

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES RAPPORTS
EXISTANT ENTRE CERTAINS FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES
ET LA FLORE BACTÉRIENNE
DANS UN MILIEU SÉDIMENTAIRE LAGUNAIRE (1)

par J. LE PETIT et R. MATHERON

La lagune du Brusç est une région assez étroitement enserrée dans les terres. Elle ne communique avec la pleine mer que par des passages relativement réduits et son caractère de « milieu fermé » est accentué par la présence de « barrières » d'herbiers (fig. 1). La faible épaisseur

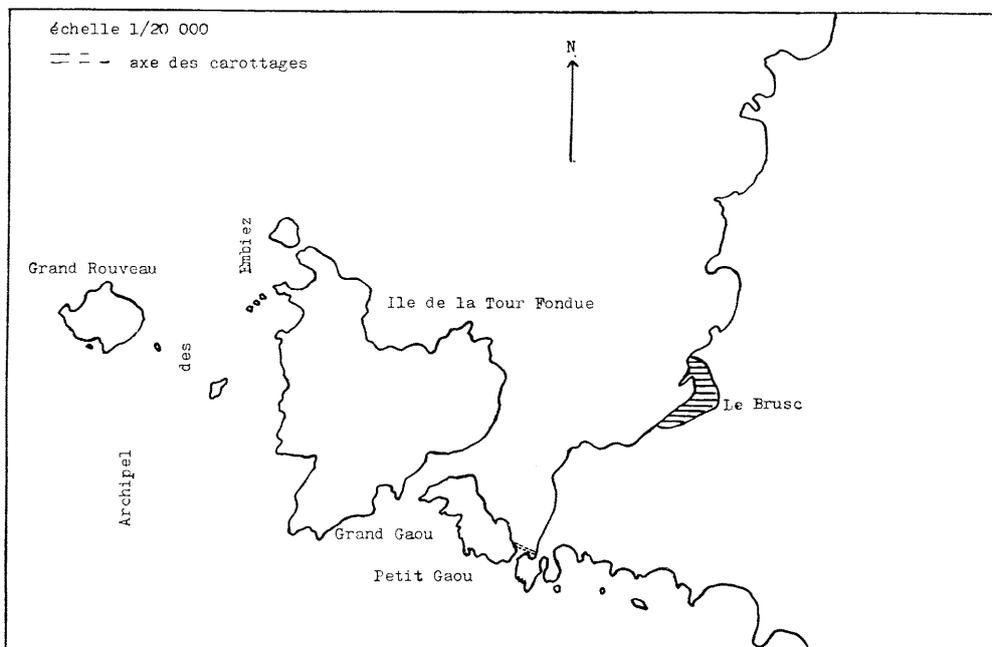


FIG. 1. — Carte générale de la région du Brusç.

de la nappe d'eau, l'importance d'un dépôt organique d'origine végétale et une circulation d'eau très réduite en constituent les principales caractéristiques.

(1) Ce travail résume les conclusions de deux Diplômes d'Études supérieures de Microbiologie écologique actuellement sous presse. — Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, 1962, fasc. 42, Bull. 27 :

J. LE PETIT. — Contribution à l'étude microbiologique des sédiments de la région du Brusç.

R. MATHERON. — Contribution à l'étude physico-chimique des sédiments de la région du Brusç.

Dans le cadre d'un ensemble de recherches faites sur cette lagune nous avons étudié dans une zone non caractérisée par un peuplement phanérogamique déterminé, les rapports qui pouvaient exister entre le milieu physico-chimique sédimentaire et les populations bactériennes qui s'y développent.

A cet effet, quatre stations ont été choisies sur une ligne reliant la route à l'île du Grand-Gaou (fig. 2).

