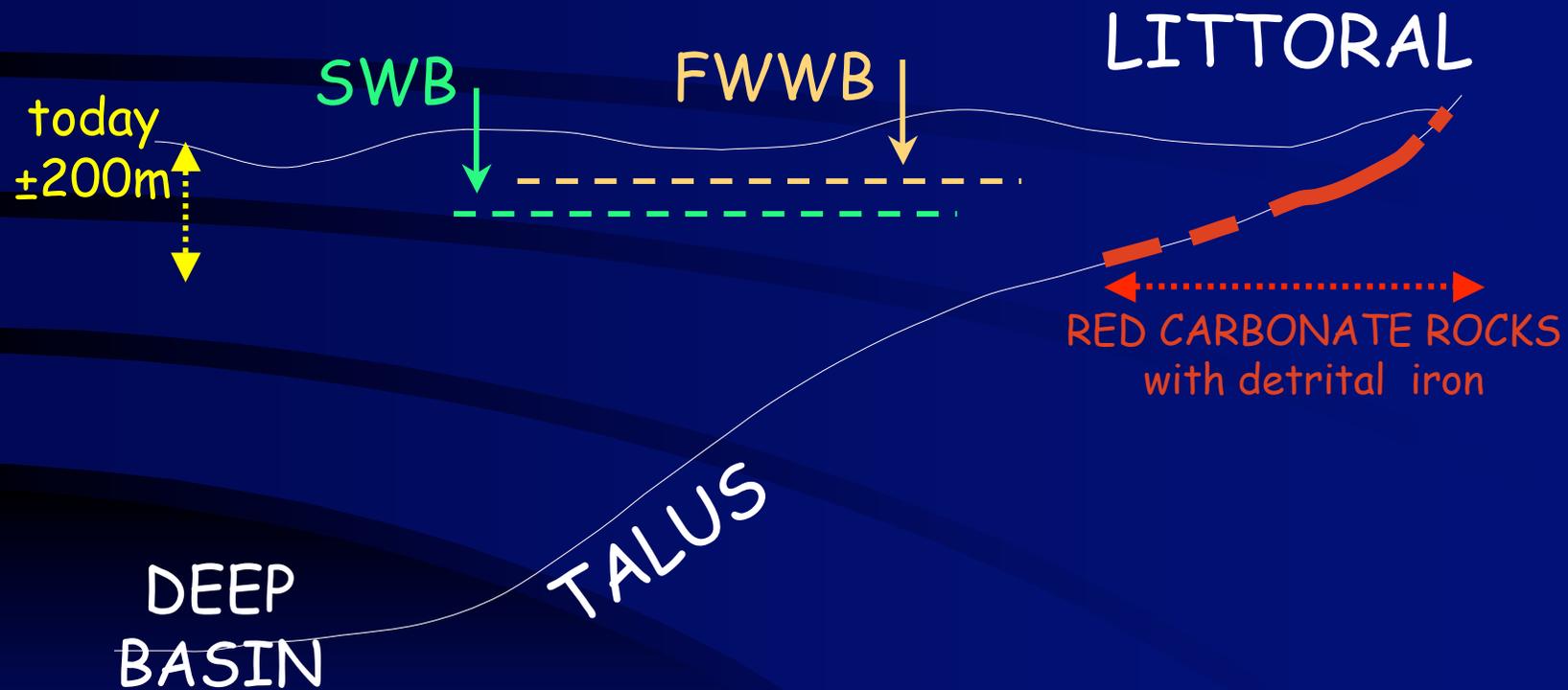
... et la paléogéographie ?

* SI le fer est détritique, il se concentrera en bordure des continents dans une zone riche en O_2 , càd en surface à très faible profondeur

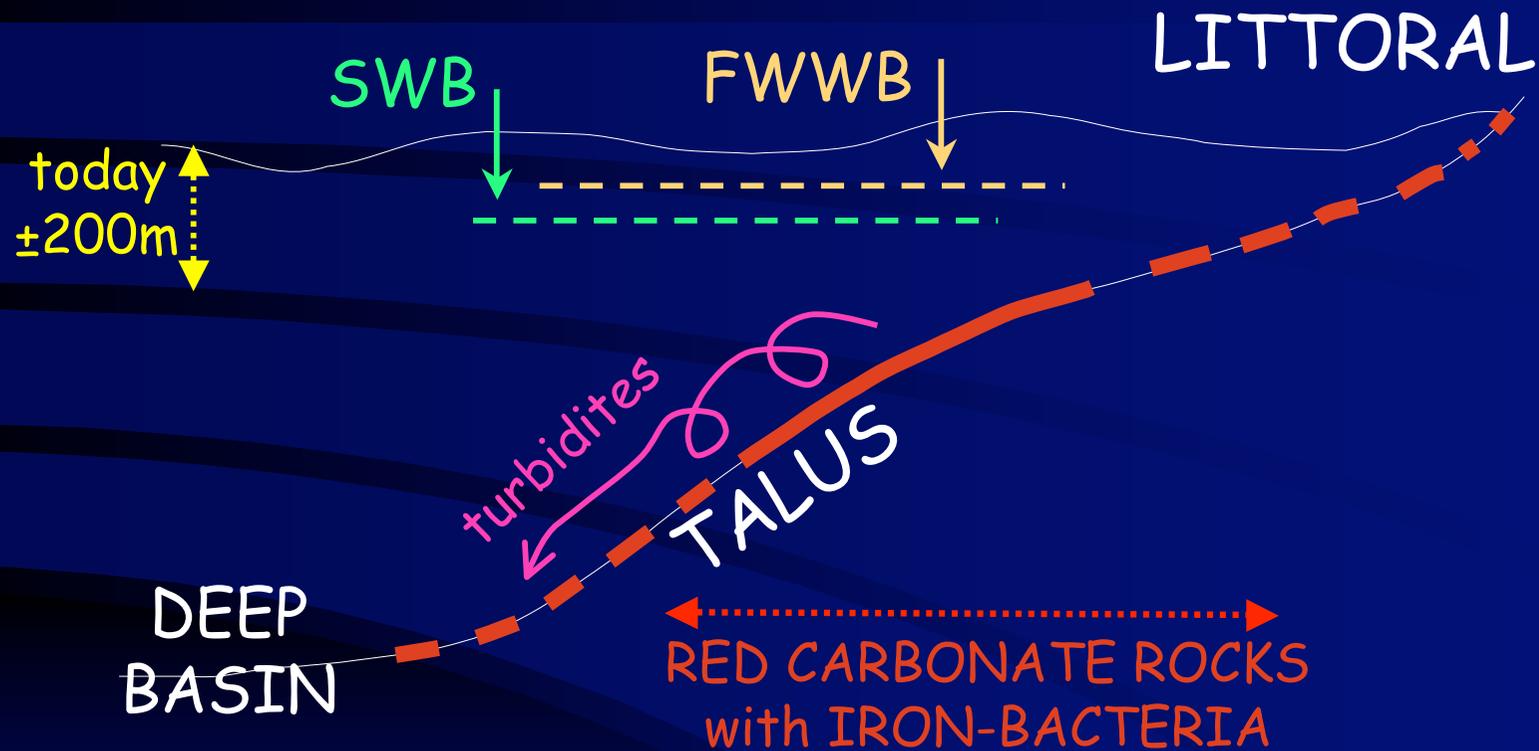
* SI les FB sont présentes, la formation d'hématite est lié à un gradient oxique/anoxique, uniquement dans les micro-milieux peu oxygénés, aphotiques (si nécessaire) -----> prolifération sur le talus continental jusque dans les fonds océaniques

ainsi se forment dans ces milieux extrêmes des sédiments rouges non liés à l'abondance du Fe et de l' O_2

DETRITAL ORIGIN

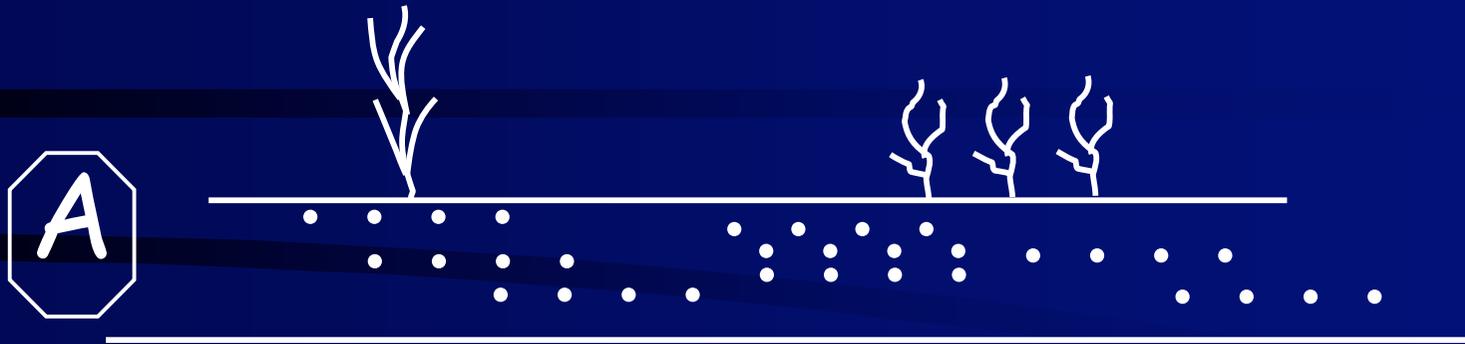


BIOLOGICAL ORIGIN



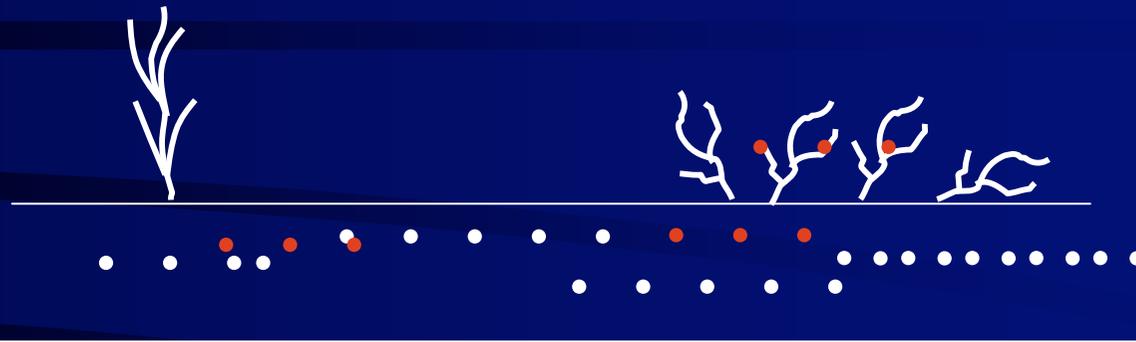
Quel est alors le mécanisme
conduisant à la formation
des matrices **ROUGEÂTRES**?

ORIGIN OF PIGMENTATION



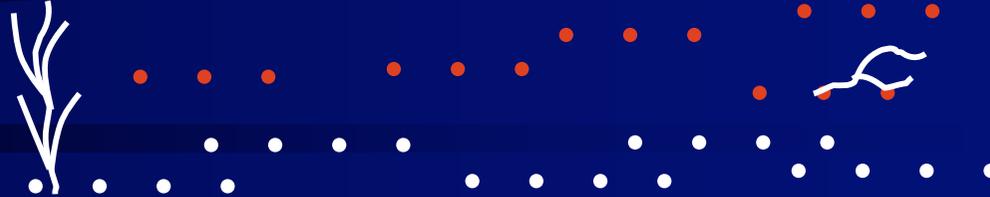
bacterial and fungal filaments and tufts
grow at the sediment-water interface

B



tufts decay, iron rich sheaths desintegrate and liberate iron hydroxides in the sediment. Some filaments are fortunatley preserved

C



the sediment recrystallized and is now
rubefied. Rare fossilized microfossils
point out to the original bacterial horizon

A



B

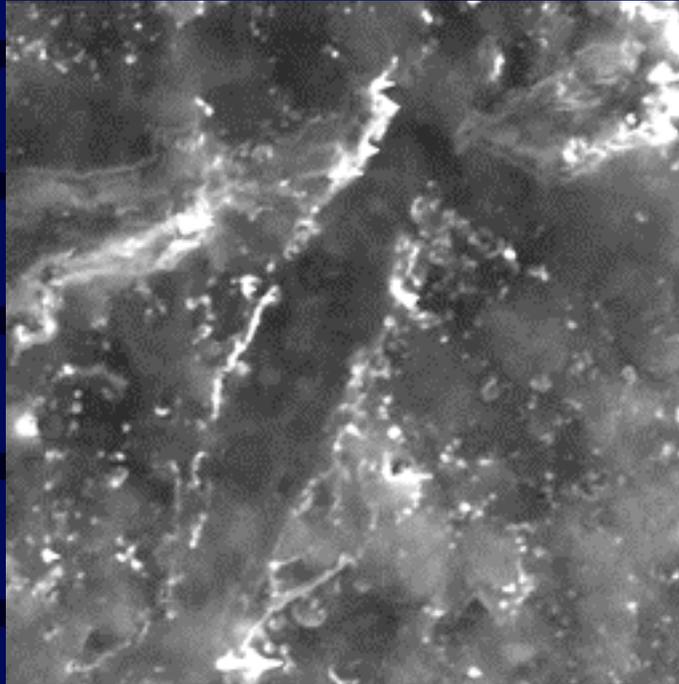


C

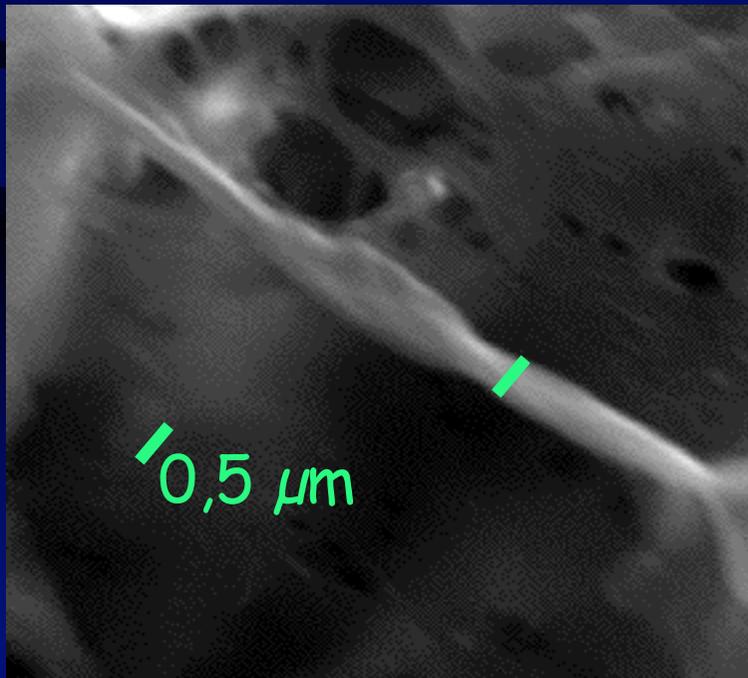


further diagenesis will transform the micrite into a porous microspar. The iron hydroxydes are now hematite

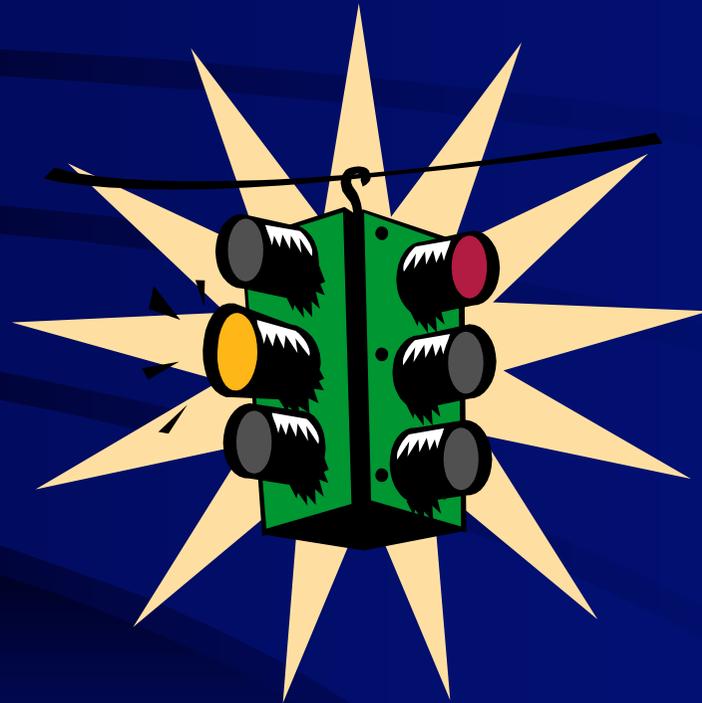
FINALLY...



inframetric
hematite
crystals dispersed
in the matrix
and responsible
for its red
pigmentation



tout n'est évidemment
pas 'biologique' ...



exemple des plages actuelles: terriers de vers arénicoles

ROSCOFF

*Arenicola
maritima*



4 cm

fin sédiment silteux réduit
[= sulfato-réduction]



ROSCOFF



*Arenicola
maritima*

*eh bien, il faut
quand même
chercher loin!*

