

## 16

### EVOLUTION DES POPULATIONS BACTERIENNES PRECIPITANT LE CARBONATE, AVEC OU SANS ALCALINISATION DU MILIEU, DANS DIFFERENTS CAS DE CONFINEMENT EXPERIMENTAL, D'EAU ET DE SEDIMENT LAGUNAIRES MEDITERRANEENS

S. CASTANIER\*, A. MAURIN\*\* et A. BIANCHI\*

\* Microbiologie Marine, C.N.R.S., E.R. 223 Université de Provence, 3 Place Victor-Hugo, 13331 MARSEILLE Cedex 3 (FRANCE)

\*\* Compagnie Française des Pétroles, Total, 39 à 43, quai André-Citroën 75739 PARIS Cedex 15 (FRANCE)

**RÉSUMÉ** - Afin de déterminer si la précipitation du carbonate est un phénomène bactérien actif ou passif, une analyse des correspondances est réalisée sur 880 souches isolées d'eaux et de sédiments lagunaires ayant subi différents stress. Les résultats montrent qu'il existe une forte anti-corrélation entre le processus de la précipitation du carbonate et celui de l'ammonification des acides aminés. La précipitation du carbonate n'est donc pas un phénomène passif en relation avec l'ammonification des acides aminés.

*Mots clés* : précipitation du carbonate, ammonification des acides aminés, sédiment marin, bactéries, analyse factorielle.

**ABSTRACT** - To determine if carbonate precipitation is an active or passive bacterial phenomena, factorial analysis has been realized with 880 strains isolated from different samples of sea water and muds kept in various conditions of incubation. Results show the existence of a strong anti-correlation between carbonate precipitation and amino-acids ammonification. Carbonate precipitation is not a passive phenomena linked with amino-acids ammonification.

*Key Words* : carbonate precipitation, amino-acids ammonification, marine sediment, bacteria, factorial analysis.

#### INTRODUCTION :

Bien qu'actuellement de nombreux auteurs admettent que la précipitation du carbonate soit d'origine microbienne (Lalou, 1957 ; Oppenheimer, 1961 ; Cloud, 1962), la controverse persiste, car on ignore le degré de participation des micro-organismes dans la cristallisation du carbonate de calcium. On ignore si les bactéries amorcent seulement le processus de précipitation (Kellerman, 1915, Berkeley, 1919) ou le réalisent totalement (Billy, 1975). Dans le cas où on attribue un rôle indirect au processus, l'activité bactérienne créerait des conditions physico-chimiques favorables à la précipitation (Novitsky, 1981). La précipitation du carbonate de calcium est favorisée par une alcalinisation du milieu, telle celle résultant de l'ammonification des acides aminés par voie bactérienne. Ce processus d'ammonification est particulièrement intense dans les sédiments littoraux eutrophes lors de la dégradation de la matière organique. Dans le cas où un rôle direct est reconnu, les bactéries provoqueraient la concentration des  $Ca^{++}$  dans leur membrane avec formation de cristaux (Morita, 1980). Krumbein (1972) et Greenfield (1963) montrent, en

microscopie électronique que des cristaux d'aragonite sont formés autour de cellules bactériennes mortes. Cornée (1983) observe des formes cristallines analogues dans des dépôts de marais salants et des cultures microbiennes, mais le rôle des micro-organismes dans ces cristallisations ne peut être précisé. Berner (1969) pense que la formation de carbonate de calcium, est liée à la décomposition des poissons, source de Triméthyl ammonium n-oxyde (TMAO) qui peut être utilisé comme accepteur terminal d'électrons par certaines bactéries.

Pour déterminer si les bactéries ont un rôle actif ou passif dans la précipitation du carbonate, nous avons provoqué sur des échantillons d'eau et de sédiment d'un environnement lagunaire, différents stress destinés à induire des perturbations sur la structure des microflores. Au moyen de techniques bactériologiques, nous avons suivi la dynamique de ces communautés bactériennes, en particulier les effets sur la fraction de chaque peuplement capable de précipiter le carbonate. L'importance de la collection de souches bactériennes obtenues en culture pure, nous a permis, après avoir cherché leur capacité de précipiter le carbonate, d'ammonifier les acides aminés, et de réduire le nitrate, parmi de nombreux autres tests (105), de mettre en évidence les conditions idéales de prolifération de ce groupe bactérien. De plus, la recherche d'une corrélation ou d'une anti-corrélation par le moyen de l'analyse factorielle des correspondances, permet de préciser la dépendance de la calcification avec l'ammonification. La même recherche concernant la réduction des nitrates et celle du sulfate fera l'objet de travaux ultérieurs.

## **MATERIELS ET METHODES**

### ***Prélèvements***

Les prélèvements ont été effectués dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la lagune du Brusca (Méditerranée occidentale). Neuf carottes ont été prélevées simultanément dans cet herbier au moyen de tube en plexiglass de 5 cm de diamètre et de 30 cm de longueur. Pour chacune des 9 carottes, nous avons étudié l'eau surnageante et trois niveaux du sédiment sablo-vaseux : la zone oxydée comprise entre 0 et 3 cm, la zone comprise entre 8 et 10 cm et la zone comprise entre 18 et 20 cm, qui correspondent à des zones réduites. Les analyses bactériologiques ont été effectuées sur 44 échantillons et 880 souches au total ont été isolées au moyen d'une grille d'échantillonnage aléatoire sélectionnant 20 souches par échantillon.

### ***Montage expérimental***

La première carotte a été étudiée immédiatement après sa collecte. Elle constitue le point de référence, traduisant l'état des communautés bactériennes et de la réserve minérale dans les conditions naturelles de la lagune du Brusca au moment de son prélèvement (septembre 1982). Les autres carottes ont été conservées au laboratoire dans leur tube de prélèvement en PVC de 5 cm diamètre, de 30 cm de longueur, dans différentes conditions destinées à induire différentes perturbations de la structure des communautés bactériennes (fig. 1).

La carotte n°1 et l'eau surnageante correspondante (E1), analysées immédiatement après le prélèvement, ont été utilisées pour dénombrer les peuplements bactériens et définir leur structure taxonomique.

La carotte n°2 et son eau surnageante (E2), ont été incubées en anaérobiose pendant un mois, à l'obscurité, à température ambiante, après adjonction de TMAO à raison de 2,22 g/l de sédiment et d'acétate de calcium (2,5 g/l). Cet écosystème clos n°2, montre l'influence de l'anaérobiose sur la prolifération des bactéries calcifiantes. Le TMAO ajouté sert d'accepteur terminal d'électrons organique (Sakaguchi et Akai, 1977). L'enri-

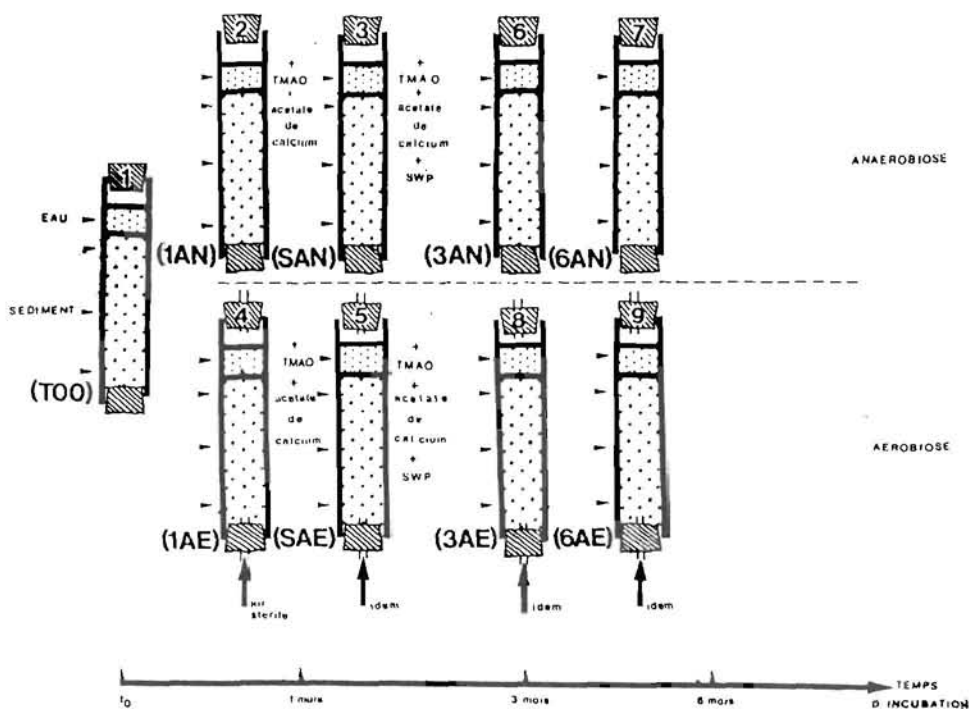


Figure 1 : Schéma du montage expérimental.

chissement en acétate de calcium, constitue une source de calcium supplémentaire pour les bactéries calcifiantes, mais peut aussi être utilisé comme source de carbone et d'énergie.

La carotte n°3 et son eau surnageante (E3), réunissant les mêmes conditions que la carotte n°2 a subi un amendement supplémentaire en matière protéique facilement assimilable, et en facteurs de croissance complexes sous forme de peptone (5 g/l) et d'extraits de levure (2 g/l) stérilisés par filtration.

La carotte n°4 et son eau surnageante (E4) avec les mêmes amendements que la carotte n°2 a été soumise à une aération par insufflation d'air stérilisé à sa base. On observe que l'air suit des canaux préférentiels lors de son cheminement vers la surface, en raison de la granulométrie des sédiments. Cette carotte en comparaison avec la carotte n°2, montre l'action de l'aérobiose sur les bactéries calcifiantes aussi bien de l'eau que du sédiment.

La carotte n°5 et son eau surnageante (E5) ont reçu le même enrichissement en peptone et en facteur de croissance que la carotte n°3 mais ont été maintenues en incubation sous injection d'air stérile. La durée d'incubation pour ces 4 carottes a été fixée à un mois, en fonction des résultats obtenus par Morita (1980) et Novitsky (1981).

Les carottes n°6 et 8 et leurs eaux surnageantes (E6 et E8) ont été incubées pendant 3 mois, sans aucun amendement, respectivement en anaérobioses (n°6) et en aérobioses (n°8). Comme les précédentes, les carottes n°7 et 9 et leurs eaux surnageantes (E7 et E9) n'ont reçu aucun amendement mais l'incubation a été poursuivie pendant 6 mois en anaérobioses (7) et en aérobioses (9).

### **Milieux de culture :**

Les effectifs bactériens et les structures des communautés bactériennes ont été déterminés sur milieu de Oppenheimer et Zobell 2216E (1952). L'ammonification des acides est étudiée sur un milieu spécialement préparé à cet effet de composition suivante :

Biotrypcase 2 g,  $K_2HPO_4$  0.3 g, Bleu de Bromothymol 0.03 g, Cysteine 0.5 g, D. Alpha-alanine 0.5 g, Alpha-proline 0.5 g, Asparagine 0.5 g, Glutamate 0.5 g, Aspartate 0.5 g, Alpha-arginine 0.5 g, Leucine 0.5 g, Glycine 0.5 g, Alpha-lysine 0.5 g, L.méthionie 0.5 g, Agar 15 g, 1 l d'eau de mer artificielle. pH ajusté à 7.5 avant stérilisation.

L'ammonification des acides aminés provoque une alcalinisation qui se traduit par un virage du bleu de bromothymol au bleu intense.

La précipitation du carbonate a été recherchée sur 880 souches sur un milieu de culture spécialement préparé à cet effet, de composition suivante :

Peptone 1 g, Extrait de levure 1 g, Acétate de Ca 2 g,  $KNO_3$  0.5 g agar 15 g, 1 l d'eau de mer artificielle, pH ajusté à 7,5 avant stérilisation,

L'acétate de calcium est utilisé comme source organique de calcium comme Adolphe et Billy (1974), Billy et Blanc (1977) et Novitsky (1981) le préconisent. La précipitation se traduit par une apparition de dépôts de carbonate de calcium à la périphérie et sur la colonie.

### **Analyse factorielle des correspondances**

L'analyse factorielle des correspondances proposée dans les années 60 par J.P. Benzecri et B. Escoffier, est devenue la méthode privilégiée de description des données qualitatives en écologie (Laurec, 1979). Pour mettre en évidence des relations entre certains caractères des populations bactériennes et les conditions d'incubation ou d'amendement nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances.

## **RESULTATS ET DISCUSSION :**

Le grand nombre de souches étudiées (880) permet d'effectuer une étude statistique de la répartition de celles précipitant le carbonate, et/ou ammonifiant les acides aminés, en fonction des différentes conditions d'incubation. L'étude de cette répartition a pour but la mise en évidence de l'existence, ou de la non existence d'un lien entre les deux processus de précipitation du carbonate et d'ammonification des acides aminés, ainsi que de préciser les conditions les plus favorables à l'instauration d'une microflore capable de précipiter le carbonate.

Les conditions de culture imposées déterminent la configuration de la structure qui réunit 9 cas (fig. 2) identifiés par :

- (TOO) population de la carotte 1, au temps 0, établissant l'état initial - (SAN) population en présence de protéines en anaérobiose au bout de 1 mois - (SAE) population en présence de protéines en aérobiose au bout de 1 mois - (IAN) population en absence de protéines en anaérobiose au bout de 1 mois - (IAE) population en absence de protéines en aérobiose au bout de 1 mois - (3AN) population en anaérobiose au bout de 3 mois - (3AE) population en aérobiose au bout de 3 mois - (6AN) population au bout de 6 mois en anaérobiose - (6AE) population au bout de 6 mois en aérobiose

L'analyse factorielle a été faite en distinguant : - les souches qui précipitent le carbonate sans ammonifier les acides aminés (OC), - celles qui ammonifient les acides aminés sans précipiter le carbonate (BO), - celles qui réalisent les deux processus (BC), - celles qui ne font aucun des deux (OO).

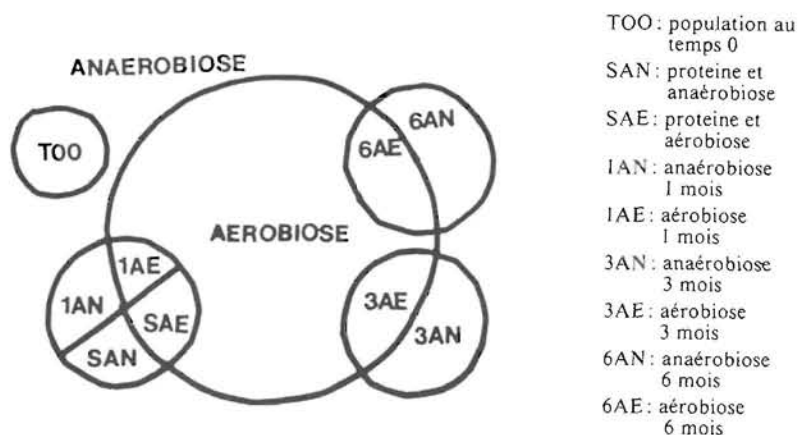


Figure 2 : Schéma représentant la structure.

Cette distinction permet d'étudier l'ammonification simple des acides aminés, la précipitation simple du carbonate et le phénomène combiné. Les axes choisis sont ceux renfermant le maximum d'information.

**L'ammonification simple des acides aminés : (ammonification sans précipitation du carbonate : BO)**

Les points 1BO et 1OO qui figurent respectivement les pôles positif et négatif de l'ammonification simple des acides aminés, et qui sont bien représentés dans les axes 2 et 4 (fig. 3), permettent le tracé d'un axe d'ammonification simple dans l'eau. La projection des points bien représentés dans ces axes, TOO, 1AN, 1AE, 3AE et 6AE indique quelles sont les conditions expérimentales favorables à cette ammonification simple dans l'eau. La présence dans le pôle positif du point TOO indique que les bactéries présentes à l'origine dans l'eau de la lagune étaient capables de réaliser l'ammonification simple des acides aminés. La migration du point SAN vers le pôle positif par rapport au point TOO, montre que l'eutrophisation en anaérobiose (SAN) favorise la prolifération des bactéries ammonifiantes. Par contre, le déplacement par rapport au point TOO, des points 1AN, 1AE, 3AE et 6AE indique que ces conditions sont moins favorables à l'ammonification simple des acides aminés. L'eau lagunaire est naturellement oxygénée. Le renforcement de l'oxygénation et la clôture du système aux échanges nutritifs constituent un stress important pour les bactéries réalisant l'ammonification simple des acides aminés.

Les points 2BO (pôle positif) et 2OO (pôle négatif) bien représentés dans les axes 3 et 4, permettent le tracé de l'axe d'ammonification simple des acides aminés dans le sédiment superficiel (fig. 3). Les bactéries du sédiment superficiel (TOO) à l'origine, ne sont pas orientées vers l'ammonification simple des acides aminés. L'oxygénation du sédiment (1AE) favorise l'ammonification simple bien qu'il n'y ait pas eu d'apport protéique. Au cours du temps (3AE, 6AE), avec l'épuisement de la réserve organique initiale, la propension à l'ammonification simple diminue (les points se rapprochent du pôle négatif). L'absence de bactéries ammonifiantes à l'origine peut s'expliquer par une pauvreté en acides aminés, ou la prolifération de ces bactéries lorsque le sédiment est soumis à l'aération sans eutrophisation, prolifération qui diminue dans le temps, indique qu'il n'y avait pas de carence en acides aminés. Il semblerait plutôt que l'instauration de l'aérobiose ait défavorisé des groupes de bactéries qui étaient en compétition avec les bactéries ammonifiantes. La mauvaise représentation de SAN et SAE dans ce jeu d'axes empêche de percevoir l'effet de l'eutrophisation.

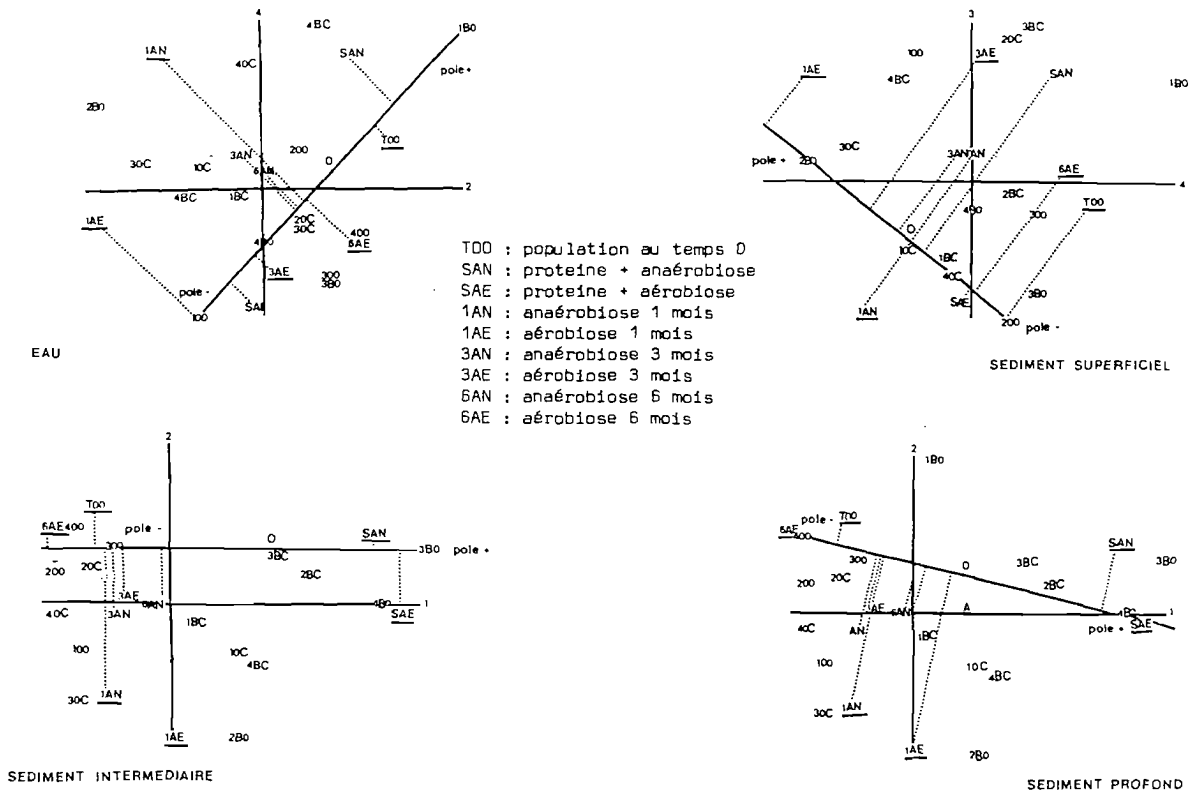


Figure 3 : Droites d'ammonification simple des acides aminés dans l'eau, le sédiment superficiel, intermédiaire et profond.

TOO : Population au temps 0  
 SAN : Protéine + Anaérobiose  
 SAE : Protéine + Aérobie  
 IAN : Anaérobiose 1 mois  
 1AE : Aérobie 1 mois

3AN : Anaérobiose 3 mois  
 3AE : Aérobie 3 mois  
 6AN : Anaérobiose 6 mois  
 6AE : Aérobie 6 mois

Valeur-propre active sur l'axe 1 : 0.22511320  
 Valeur-propre active sur l'axe 2 : 0.13173498  
 Valeur-propre active sur l'axe 3 : 0.11381243  
 Valeur-propre active sur l'axe 4 : 0.07423629

Les points 3BO (pôle positif) et 3OO (pôle négatif) bien représentés dans les axes 1 et 2 permettent le tracé de la droite d'ammonification simple dans le sédiment intermédiaire (fig. 3). La présence du point TOO dans le pôle négatif indique que comme le sédiment superficiel, le sédiment intermédiaire (8 à 10 cm) n'était pas orienté vers l'ammonification simple des acides aminés. L'eutrophisation en anaérobiose (SAN) ou en aérobiose (SAE) est extrêmement favorable à la prolifération des bactéries ammonifiant les acides aminés. Les points 1AE et 6AE sont fortement déportés vers le pôle négatif ce qui signifie que l'aération du sédiment ne sélectionne pas des souches réalisant l'ammonification simple des acides aminés. C'est plutôt l'absence ou la présence de matériel protéique qui sélectionne la prolifération des bactéries réalisant l'ammonification simple des acides aminés.

Les points 4BO (pôle positif) et 4OO (pôle négatif) sont bien représentés dans les axes 1 et 2. La présence du point TOO dans le pôle négatif de l'axe d'ammonification simple tracé pour le sédiment "profond" (18 à 20 cm), montre qu'à l'origine, sa microflore n'est également pas orientée vers ce processus. De même que dans le niveau sédimentaire précédent, l'eutrophisation en anaérobiose (SAN) ou en aérobiose (SAE) favorise fortement la prolifération des bactéries ammonifiantes.

Dans les conditions du milieu naturel, seule la microflore de l'eau réalise l'ammonification simple des acides aminés. L'adjonction de protéines en anaérobiose, provoque un développement de cette microflore dans l'eau, le sédiment intermédiaire et dans le sédiment "profond". Dans le sédiment superficiel, la réserve organique initiale pas plus que l'apport protéique n'orientent la microflore vers l'ammonification simple des acides aminés.

**La précipitation simple du carbonate :** (précipitation sans ammonification des acides aminés : OC)

Les points 1OC et 1OO qui figurent respectivement les pôles positif et négatif sont bien représentés dans les axes 2 et 3 et permettent le tracé d'un axe de précipitation simple du carbonate dans l'eau (fig. 4). A l'origine, la microflore de l'eau est orientée vers la précipitation simple du carbonate, le point TOO se trouvant dans le pôle positif. La clôture du système aux échanges nutritifs et gazeux (IAN) détermine la prolifération des bactéries réalisant cette précipitation simple du carbonate. L'aération semble être défavorable à ces bactéries ; 1AE et 3AE se trouvent dans le pôle négatif. L'action de l'eutrophisation n'est pas perceptible ici, les points SAN et SAE qui sont mal représentés dans le plan ne peuvent pas confirmer l'action du confinement.

Les points 2OC (pôle positif) et 2OO (pôle négatif), bien représentés dans les axes 1 et 3, permettent le tracé d'une droite de précipitation simple du carbonate dans le sédiment superficiel (fig. 4). A l'état initial, la microflore du sédiment superficiel n'est pas orientée vers la précipitation simple du carbonate (TOO). L'incubation en anaérobiose (IAN) avec clôture du système aux échanges nutritifs défavorise fortement la précipitation. L'eutrophisation en anaérobiose (SAN) induit la prolifération des bactéries faisant la précipitation simple du carbonate.

Par contre, l'eutrophisation en aérobiose (SAE) n'a pas cette action. L'eutrophisation n'a une action positive que si elle est réalisée en anaérobiose. La clôture du système en anaérobiose aux échanges nutritifs et minéraux (3AE) et 6AE) ne semble pas favorable aux bactéries réalisant la précipitation simple du carbonate. Ceci peut s'expliquer par une variation des équilibres des communautés bactériennes, variation profitable aux bactéries calcifiantes qui s'atténuerait dans le temps (le point 6AE se trouve presque au niveau neutre).

Les points 3OC (pôle positif) et 3OO (pôle négatif) sont bien représentés dans les axes 1 et 2 (fig. 4). A l'origine, la microflore du sédiment intermédiaire n'est pas orientée vers la précipitation simple du carbonate. La clôture du système aux échanges nutritifs en

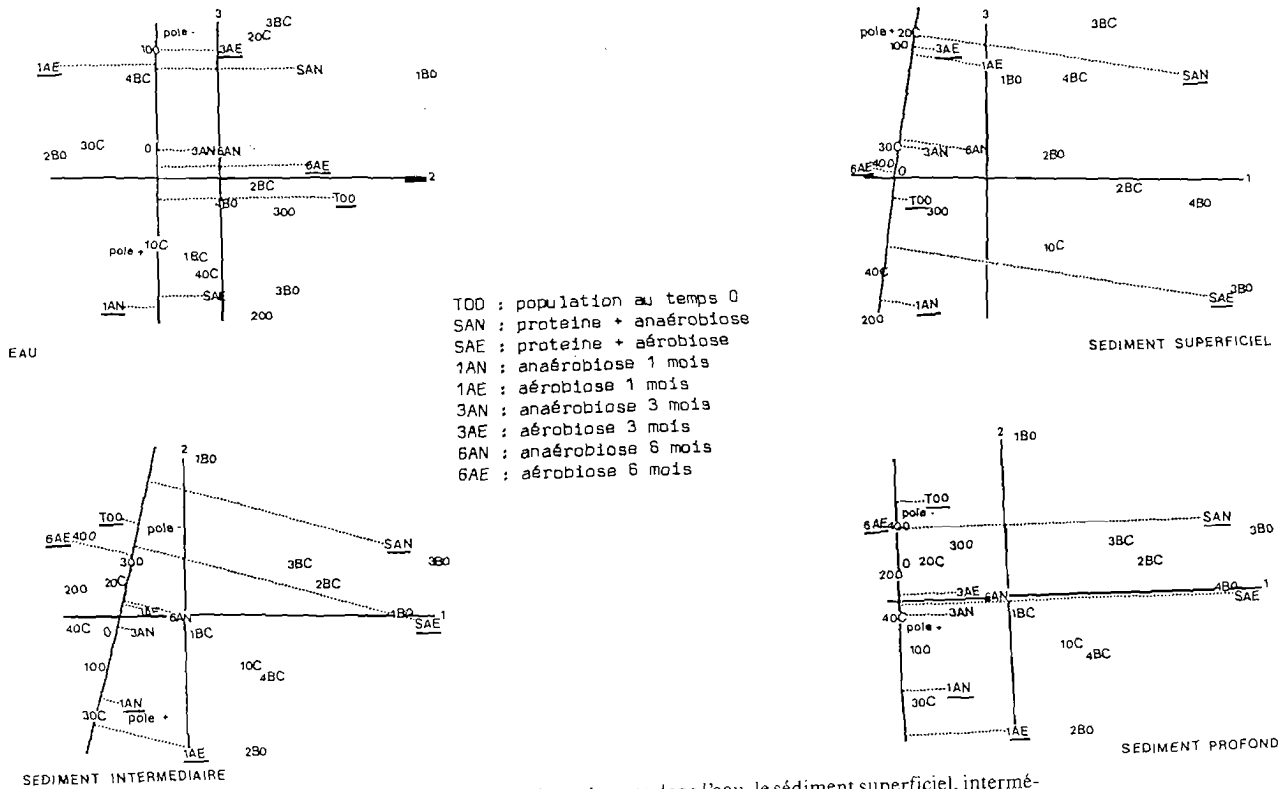


Figure 4 : Droites de précipitation du carbonate dans l'eau, le sédiment superficiel, intermédiaire et profond.

TOO : Population au temps 0  
 SAN : Protéine + Anaérobiose  
 SAE : Protéine + Aérobiose  
 1AN : Anaérobiose 1 mois  
 1AE : Aérobiose 1 mois

3AN : Anaérobiose 3 mois  
 3AE : Aérobiose 3 mois  
 6AN : Anaérobiose 6 mois  
 6AE : Aérobiose 6 mois

Valeur-propre active sur l'axe 1 : 0.22511320  
 Valeur-propre active sur l'axe 2 : 0.13173498  
 Valeur-propre active sur l'axe 3 : 0.11381243



aérobiose ou en anaérobiose (IAN et IAE) est très favorable à la prolifération des bactéries précipitant le carbonate. Par opposition, une eutrophisation à base de composés protéiques en aérobie et en anaérobiose (SAN et SAE) place ces bactéries en position de compétition défavorable.

Les points 4OC (pôle positif) et 4OO (pôle négatif) bien représentés dans les axes 1 et 2 permettent le tracé d'un axe de précipitation simple du carbonate (fig. 4). La position du point TOO dans le pôle négatif indique que la microflore du sédiment "profond" n'est pas orientée vers la précipitation simple du carbonate. Les points IAE et IAN sont dans le pôle positif ce qui indique que la clôture du système aux échanges nutritifs sans eutrophisation est favorable aux bactéries précipitant le carbonate. La position du point 6AE dans la région négative indique qu'en l'absence de renouvellement des éléments nutritifs et minéraux, la microflore précipitant le carbonate épuise en 6 mois la réserve de ce sédiment "profond".

#### *Précipitation et basification combinées :*

La même exploitation de l'analyse factorielle indique qu'à l'état initial la microflore de l'eau de la lagune de Brusac est capable à la fois d'effectuer l'ammonification des acides aminés (fig. 3) et la précipitation du carbonate (fig. 4). Cependant il semble que l'examen des probabilités conditionnelles (tab. 1) permet de mieux visualiser le phénomène combiné que l'interprétation des figures 3 et 4.

		TOO	IAN	3AN	6AN	IAE	3AE	6AE	SAN	SAE
EAU	1BO	278	028	028	056	000	083	194	306	000
	1OC	053	187	067	107	093	093	027	067	187
SEDIMENT SUPERFICIEL	2BO	000	226	000	097	290	065	000	129	097
	2OC	130	000	185	111	093	241	130	056	000
SEDIMENT INTERMEDIAIRE	3BO	074	000	037	037	000	037	037	185	407
	3OC	056	183	155	042	225	127	070	000	000
SEDIMENT PROFOND	4BO	022	022	000	067	133	022	044	222	311
	4OC	138	224	207	069	034	017	086	017	000

Tableau n°1: Probabilités de développement de chaque type de population microbienne (OC: population précipitant le carbonate de calcium uniquement, BO: population ammonifiant les acides aminés sans précipiter le carbonate de calcium) calculées à partir des données expérimentales en fonction de chaque condition de culture.

Cette étude des probabilités conditionnelles qui considèrent l'influence des conditions de culture sur ces deux types de population en tenant compte du phénomène combiné, montre que c'est l'ammonification qui prédomine sur la précipitation du carbonate (278/053). Par contre cette même analyse montre qu'au sein des microflores des sédiments superficiel et "profond", la précipitation simple du carbonate domine sur l'ammonification des acides aminés. La clôture du système aux échanges nutritifs favorise dans les sédiments intermédiaire et "profond", en aérobie (IAE) et en anaérobiose (IAN) la précipitation simple du carbonate et défavorise l'ammonification simple des acides aminés. Si on considère le phénomène combiné (tab. 1) en aérobie (IAE), c'est l'ammonification qui supplante la précipitation dans les sédiments superficiel et "profond" (290/093 et 133/034). Par contre dans le sédiment intermédiaire, c'est la précipitation (000/183 et 022/138), situation qui est inverse dans le sédiment superficiel (226/000). Après 6 mois d'incubation en aérobie sans enrichissement (6AE), la microflore du sédiment superfi-

ciel n'est plus particulièrement orientée vers l'ammonification simple des acides aminés, alors que les populations capables de réaliser la précipitation simple du carbonate sont favorisées (000/130). Dans le cas de la microflore de l'eau (6AE), les mêmes conditions, c'est-à-dire l'évolution en aérobiose pendant 6 mois, favorisent fortement l'ammonification (194/027). L'apport protéique en anaérobiose (SAN) défavorise très fortement la précipitation pour privilégier l'ammonification simple des acides aminés. Cette orientation est très forte dans l'eau et les trois niveaux sédimentaires, et en particulier l'ammonification masque totalement la précipitation dans les sédiments intermédiaire (185/000) et "profond" (222/017). De même, en aérobiose (SAE) l'eutrophisation oriente les microflores des trois niveaux sédimentaires vers l'ammonification (097/000, 407/000 et 311/000), et d'une manière opposée la microflore de l'eau où la précipitation masque totalement l'ammonification (000/187).

## CONCLUSION

Les conditions de culture favorisent fortement l'apparition de souches bactériennes réalisant l'un des deux processus étudiés, défavorisent la prolifération de celles capables d'effectuer l'autre processus. Seule, l'incubation prolongée pendant 6 mois en anaérobiose sans enrichissement protéique (6AN) ne semble pas différencier les deux processus. Cette diminution des effectifs peut être attribuée à l'épuisement de la réserve organique limitant le processus d'ammonification des acides aminés et à l'épuisement de la réserve minérale pour l'activité de la microflore précipitante qui suit un développement rapide au cours des premiers stades de cette longue période d'incubation. Dans ce cas, les deux premiers stades de cette longue période d'incubation. Dans ce cas, les deux microflores sont également peu abondantes. Cette forte anti-corrélation indique l'absence de lien entre ces deux processus. Il est donc possible d'affirmer qu'il existe une activité bactérienne provoquant la précipitation du carbonate qui n'est pas un phénomène passif en relation avec l'ammonification des acides aminés. Les interrelations existant entre les deux populations bactériennes (tab. I), l'une ammonifiant les acides aminés sans précipiter le carbonate et l'autre précipitant le carbonate sans ammonifier les acides aminés sont différentes selon les écosystèmes. Dans l'eau, ce sont les incubations de un mois en aérobiose (1AE), de un mois en anaérobiose (1AN) et l'apport protéique en aérobiose (SAE) qui favorisent le plus la précipitation simple du carbonate. Dans le sédiment, ce sont les incubations en anaérobiose pendant un mois (1AN) et trois mois (3AN) qui favorisent les bactéries précipitant le carbonate. Ce type d'incubation en milieu non renouvelé, provoque l'épuisement rapide de la réserve organique défavorisant les bactéries ammonifiantes au profit des bactéries précipitant le carbonate. Il semblerait que la précipitation du carbonate soit due à l'activité de deux types au moins de populations bactériennes. En effet, les souches réalisant l'ammonification des acides aminés induisent en présence de ce substrat, l'apparition de conditions physico-chimiques favorables à la précipitation chimique du carbonate. En cas de carence en acides aminés leur contribution est nulle. L'autre population qui réalise la précipitation du carbonate en absence d'acides aminés constituerait la fraction active du phénomène. L'analyse factorielle montre qu'il n'y a pas de lien entre les deux processus au sein de la dynamique globale des communautés bactériennes de chaque écosystème, cependant l'évolution de ces deux populations est favorisée par des conditions environnementales différentes. De ce fait, les deux processus et les deux populations bactériennes assurent des possibilités d'évolution complémentaires à la réserve carbonatée d'un sédiment.\*

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention de recherche passée avec la C.F.P.

- 
- ADOLPHE J.P. et BILLY C., 1974. Biosynthèse de calcite par une association bactérienne aérobie. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 278 : 2873-2875.
- BERKELEY C., 1919. A study of marine bacteria, straits of Georgia, B.C. *Proc. Trans. R. Soc. Can. Ottawa, Section 5*, 13 : 15-43.
- BERNER R.A., 1969. Chemical changes affecting dissolved calcium during the bacterial decomposition of fish and clams in sea water. *Mar. Geol.* 7, 253-274.
- BILLY C., 1975. Isolement des constituants d'une association bactérienne productrice de calcite. *C.R. Acad. Sci. Paris*. Tome 281.
- BILLY C. et BLANC P., 1977. Applications du MEB à la cristallogénèse bactérienne d'aragonite et de calcite. Application du microscope électronique à balayage à la paléontologie et à la sédimentologie. *ed. par l'université Pierre et Marie Curie Paris*.
- CLOUD P.E., 1962. Carbonate precipitation and dissolution in the marine environment. *Chemical Oceanography, Riely J.P. Skirrow 6. eds, vol. 2*, Academic Press New-York 125-158.
- CORNÉE A., 1983. Sur les bactéries des saumures et des marais salants méditerranéens, importance et rôle sédimentologique. *Thèse de troisième cycle, Paris VI*.
- GREENFIELDS I.J., 1963. Metabolism and concentration of calcium and magnésium and precipitation of calcium carbonate by a marine bacterium. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 109 : 23-45.
- KELLERMAN K.F., 1915. Relation of bacteria to deposition of calcium carbonate, *Bull. Geol. Soc. Ann.* 26-58.
- KRUBEIN W.E., 1972. Role des microorganismes dans la genèse, la diagénèse et la dégradation des roches en place, *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 9 : 238-319.
- LALOU C., 1957. Studies on the bacterial precipitation of carbonate in sea water. *J. Sedim. Petrol.* 27 : 190-197.
- LAUREC A., 1979. Analyse des données et modèles prévisionnels en écologie marine. *Thèse de doctorat es Sciences, Université d'Aix-Marseille II*.
- MORRITTA R.Y., 1980. Calcite precipitation by marine bacteria. *Geomicrobiology J. Vol. 2 N.1.* : 63-81.
- NOVITSKY J.A., 1981. Calcium precipitation by marine bacteria. *Geomicrobiology J. Vol. N.4.* : 375-388.
- OPPENHEIMER C.H., 1961. Note on the formation of spherical aragonite bodies in the presence of bacteria from the Bahama Bank, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 23 : 295-296.
- OPPENHEIMER C.H. and ZOBELL C.E., 1952. The growth et viability of sixty three species of marine bacteria as influenced by hydrostatic pressure, *J. Mar. Res.* 11 : 10-18.