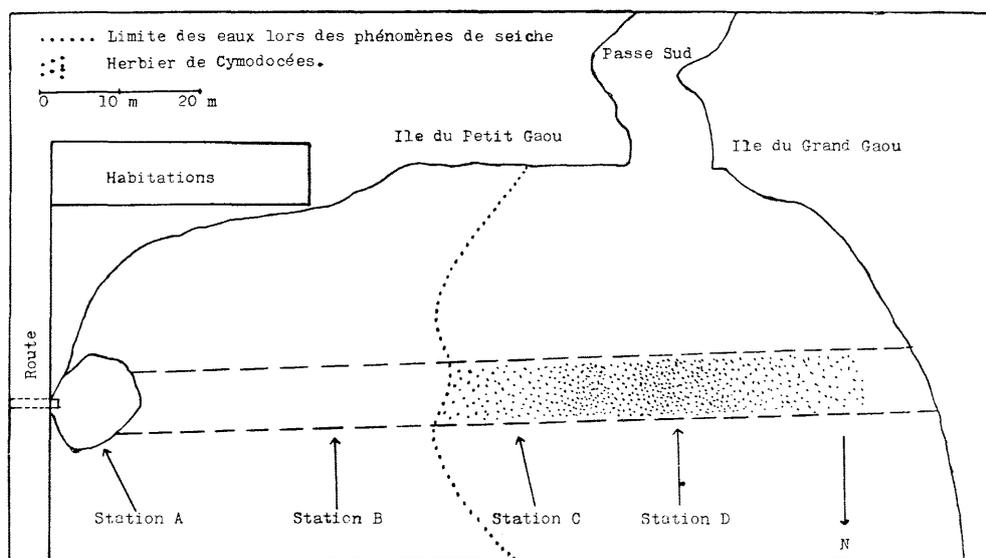


FIG. 2. — Localisation des stations.

La station A est une cuvette où s'accumule une importante quantité de débris organiques (feuilles et rhizomes de Posidonies) et qui est recouverte en permanence par une couche d'eau peu renouvelée de 30 à 40 cm d'épaisseur.

La station B est caractérisée par une émergence et immersion deux fois par jour et par la présence dans le sédiment de terriers d'*Upogebbia pusilla*.

La station C est à la limite des basses eaux. Elle est recouverte d'un peuplement de Cymodocées clairsemé et on note aussi la présence de nombreux terriers d'*Upogebbia pusilla*.

La station D est localisée dans l'axe de la passe sud et le sédiment est recouvert d'un herbier relativement dense de Cymodocées. La couche d'eau est en permanence agitée de faibles courants.

I — Physicochimie du milieu sédimentaire.

1^o) Granulométrie des sédiments.

La granulométrie permet de considérer le sédiment de la zone étudiée comme hétérogène, assez grossier et peu évolué dans l'ensemble.

La station A est essentiellement hétérogène et les éléments grossiers y jouent le rôle le plus important, les éléments fins individualisant nettement le niveau superficiel (de la surface à 10 cm).

Un début de classement peut être noté dans les sédiments de la station B. Les éléments grossiers croissent pondéralement avec la profondeur, mais il y a ici une possibilité de colmatage en profondeur de ces éléments par les particules fines entraînées par les eaux d'infiltration.

La présence d'une couche d'eau permanente à la station C constitue le facteur susceptible d'expliquer la plus grande évolution des sédiments. Les particules plus fines ont la possibilité de pénétrer dans les couches sous-jacentes du fait de la faiblesse de tassement des éléments grossiers superficiels.

La station D, enfin reflète un caractère plus harmonieux de la répartition verticale des différentes fractions sédimentaires.

Il existe donc une tendance à une évolution de plus en plus marquée depuis la station A jusqu'à la station D qui dévoile le rôle tenu par l'épaisseur de la couche d'eau et des courants qui l'agitent dans le classement du sédiment qu'elle recouvre.

2^o) *La teneur en eau.*

La teneur en eau des sédiments semble dépendre essentiellement de la granulométrie de celui-ci. La station A et la station D sont caractérisées par la présence d'une teneur en eau élevée (> 40%) à la surface du sédiment en relation avec un sédiment ténu. Cette teneur diminue jusqu'à 25 cm en A et 15 cm en D pour présenter en profondeur un accroissement déterminé par la sortie d'une nappe phréatique.

A la station B les phénomènes d'émersion et d'immersion font que lors des « Seiches » par exemple, la teneur en eau est maximum en profondeur.

A la station C l'absence de variations importantes dans l'épaisseur du sédiment (22 % dans les dix premiers cm, 25 % à 30 cm) résulte directement du tassement de celui-ci.

3^o) *Le pH.*

Les valeurs observées aux différentes stations montrent un pH des sédiments toujours inférieur à celui de l'eau qui les recouvre. Toutefois des mesures de pH faites dans un sédiment franchement marin (DEBYZER, 1952) révèlent des valeurs différentes de celles faites dans ce milieu lagunaire.

Aux stations A, B et C le pH tend à croître jusqu'à une profondeur de 10 cm environ alors que le pH d'un sédiment marin décroît depuis sa surface jusqu'à environ 10 cm de profondeur, niveau auquel se situe une valeur minimum. D'autre part la profondeur à laquelle le pH maximum est atteint, est plus faible pour ces mêmes stations (10 cm) que pour les sédiments franchement marins (20 cm).

La stabilisation de ce pH dans ces sédiments marins se fait à partir de 20 cm alors qu'on ne la retrouve guère qu'aux stations A et C, la station B ne montrant après un minimum atteint à 15 cm, qu'une tendance à l'augmentation du pH avec la profondeur.

Dans la station D une diminution du pH jusqu'à 15 cm puis une remontée jusqu'à 25 cm de celui-ci font que le sédiment de cette station est beaucoup plus proche du sédiment marin que celui des autres stations. Toutefois l'épaisseur sédimentaire est à cette station trop faible pour qu'on puisse y constater une stabilisation dans les niveaux profonds.

4^o) *Mesures du Eh et du rH.*

Comme pour la distribution verticale du pH, nous trouvons des différences essentielles entre le sédiment lagunaire et un sédiment franchement marin. Dans celui-ci existe en général une zone superficielle au sein de laquelle le potentiel redox diminue progressivement. A partir

du vingtième ou trentième cm se trouve une zone de stabilisation de ce potentiel. Dans les couches sous-jacentes le potentiel est nettement réducteur.

La répartition verticale des valeurs du Eh et rH dans le sédiment de la lagune du Brusac est variable selon les stations.

Aux stations A et B, la pellicule superficielle est relativement oxydée et le potentiel redox diminue graduellement jusqu'à 15 cm. Mais au-dessous le potentiel redox augmente légèrement en démontrant une importante instabilité.

Aux stations C et D la pellicule superficielle présente un potentiel redox inférieur à celui observé dans les 10 cm suivants. Au-dessous il y a une tendance à la stabilisation.

Toutefois le résultat essentiel qu'il faut dégager de ces analyses réside dans le fait qu'aux différents niveaux de toutes les stations le potentiel d'oxydo-réduction oscille de part et d'autre de la neutralité dans un intervalle très réduit. La présence de terriers d'*Upogebbia pusilla* en plus ou moins grand nombre, la circulation verticale de l'eau dans les sédiments, l'écoulement latéral et la nappe phréatique profonde peuvent expliquer selon les stations ce phénomène.

Les variations du potentiel redox dans l'épaisseur des sédiments du Brusac confirme l'existence d'un milieu caractérisé par une sédimentation minérale et organique très instable, en pleine évolution actuelle.

Les différents caractères physico-chimiques étudiés permettent de dissocier à chacune des stations deux couches sédimentaires superposées essentielles représentant des milieux biologiques différents.

Tout d'abord, une couche superficielle, de 15 cm d'épaisseur environ, recouverte à l'interface eau-sédiment d'un dépôt organique important et où s'observent les variations caractéristiques du pH, du Eh et du rH.

Une couche sous-jacente, ensuite, qui suivant la localisation et le degré d'évolution de chacune des stations est plus ou moins perturbée et instable.

Il convient également d'ajouter que des débris organiques d'origine végétale inclus aux sédiments, peuvent contribuer à accentuer le caractère dominant d'instabilité du milieu à la fois sédimentaire et biologique au niveau de leur localisation.

II — Caractères généraux de la distribution verticale des bactéries aérobies, anaérobies et sulfato-réductrices dans les sédiments.

C'est la couche sédimentaire superficielle, figurée par les 15 premiers centimètres du sédiment, qui constitue le milieu le plus actif, où s'exercera l'activité bactérienne la plus grande.

1^o) *Les bactéries aérobies.*

La densité la plus élevée de bactéries aérobies se localise toujours dans les 5 premiers centimètres superficiels (station A — $> 300 \times 10^4$ bactéries/gramme), correspondant ainsi au niveau de concentration maximum en matières organiques et des valeurs les plus fortes de Eh ou de rH. Ce premier résultat intéressant la distribution verticale des bactéries aérobies est donc en accord avec les notions générales que nous possédons sur tout milieu sédimentaire et notamment marin.

Toutefois, dans les couches sous-jacentes, à l'instabilité accusée des caractéristiques physico-chimiques correspond une distribution des bactéries aérobies très imparfaitement ordonnée.

Leur répartition peut être plus ou moins directement commandée par les valeurs du Eh ou du rH et par la granulométrie. Mais le facteur essentiel commandant cette distribution verticale semble être la teneur en matières organiques présentes sous la forme de débris inclus aux sédiments ou sous une forme dissoute. A cet égard d'ailleurs, on peut noter l'ébauche d'une inter-dépendance entre la granulométrie (fig. 3) et l'importance de la phase organique dissoute. En effet, les particules sédimentaires les plus fines pour lesquelles les phénomènes d'adsorption sont les plus intenses, semblent souvent abriter les populations bactériennes aérobies les plus élevées.

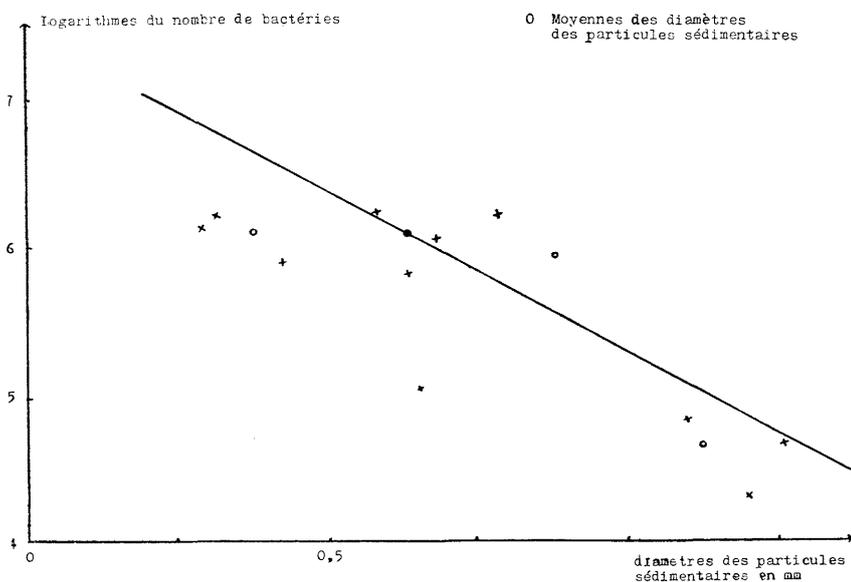


FIG. 3. — Courbe représentative des variations du nombre de bactéries aérobies avec la granulométrie.

Ainsi à la station A les 5 premiers centimètres sont constitués des éléments les plus fins et d'une phase organique très importante.

2°) Les bactéries anaérobies.

A toutes les stations le développement des bactéries anaérobies est maximum dans la zone superficielle du sédiment soit à la surface même (station A- $81,3 \times 10^3$ b/g — station B- $69,2 \times 10^3$ b/g) soit vers le cinquième cm (station C et D). L'activité bactérienne décroît ensuite jusqu'à 15 cm environ (station A- $6,1 \times 10^3$ b/g).

Au-delà de ce niveau les possibilités de répartition des bactéries anaérobies sont diverses.

La densité bactérienne la plus élevée observable en surface, tant en ce qui concerne les aérobies que les anaérobies, n'est contradictoire qu'en première analyse. En effet, le fait fermement établi maintenant que près de 90 % des bactéries anaérobies vivant dans les milieux sédimentaires marins sont en fait des anaérobies facultatives, permettait de justifier déjà cette coexistence d'un niveau très superficiel d'un maximum de densité des germes anaérobies et aérobies. Il faut aussi ajouter à cette justification l'intervention des débris organiques d'origine végétale inclus aux sédiments à des niveaux très divers. Ces débris organiques représentent en fait des micro-milieus, des microsphères à caractère franchement anaérobie. Leur présence à des niveaux

très superficiels permet également d'expliquer l'existence d'une flore bactérienne anaérobie importante bien que le milieu ambiant soit légèrement oxydant, ou proche de la neutralité d'oxydo-réduction.

D'autre part, le caractère réducteur du sédiment s'accusant avec la profondeur, les bactéries anaérobies strictes trouvent dans les couches sous-jacentes un potentiel redox devenu progressivement plus favorable. Toutefois, les matières organiques, elles, ont une tendance marquée à voir leur teneur progressivement diminuer dans l'épaisseur sédimentaire. Elles constituent donc un facteur limitant la densité bactérienne.

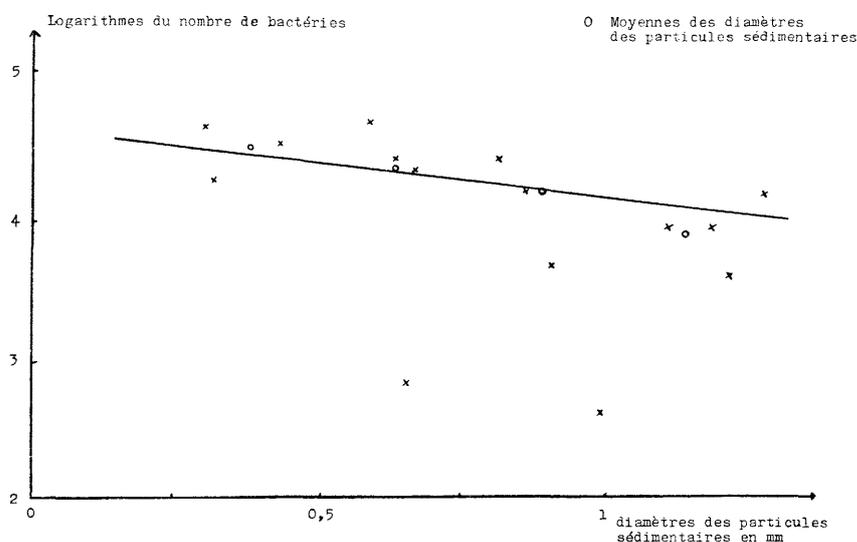


FIG. 4. — Courbe représentative des variations du nombre de bactéries anaérobies avec la granulométrie.

Les recherches qui ont été faites ont montré que la densité des bactéries anaérobies présentait une indépendance marquée à l'égard de la granulométrie (fig. 4). Il n'a pas été possible d'établir des rapports directs, en effet, entre la densité de ces germes et la dimension moyenne des particules sédimentaires.

Il a été possible de conclure que dans les sédiments lagunaires de la région du Brusac, et cela est en accord avec ce que nous savons des sédiments franchement marins en général, la densité des bactéries anaérobies était surtout sous la dépendance de la teneur en matières organiques et du potentiel redox.

3^o) Les bactéries sulfato-réductrices.

Les bactéries sulfato-réductrices (station A, en surface, 3790 b/g) et leur répartition verticale paraissent n'être pas affectées par les variations du pH, d'ailleurs faibles, qu'on observe dans toute l'épaisseur sédimentaire. Il n'existe ailleurs semble-t-il aucune corrélation entre leur densité et la granulométrie du sédiment (fig. 5).

Les résultats mettent en évidence l'intervention possible sur ce point du potentiel d'oxydo-réduction. Ce dernier nettement oxydant parfois dans les 10 premiers centimètres peut constituer un facteur limitant leur développement. Aux stations où le potentiel redox est voisin de la neutralité en surface, la sulfato-réduction peut s'y exercer par contre avec une certaine ampleur.

Le facteur essentiel commandant directement la distribution de ces bactéries semble être la teneur en ions SO_4^{--} solubles régie elle-même par la teneur en eau des sédiments. Toutefois, il n'a pas été possible d'établir sur ce point un facteur de proportionnalité. Si les bactéries ne sont pas nécessairement sensibles aux fortes concentrations en sulfates, les faibles teneurs voisines de 1,5 à 4 g par kg (poids sec) par contre peuvent constituer un facteur limitant leur répartition.

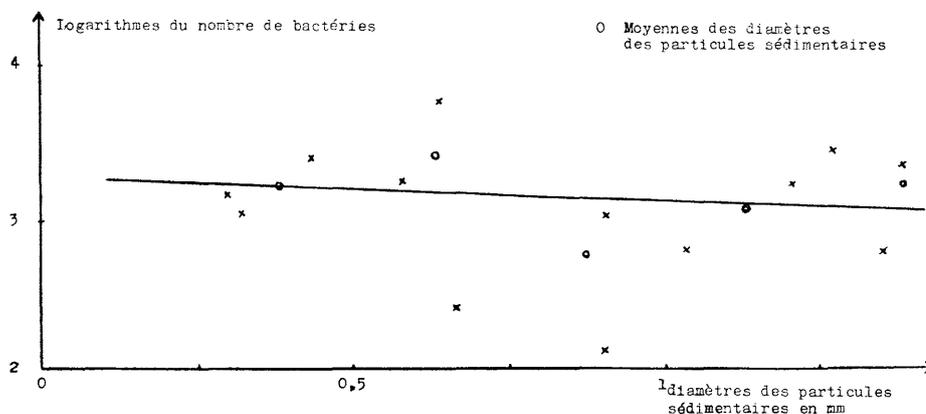


FIG. 5. — Courbe représentative des variations du nombre de bactéries sulfato-réductrices avec la granulométrie.

III — Discussion des résultats.

L'étude de la distribution verticale des bactéries a permis de différencier dans le sédiment du Brusca deux niveaux sédimentaires qui avaient été caractérisés par les facteurs physico-chimiques.

Le premier niveau (1 à 15 cm en général), correspond à une augmentation du rapport anaérobies/aérobies avec la profondeur (1/36 en surface — 1/24 à 20 cm pour la station A) et à une sulfato-réduction d'importance variable. Il reflète l'évolution actuelle du sédiment.

Le deuxième niveau correspond à une diminution de ce même rapport et à une augmentation du rapport sulfato-réductrices/anaérobies.

Si le premier niveau présente une distribution bactérienne semblable à celle observée dans un sédiment marin profond, on observe par contre au deuxième niveau un phénomène inverse; ceci explique le rôle joué par le substrat, la faible épaisseur du sédiment et la nappe phréatique sous-jacente sur la distribution bactérienne.

D'une manière générale il apparaît que la présence d'une quantité importante de matières organiques est le facteur principal du développement des bactéries aérobies et anaérobies; lorsque cette condition est réalisée, les variations des autres facteurs physico-chimiques ont peu d'influence sur la densité des bactéries. Ainsi se justifie le maximum de développement simultané des bactéries aérobies et anaérobies dans la couche sédimentaire superficielle. Lorsque, avec la profondeur, les matières organiques deviennent insuffisantes, les variations du Eh et rH deviennent prépondérantes.

Il semble que la microflore aérobie soit d'ailleurs plus sensible à la forte diminution de la teneur en matières organiques que la microflore anaérobie car, dans la station C, malgré le rH très oxydant du milieu sédimentaire, le rapport anaérobies/aérobies est très élevé (1/2 en surface).

D'autre part le diamètre moyen des particules sédimentaires influence nettement la densité des bactéries aérobies et de façon beaucoup moins sensible celle des bactéries anaérobies. La teneur en matières organiques adsorbée est en effet plus importante dans un sédiment fin que dans un sédiment grossier.

Quant aux bactéries sulfato-réductrices, seule la teneur en ions SO_4^{--} semble intervenir directement dans leur distribution.

Toutefois, malgré la présence de fortes teneurs en ions SO_4^{--} le rH peut, lorsque ses caractéristiques sont oxydantes ou très oxydantes, inhiber à certains niveaux leur développement.

Enfin les variations du pH n'influent pas sur la distribution verticale des bactéries mais sont plutôt la conséquence de l'action bactérienne.

BIBLIOGRAPHIE

- BLANC (J.J.), 1955. — Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. — Thèse, Paris in *A. Inst. océanogr.*, Monaco, 1958, p. 1-140.
- BRISOU (J.), 1955. — Microbiologie du milieu marin. — Editions médicales FLAMMARION, p. 1-132.
- DEBYZER (J.), 1952. — Variations du pH dans l'épaisseur d'une vase fluvio-marine. — *C.R. Acad. Sci.*, 234, p. 741-42.
- 1952. — Le pH de la pellicule superficielle d'une vase fluvio-marine. — *C.R. Acad. Sci.*, 234, p. 864.
- DEGUEN (F.) et MOLINIER (R.), 1961. — Études écologiques et biocénétiques dans la baie du Brusc (Var). Les sols phanérogamiques de la formation lagunaire du Brusc. — *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 1197 (1).
- DUFOUR (M.) et MOLINIER (R.), 1961. — Études écologiques et biocénétiques de la baie du Brusc (Var). Éléments de pédologie dans le port du Brusc. — *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 1199 (2).
- MOLINIER (R.), 1961. — