

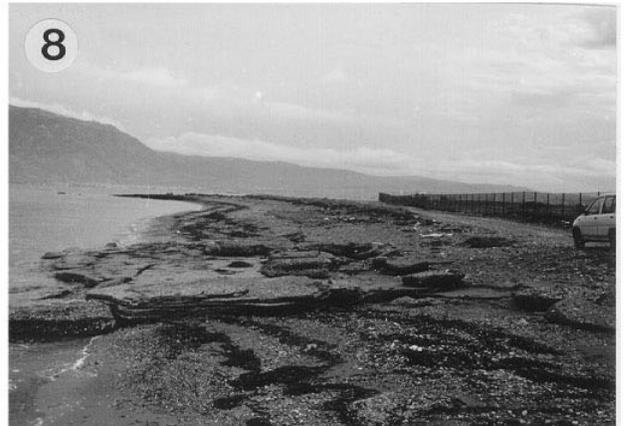
## Liste des planches

1. Vues générales des beachrocks étudiés
2. Vues générales des beachrocks étudiés
3. Structures sédimentaires des beachrocks
4. Structures sédimentaires des beachrocks
5. Ciments
6. Ciments
7. Ciments
8. Ciments
9. Ciments
10. Montage expérimental
11. Résultats de l'expérience
12. Résultats de l'expérience

## Planche 1

### Vues générales des beachrocks étudiés

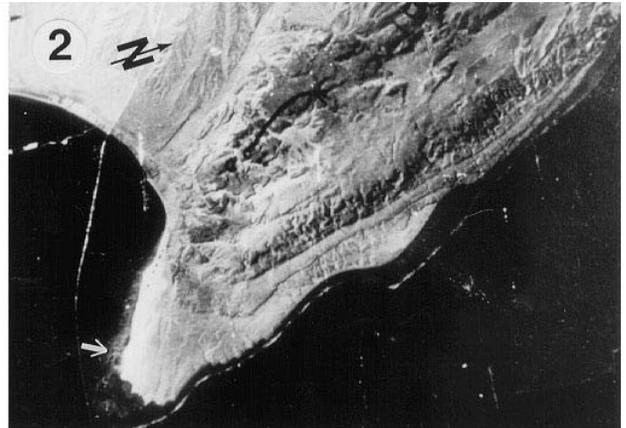
1. Beachrock de Peristeras. Le trait noir indique la position de la transversale échantillonnée.
2. Beachrock de Kalamaki Centre.
3. Beachrock de Kalamaki Nord. A droite, la falaise en marno-calcaires pliocènes avec, à sa base, des blocs transportés de beachrock et de marno-calcaire pliocène.
4. Beachrock de Damnoni. La partie A du beachrock (fig. 15) est indiquée par les flèches, la partie B est recouverte de sable, la partie C est située au bord de l'eau. Au fond, le ruisseau se jette dans la mer. Sur la falaise à droite se devinent les deux encoches marines (au niveau marin actuel et à +1.8 m, cf. Planche 4/2).
5. Beachrock de Paleochora. A l'horizon, le port et la forteresse de Paleochora.
6. Beachrock de Paleochora, vu depuis la route Paleochora–Voutas. Le lit de ruisseau asséché est indiqué par la flèche.
7. Beachrock de Grammos. A gauche, des blocs partiellement démembrés sont en train de glisser dans la mer.
8. Beachrock de Lecheo.



## Planche 2

### Vues générales des beachrocks étudiés

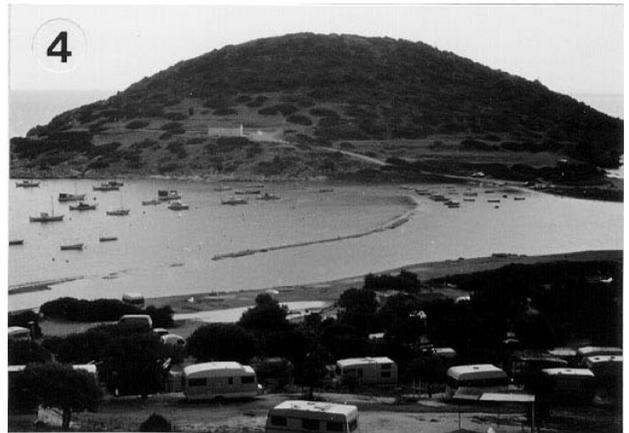
1. Beachrock de Dushit el Dabaa. La flèche indique la position de l'échantillon microbiologique UN556, qui a été utilisé pour les expériences I et II.
2. Vue arienne du cap de Dushit el Dabaa. Le beachrock est indiqué par la flèche.
3. Beachrock de Wadi Wasa'at. Le trou utilisé pour échantillonner l'eau interstitielle de l'arrière-plage est indiqué par la flèche.
4. Beachrock de Papahia. A droite, devant le beachrock vers la mer, est située la crête à algues rouges du récif (en foncé sur la photo).
5. Beachrock de Taraire. Au centre, les bancs étudiés par les échantillons UN328-UN333 (cf. fig. 22); à droite, le lagon intérieur de l'atoll.
6. Couronne SE de l'atoll Tikehau avec l'alternance de motu et de hoa. Le beachrock de Taraire est situé juste en dehors de la photo en bas à droite.
7. Beachrock de Taipaia. Le sable volcanique donne une couleur noir au beachrock.
8. Beachrock de Carbla. Quelques dômes stromatolitiques sont indiqués par la flèche.



## Planche 3

### Structures sédimentaires des beachrocks

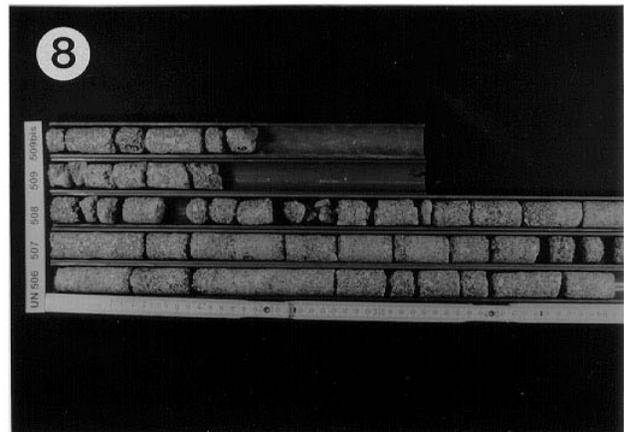
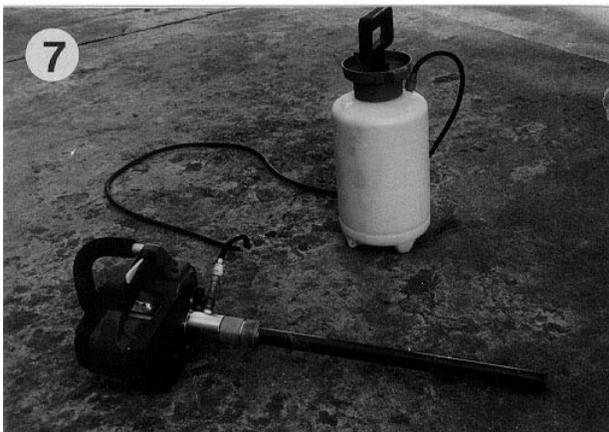
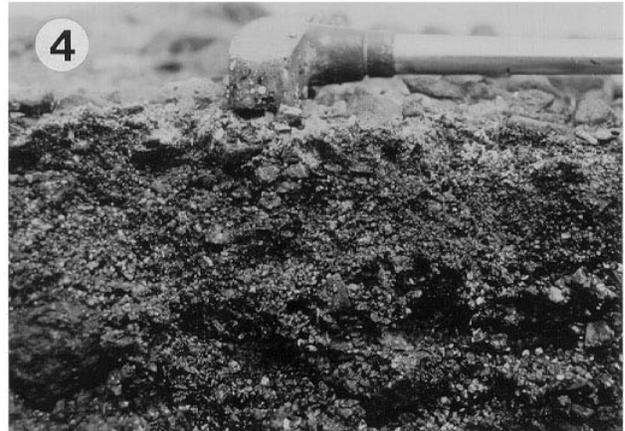
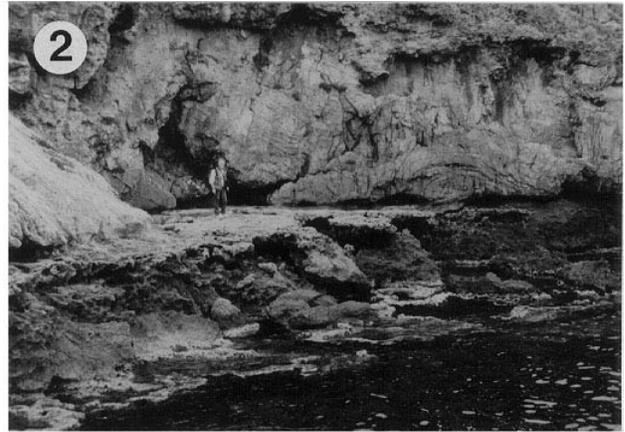
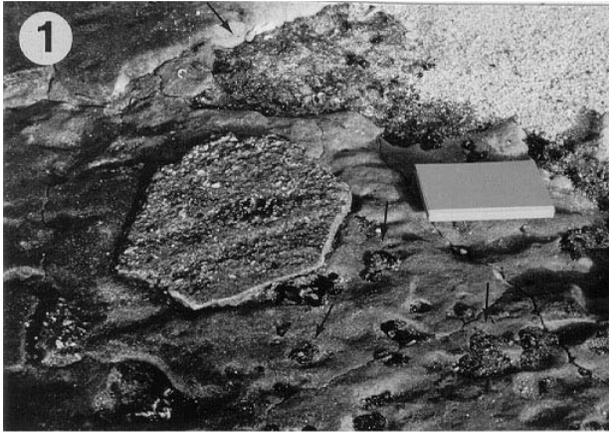
1. Stratifications de plage légèrement discordantes lithifiées dans le beachrock (marteau = 32 cm, beachrock de Lecheo).
2. Laminations granulométriques (sable moyen à gravier). La plaquette indique la position des échantillons UN402 et UN403 (plaquette = 8 x 12 cm, beachrock de Lecheo).
3. Stratifications inclinées vers la terre (à droite) lithifiées dans le beachrock (marteau = 32 cm, beachrock d'Amoudara, 5.5 km à l'ouest d'Iraklion, 35°20'30"N, 24°4'0"E).
4. Beachrock fossile marquant la position d'un tombolo actuellement disparu qui reliait l'Attique (avant-plan) avec l'île (au fond). A droite se distingue le début du tombolo actuel, qui présente un beachrock du côté externe (en dehors de la photographie, beachrock d'Anavissos).
5. Alignements de *keystone vugs* (indiqués par les flèches) dans un beachrock composé de sable grossier (couvercle d'objectif = 6 cm, beachrock de Kalamaki Nord).
6. Cannelures d'érosion créées par le *swash* et le *backwash* (marteau = 32 cm, beachrock de Kalamaki Centre).
7. Blocs de beachrock démembrés posés sur et partiellement cimentés dans le beachrock actuel (sacoche = 40 cm, beachrock de Pherma).
8. Trois générations successives de beachrock : un bloc de beachrock à granulométrie fine (1) est inclus dans un bloc à granulométrie grossière (2), l'ensemble est cimenté dans le beachrock actuel (3) (cf. fig. 29, ciseau = 20 cm, beachrock de Peristeras).



## Planche 4

### Structures sédimentaires des beachrocks

1. Deux générations de beachrock : la première génération est caractérisée par un surface d'altération rugueuse (hexagone au centre) et est limitée par une surface d'érosion; la deuxième génération a une surface d'altération lisse. En surface, le beachrock est pollué par des taches d'hydrocarbures dégradés, mélangés à du sable, qui sont indiquées par les flèches (carnet = 22 cm, beachrock de Wadi Wasa'at).
2. Falaise littorale près du beachrock de Damnoni. La corniche moderne à Vermets et l'encoche marine moderne sont situées au niveau de la mer. La corniche et l'encoche fossile se trouvent 1.8 m plus haut.
3. « Beachrock pétrolier » (marteau = 32 cm, 50 m au sud du beachrock « 40 km N Quser »).
4. Détail du « beachrock pétrolier » (tête du marteau = 2 cm, 50 m au sud du beachrock « 40 km N Quser »).
5. Beachrock en croûte subhorizontale formant des structures en tepees. L'échantillon microbiologique UN642, qui a été utilisé pour l'expérience III, provient du centre du polygone de tepee (position indiquée par la flèche, marteau (à droite de la flèche) = 32 cm, beachrock de Lagon Point Petit C).
6. Origine de l'échantillon microbiologique UN642 : le beachrock en croûte est recouvert par 3 cm de sédiments fins avec un voile organique gris en surface (marteau = 32 cm, beachrock de Lagon Point Petit C).
7. Carotteuse avec un foret de 60 cm et la bouteille pour l'eau de refroidissement.
8. Exemple de carottes prélevées avec la carotteuse (carottes UN506, UN507, UN508, UN509, UN509bis, beachrock de Paleochoira).

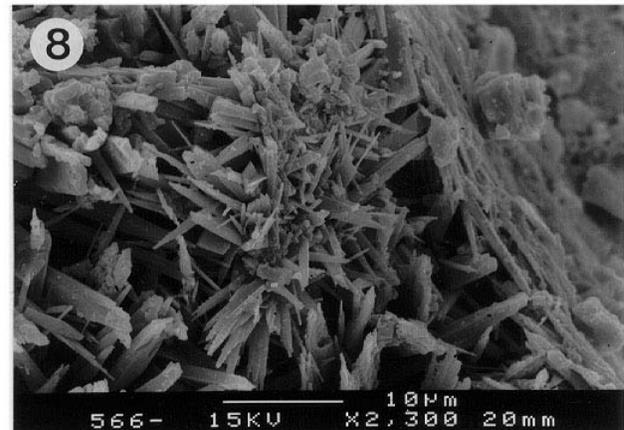
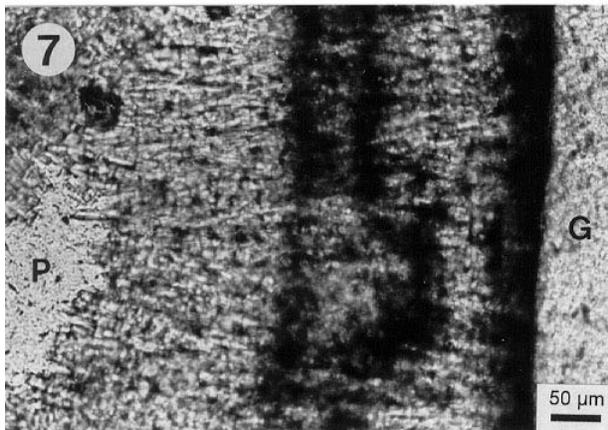
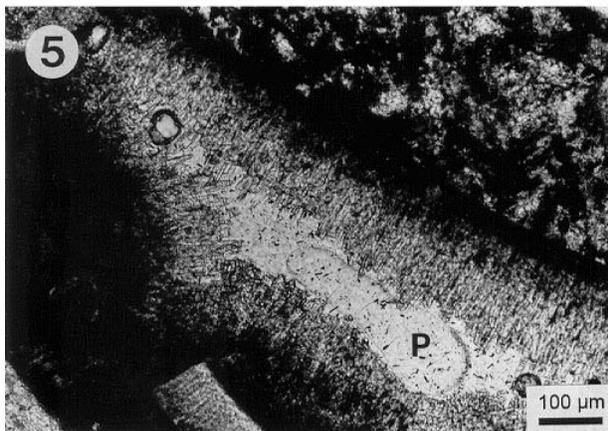
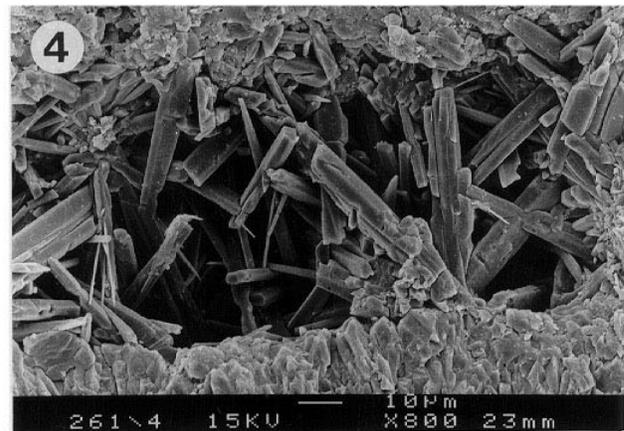
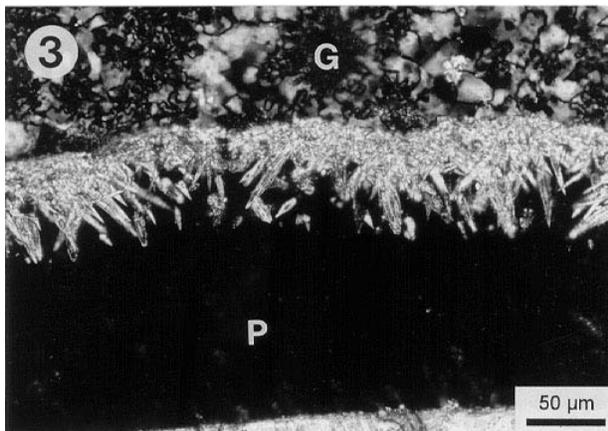
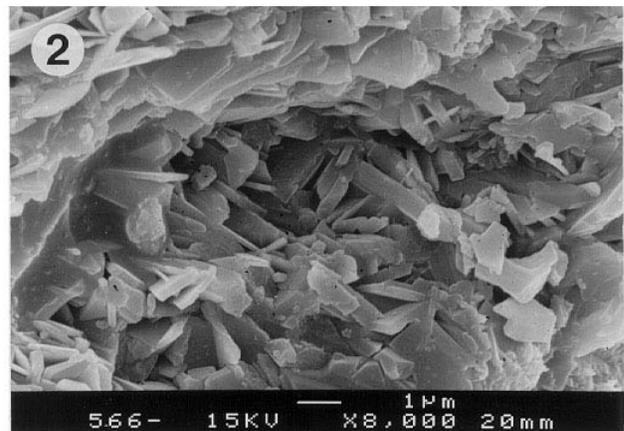
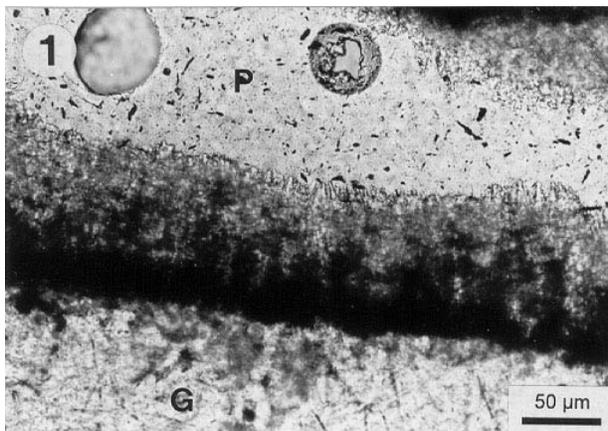


## Planche 5

### Ciments

Les photos 1, 3 et 5 sont orientées.

1. Aragonite micritique, dont la limite supérieure avec l'aragonite aciculaire est diffuse (G : Grain, P : Porosité, UN561/1, beachrock de Wadi Wasa'at).
2. Aragonite micritique avec de nombreux cristaux en plaquette, détail de la photo 6 (UN566, beachrock de Wadi Wasa'at).
3. Aragonite fibreuse stalactitique, lumière polarisée (G : Grain, P : Porosité, UN264, beachrock de Paleochora).
4. Aragonite fibreuse (UN261, beachrock de Paleochora).
5. Aragonite aciculaire isopaque précédée par de l'aragonite micritique (P : Porosité, UN560/2, beachrock de Wadi Wasa'at).
6. Aragonite micritique suivie par de l'aragonite aciculaire (G : Grain, UN566, beachrock de Wadi Wasa'at).
7. Aragonite micritique suivie de deux phases en aragonite aciculaire. La première présente un aspect trouble (dû à la présence de cristaux micritiques) et est terminée par deux liserés micritiques, elle correspond à la première génération de beachrock (cf. chapitre 2.6.3). La deuxième, limpide, s'est formée durant la deuxième génération de beachrock (G : Grain, P : Porosité, UN560/2, beachrock de Wadi Wasa'at).
8. Petit centre fibroradiaire aragonitique dans une phase en aragonite aciculaire (UN566, beachrock de Wadi Wasa'at).

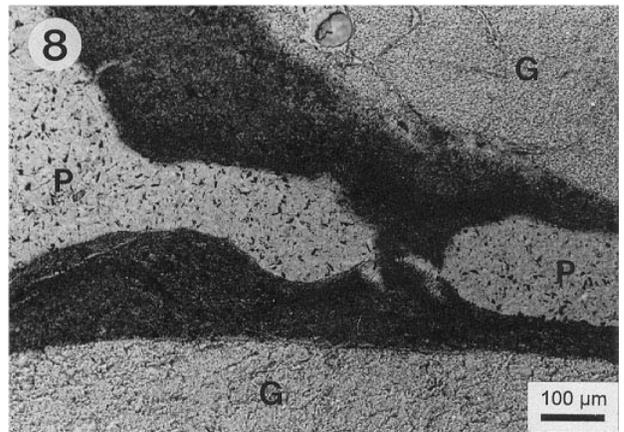
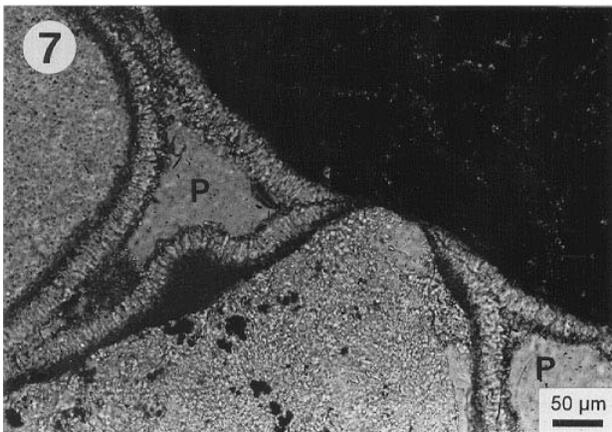
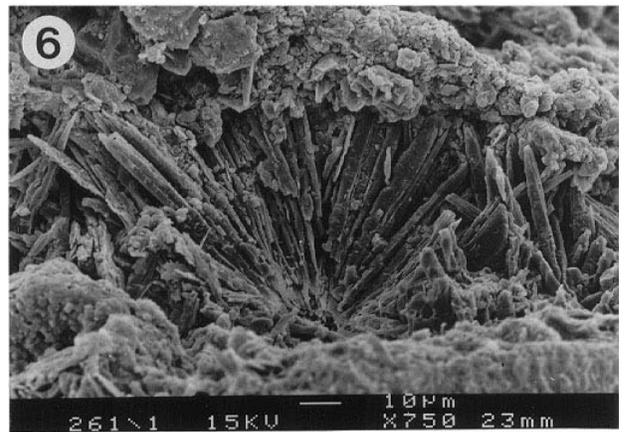
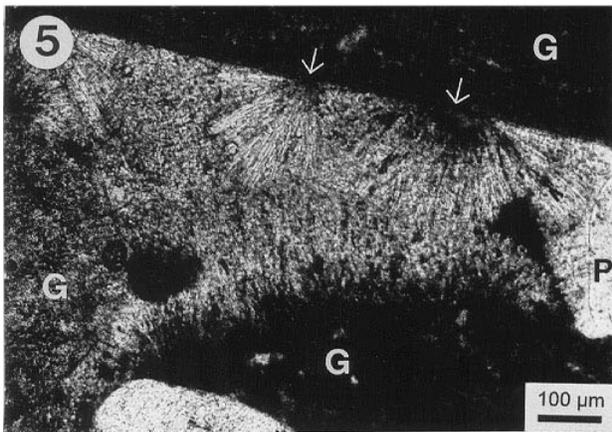
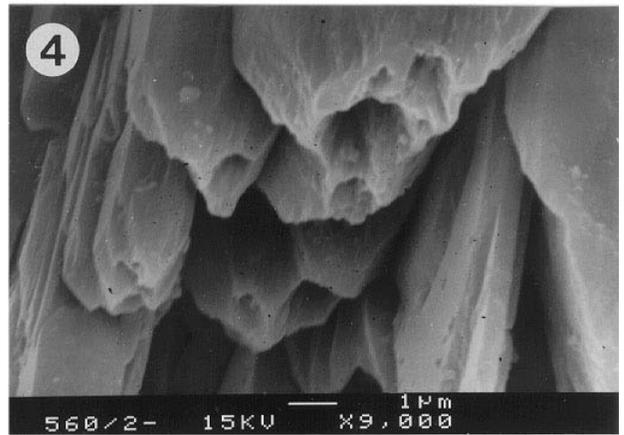
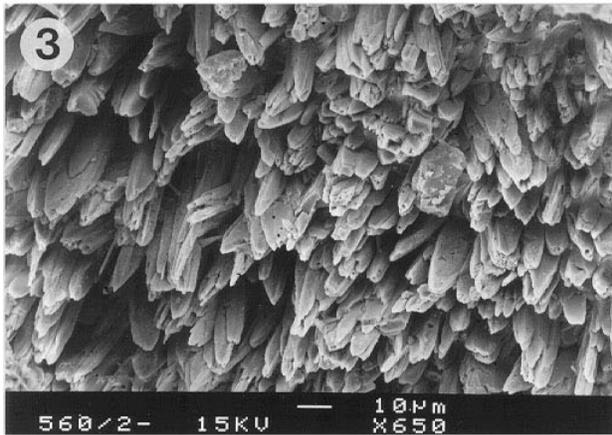
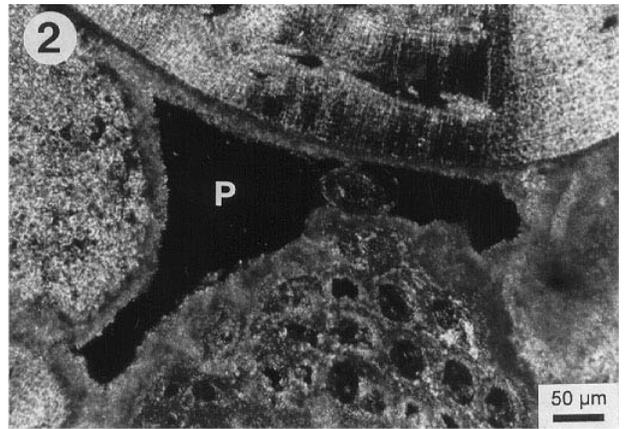
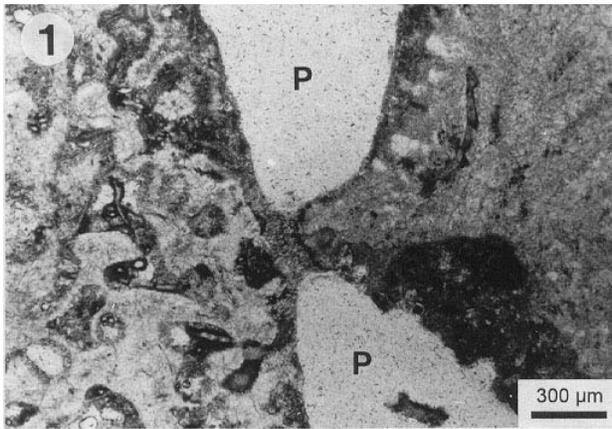


## Planche 6

### Ciments

Les photos 1, 2, 5 et 7 sont orientées.

1. Ménisque en aragonite aciculaire (P : Porosité, UN337, beachrock de Taraire).
2. Aragonite aciculaire à tendance ménisque : l'épaisseur diminue en s'éloignant des points de contact entre les grains, lumière polarisée (P : Porosité, UN333, beachrock de Taraire).
3. « Cristaux aciculaires creux » en aragonite (UN560/2, beachrock de Wadi Wasa'at).
4. Détail de la pointe des « cristaux aciculaires creux » en aragonite : une dépression profonde existe à la terminaison de chaque cristal, qui pourrait correspondre l'ouverture d'un canal interne (UN560/2, beachrock de Wadi Wasa'at).
5. Aragonite sphérolitique rayonnant à partir de centres micritiques indiqués par les flèches (G : Grain, P : Porosité, UN560/2, beachrock de Wadi Wasa'at).
6. Aragonite sphérolitique suivie de calcite magnésienne micritique (UN261, beachrock de Paleochora).
7. Calcite magnésienne micritique ondulante suivie de calcite magnésienne palissadique isopaque (P : Porosité, UN254, beachrock de Peristeras).
8. Calcite magnésienne micritique ondulante qui présente des laminations internes (G : Grain, P : Porosité, UN494, beachrock de Damnoni).

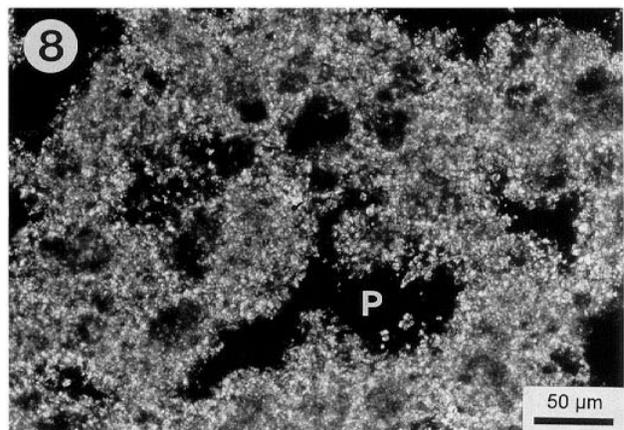
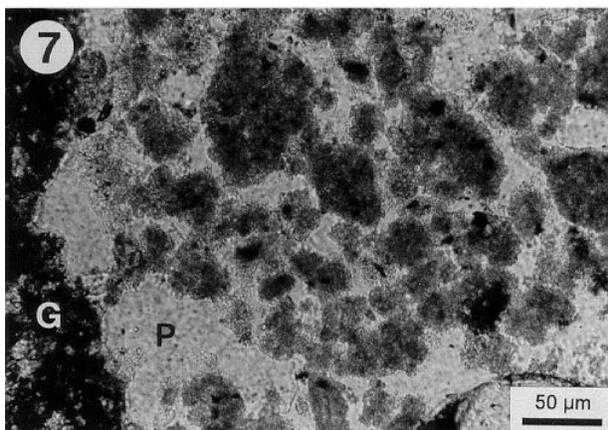
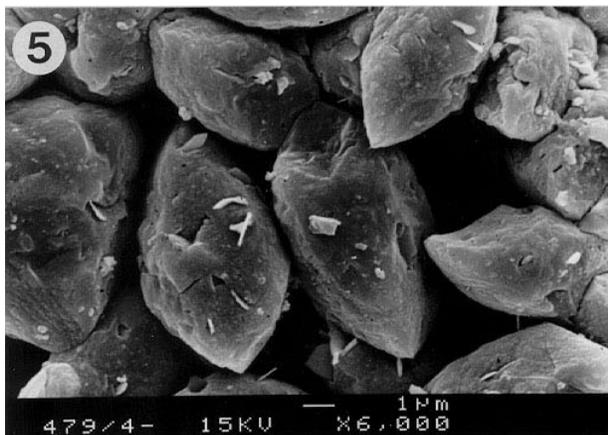
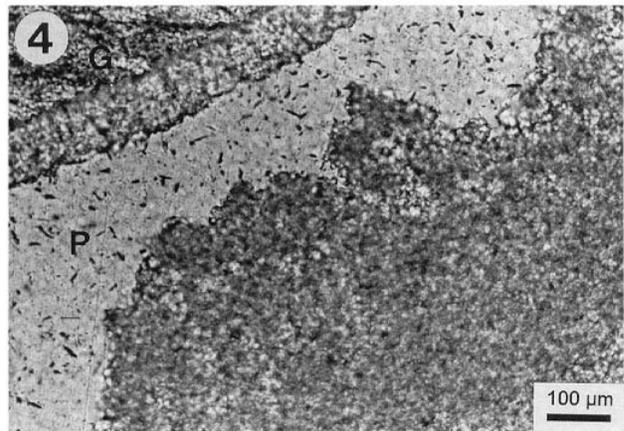
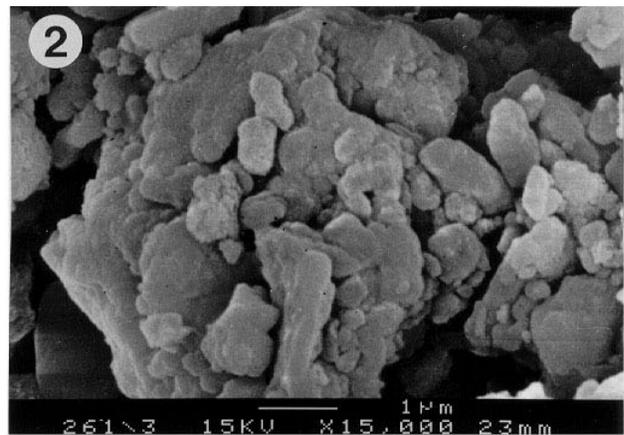
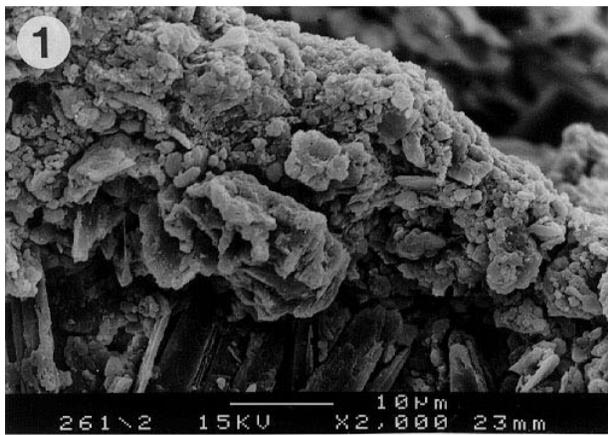


## Planche 7

### Ciments

Les photos 3, 4, 7 et 8 sont orientées.

1. Calcite magnésienne micritique globulaire précédée d'aragonite sphérolitique (en bas de la photo), détail de la photo 6/6 (UN261, beachrock de Paleochora).
2. Calcite magnésienne micritique globulaire (UN261, beachrock de Paleochora).
3. Calcite magnésienne palissadique isopaque formée en concurrence avec de la calcite magnésienne micritique grossière gravitaire. L'inhibition de la croissance palissadique par le dépôt de la calcite magnésienne micritique grossière provoque une répartition pseudo-stalactitique de la calcite magnésienne palissadique (UN479/4, beachrock de Damnoni).
4. En haut à gauche, calcite magnésienne palissadique isopaque, en bas à droite, calcite magnésienne micritique grossière (G : Grain, P : Porosité, UN479/3, beachrock de Damnoni).
5. Calcite magnésienne micritique grossière composée de cristaux en fuseau, avec une importante micro-porosité entre les cristaux (UN479/4, beachrock de Damnoni).
6. Calcite magnésienne micritique grossière composée de cristaux sub-sphériques anhétraux (UN479/4, beachrock de Damnoni).
7. Calcite magnésienne peloïdale avec une bordure diffuse (G : Grain, P : Porosité, UN353, beachrock de Taraire).
8. Calcite magnésienne peloïdale avec une couche extérieure fibroradiaire, lumière polarisée (P : Porosité, UN357, beachrock de Taraire).

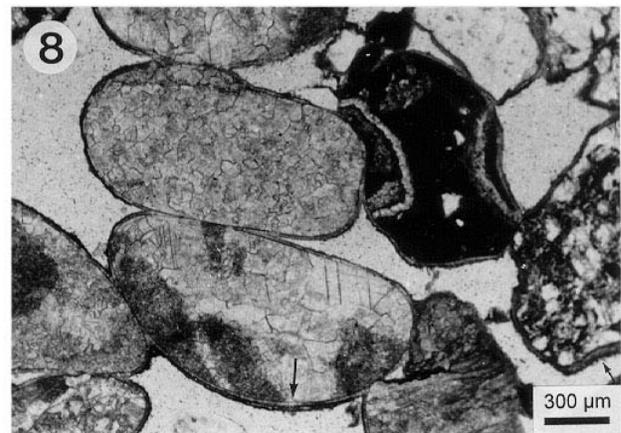
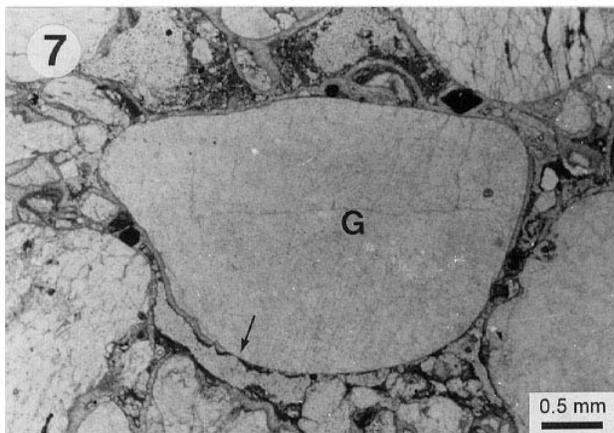
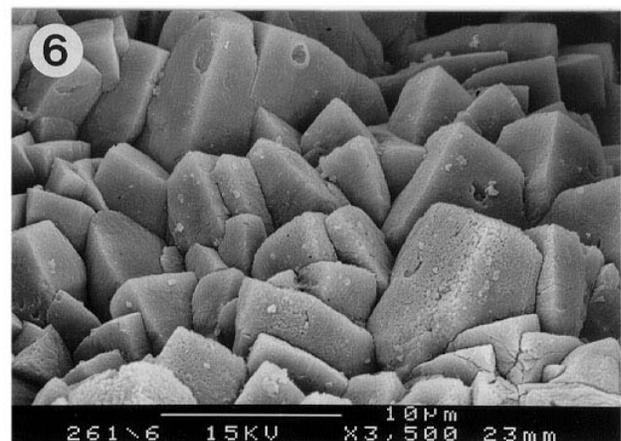
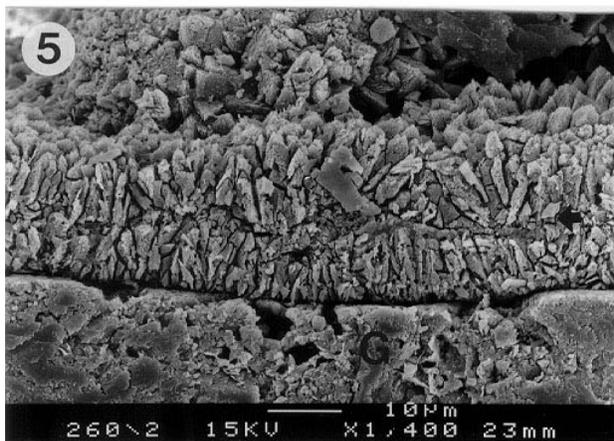
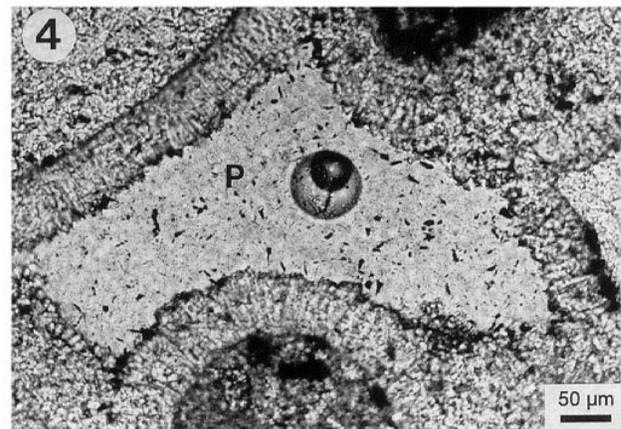
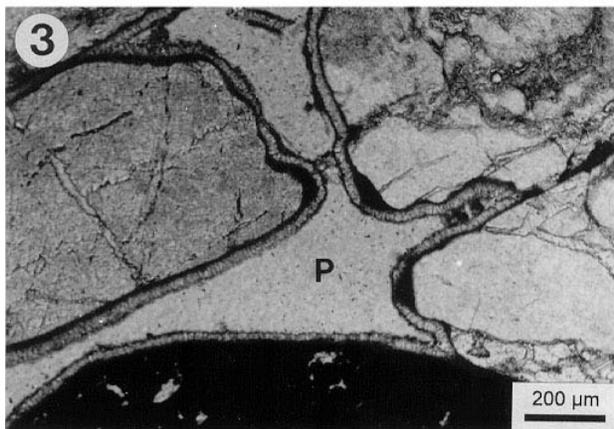
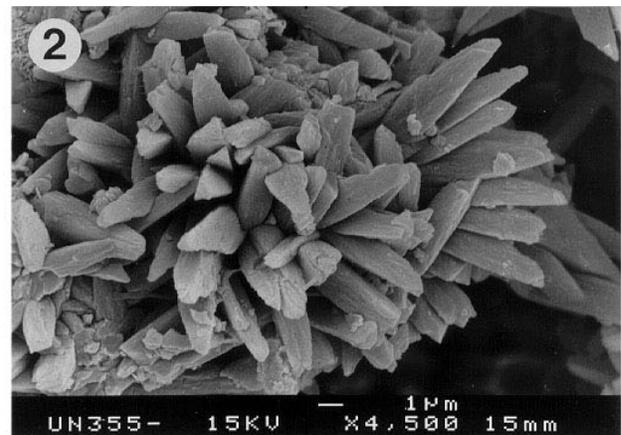
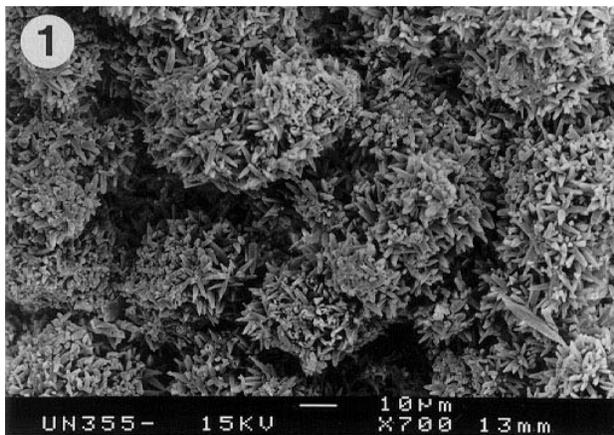


## Planche 8

### Ciments

Les photos 3, 4, 7 et 8 sont orientées.

1. Calcite magnésienne peloïdale avec une couche extérieure fibroradiaire (UN355, beachrock de Taraire).
2. Détail de la surface fibroradiaire de la calcite magnésienne peloïdale (UN355, beachrock de Taraire).
3. Calcite magnésienne micritique ondulante suivie de calcite magnésienne palissadique isopaque (P : Porosité, UN254, beachrock de Peristeras).
4. Calcite magnésienne palissadique isopaque (P : Porosité, UN488, beachrock de Damnoni).
5. Calcite magnésienne palissadique en coupe. Une interruption de la croissance est indiquée par la flèche (G : Grain, UN260, beachrock de Paleochora).
6. Surface supérieure de la calcite magnésienne palissadique caractérisée par les terminaisons cristallines en pyramide trigonale (UN261, beachrock de Paleochora).
7. Calcite magnésienne palissadique isopaque ayant subie une dissolution restreinte aux positions stalactitiques (indiquée par la flèche), qui a été produite en zone vadose météorique. La dernière phase en aragonite stalactitique apparaît en foncé (G : Grain, UN487, beachrock de Damnoni).
8. Deux phases de calcite magnésienne palissadique : la première est isopaque; la deuxième, stalactitique, est indiquée par les flèches (UN261, beachrock de Paleochora).

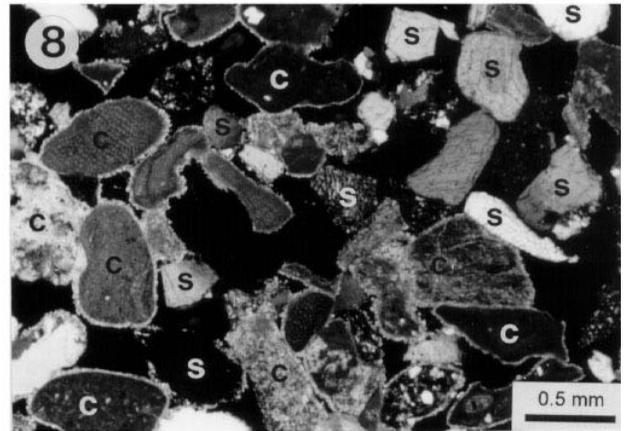
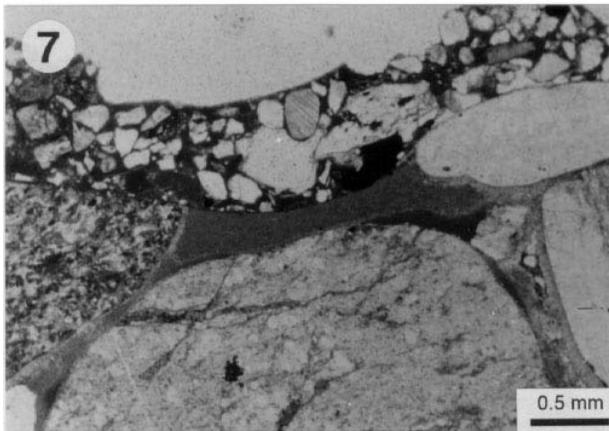
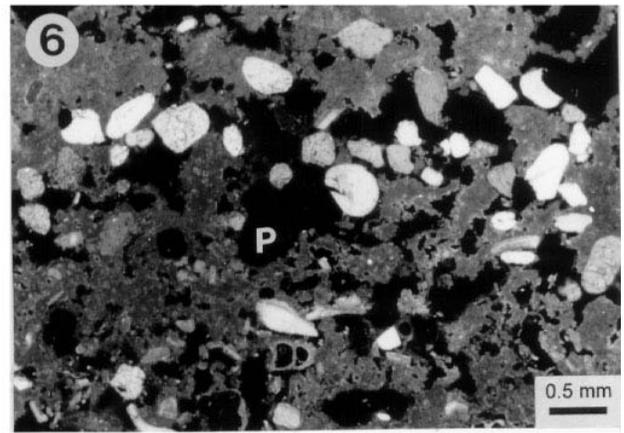
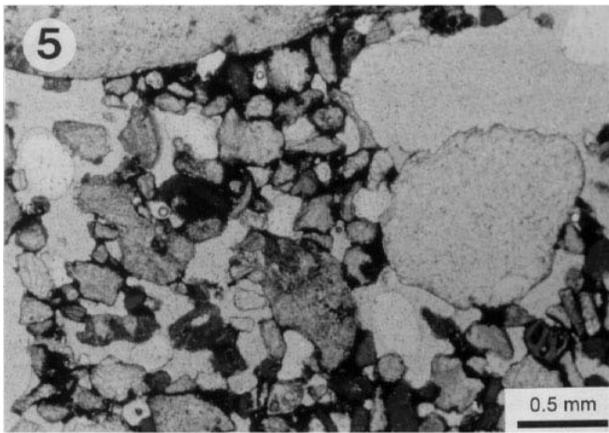
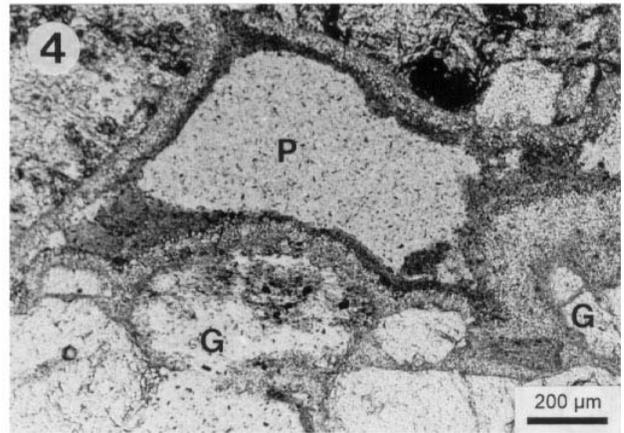
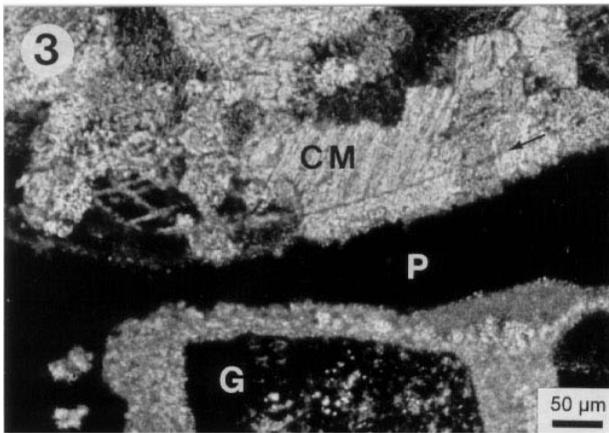
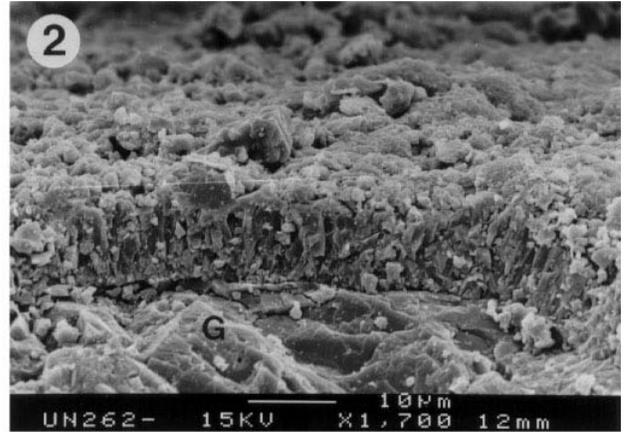
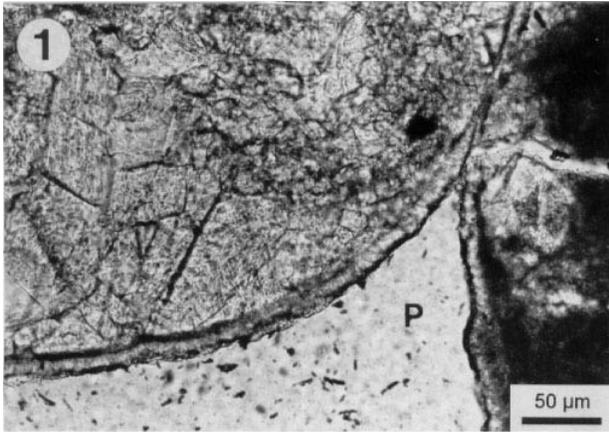


## Planche 9

### Ciments

Les photos 1, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 sont orientées.

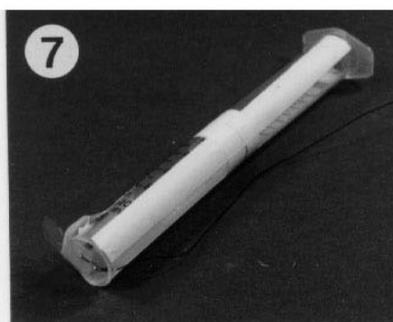
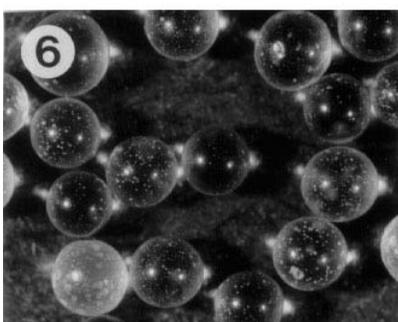
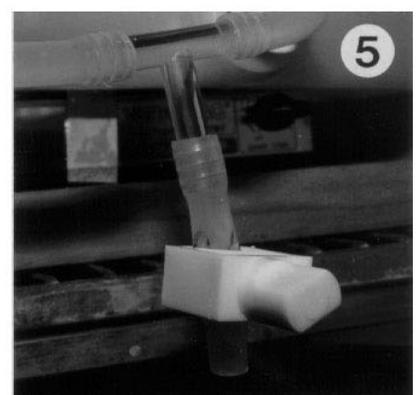
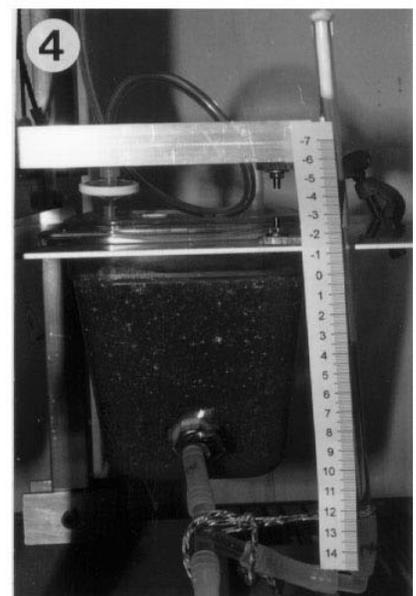
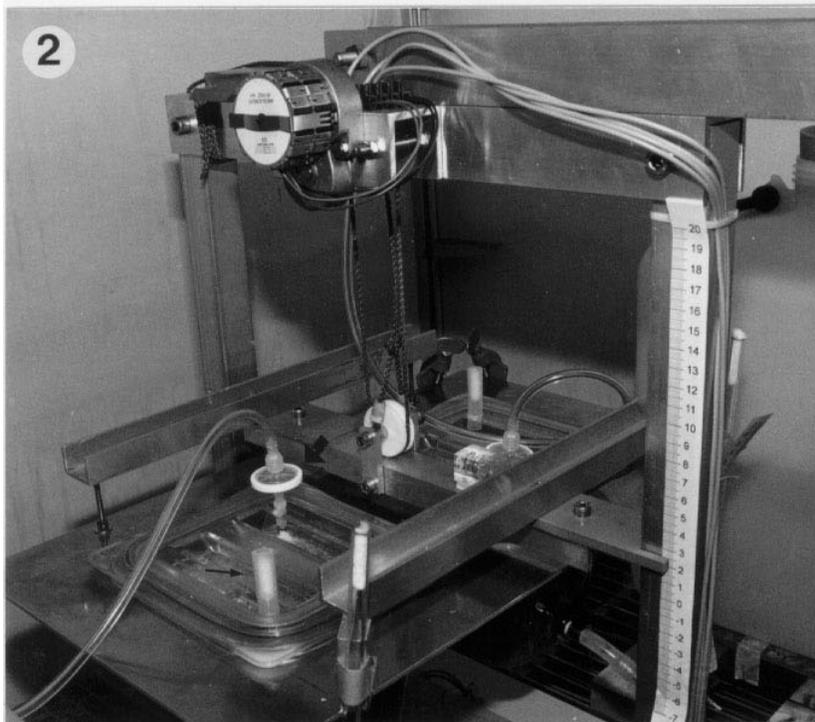
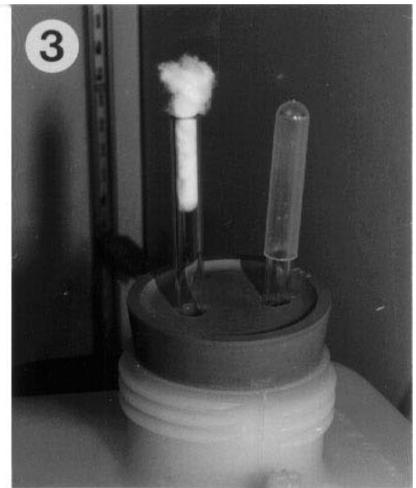
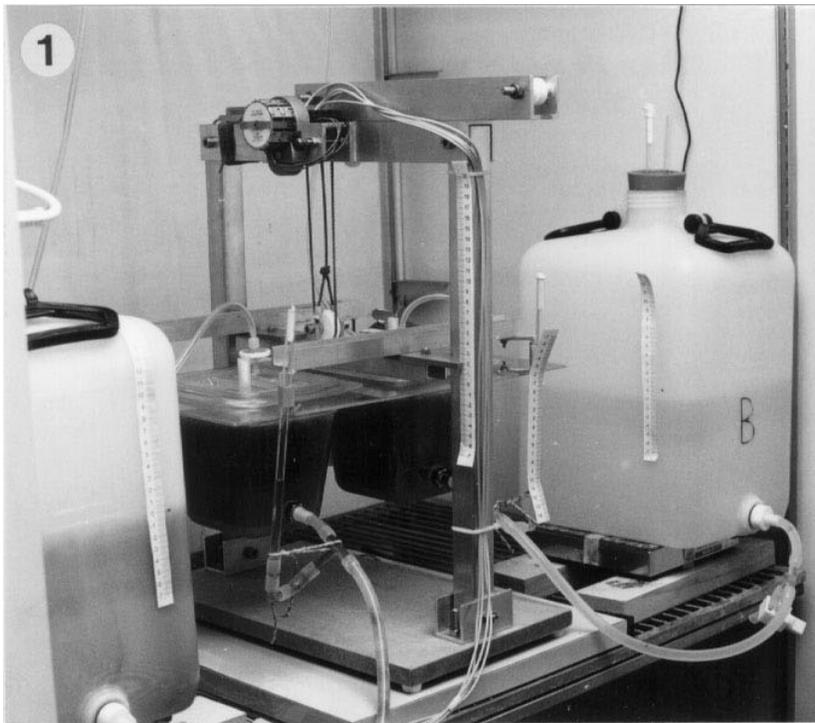
1. Calcite magnésienne palissadique fine isopaque précédée par un fin liseré micritique (P : Porosité, UN262, beachrock de Paleochora).
2. Calcite magnésienne palissadique fine en coupe (G : Grain, UN262, beachrock de Paleochora).
3. Calcite magnésienne syntaxiale sur un lithoclaste calcaire métamorphique. La limite entre le lithoclaste et le ciment est indiquée par la flèche, lumière polarisée (CM : Calcaire Métamorphique, G : Grain, P : Porosité, UN454/3, beachrock de Peristeras).
4. Calcite magnésienne palissadique isopaque suivie de micrite orangée (G : Grain, P : Porosité, UN486, beachrock de Damnoni).
5. « Beachrock pétrolier » : grains de sable lithifiés par des hydrocarbures dégradés (en noir ou en brun-orange apparaissant en gris foncé sur la photo) (UN541, beachrock de Râs Gârib).
6. Microfaciès de beachrock en croûte subhorizontale : grains de quartz (arrondis en blanc), bioclastes et peloïdes cimentés par de l'aragonite micritique; lumière polarisée (P : Porosité en noir, UN602, beachrock de Lagon Point Petit C).
7. Contact entre deux générations de beachrock séparées par une limite érosive : en bas, partie A du beachrock de Damnoni à granulométrie grossière cimentée par de la calcite magnésienne palissadique et de la calcite magnésienne micritique grossière; en haut, partie B à granulométrie fine cimentée par de la calcite magnésienne micritique (en blanc au sommet, bordure de la lame mince, UN479/1, beachrock de Damnoni).
8. Cimentation sélective en calcite magnésienne palissadique isopaque restreinte aux grains carbonatés, alors que les grains siliciclastiques (quartz et feldspaths) demeurent non-cimentés (c : grain carbonaté, s : grain siliciclastique, UN521/3, beachrock de Grammos).



## Planche 10

### Montage expérimental

1. Vue générale de l'expérience. Les deux réservoirs (bidons blancs à l'extérieur) sont posés sur agitateur magnétique, des échelles centimétriques permettent d'en mesurer le niveau d'eau. Ces réservoirs sont reliés par des tuyaux aux deux bacs remplis de billes (au centre). Ceux-ci sont placés dans un cadre en aluminium, lui-même suspendu par une cordelette.
2. Détail de la suspension : une cordelette s'enroule sur un axe mû par un moteur pas à pas (cylindre horizontal court en haut), ce qui permet de faire monter et descendre les bacs. L'échelle centimétrique placée sur le montant sert à surveiller les mouvements verticaux. L'air de ventilation est envoyé par une pompe à membrane (hors de la photo) dans le tuyau souple à gauche en bas, puis est stérilisé à travers un filtre seringue (flèche épaisse) et introduit dans le bac; finalement l'air s'échappe du bac par un tuyau court avec un tampon d'ouate (flèche fine).
3. Bouchon des réservoirs traversé de deux tubes en verre : celui pour la ventilation stérile est bouché par un tampon d'ouate, le second pour des ajouts correctifs est fermé par un tube à essai.
4. Bac rempli de billes de verre avec le raccordement du tuyau allant au réservoir. A droite, le tube de verre vertical sert de niveau d'eau. Il est bouché par un tampon d'ouate au sommet.
5. Embranchement sur le tuyau reliant le réservoir et le bac, avec le robinet pour prélever, sans contamination de l'expérience, du milieu de culture pour les analyses.
6. Billes de verre représentant le sable (diamètre 1 mm).
7. Mini-carottier pour prélever sans contamination des échantillons de billes de verre durant l'expérience. En bas à gauche, la languette est rabattue en tirant sur le fil noir pour fermer la base du carottier.
8. Mini-carottiers ouverts par la charnière avec les billes échantillonnées.

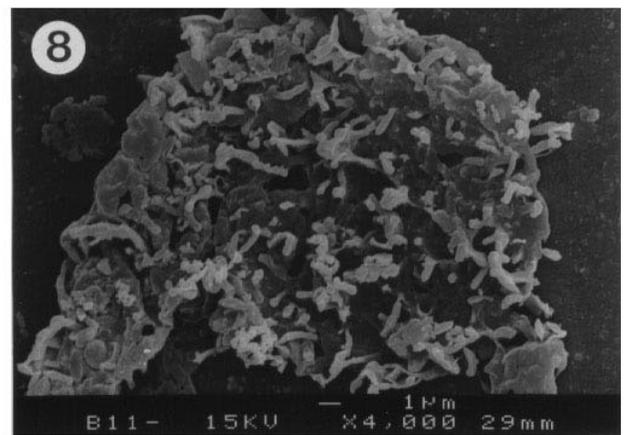
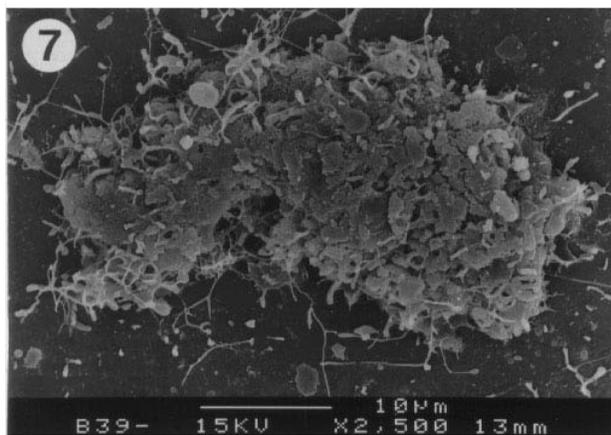
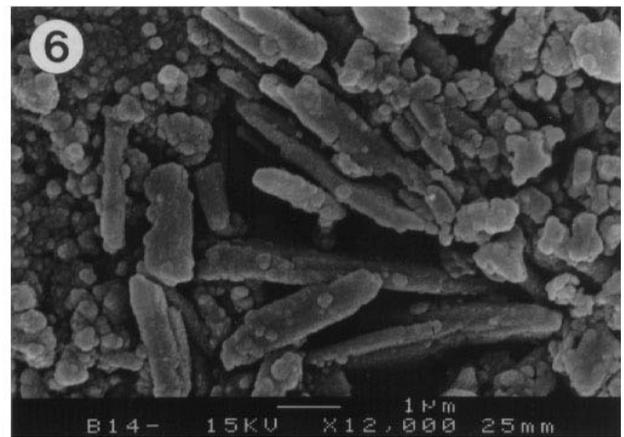
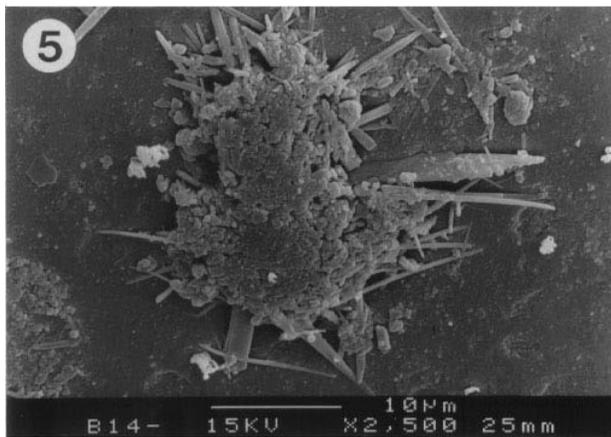
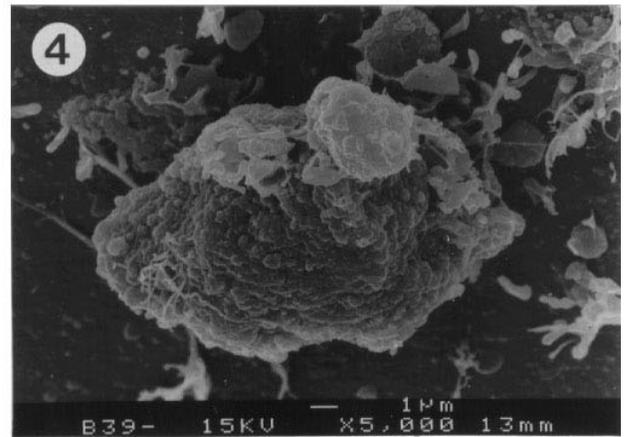
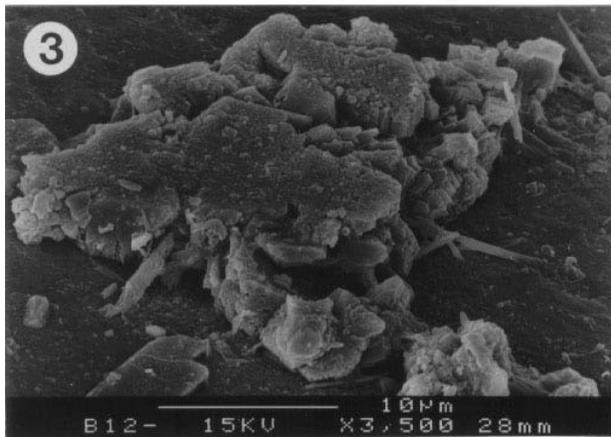
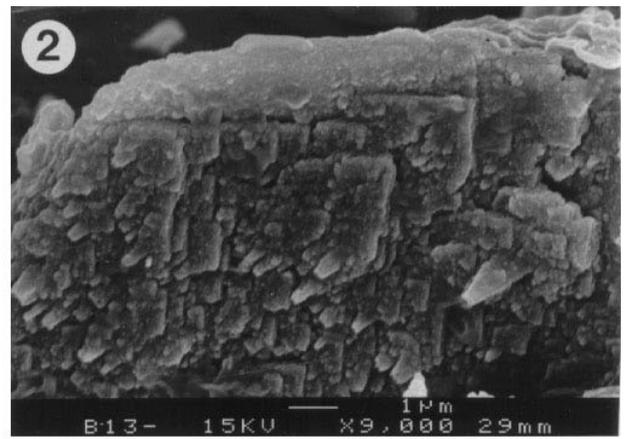
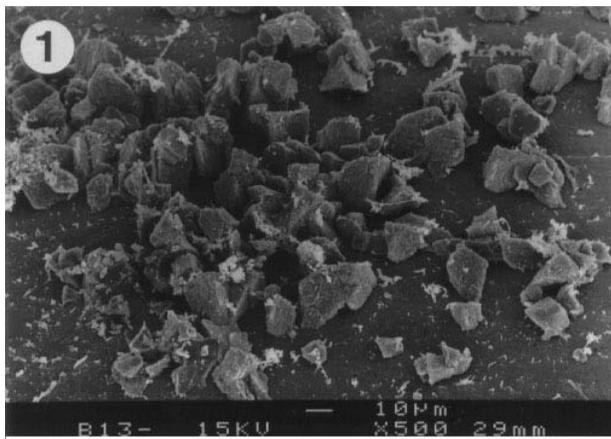


## Planche 11

### Résultats de l'expérience

Les précipités des photos 1 à 8 sont composés de  $\text{CaCO}_3$  selon les analyses ponctuelles EDS.

1. Cristaux équigranulaires euhédraux de  $\sim 20 \mu\text{m}$ . Les petites taches blanches sont des bactéries (expérience IA après 75 jours).
2. Surface rugueuse d'un cristal équigranulaire euhédral. La surface est structurée par des alignements cristallins, tout en étant irrégulière, composée d'éléments globulaires de  $\sim 0.5 \mu\text{m}$ . Détail de la photo 1 (expérience IA après 75 jours).
3. Agrégat de cristaux subhédraux (expérience IA après 75 jours).
4. Cristal subhédral en forme de fuseau, entouré de bactéries d'environ  $1 \mu\text{m}$  (expérience IIIA après 125 jours).
5. Cristaux prismatiques allongés recouverts par une masse globulaire compacte (expérience IA après 75 jours).
6. Cristaux prismatiques allongés de section arrondie (expérience IA après 75 jours).
7. Masse peu structurée, entourée de bactéries (expérience IIIA après 125 jours).
8. Masse non structurée à surface ondulée, recouverte par de nombreuses bactéries (en blanc), dont certaines sont partiellement prises dans le précipité (expérience IA après 75 jours).



## Planche 12

### Résultats de l'expérience

Les précipités des photos 1 à 3 sont composés de  $\text{CaCO}_3$  selon les analyses ponctuelles EDS.

1. Détail d'une masse sans structure cristalline. La surface est composée d'éléments globulaires de  $\sim 0.5 \mu\text{m}$  (expérience IA après 75 jours).
2. Cônes allongés composés par des alignements de sphères (expérience IA après 35 jours).
3. Masse fibreuse avec quelques bactéries en surface. La structure semble composée de formes organiques, notamment à la base (expérience IA après 75 jours).
4. Coques (bactéries sphériques) de  $\sim 1 \mu\text{m}$  (expérience IIB après 74 jours).
5. Diverses types de bactéries : bâtonnets, coques de  $\sim 1 \mu\text{m}$  et coques (?) de  $\sim 5 \mu\text{m}$  avec un réseau extracellulaire de polysaccharides (expérience IIIA après 125 jours).
6. Surface de bille recouverte par un biofilm dense composé de filaments cyanobactériens et de bactéries (expérience IIIA après 125 jours).
7. Réseau fin fortement ramifié correspondant probablement à des polysaccharides extracellulaires produits par des bactéries (expérience IA après 75 jours).
8. Surface des billes sans précipités, avec une légère rugosité de  $\sim 0.5 \mu\text{m}$  (expérience IIB après 74 jours).

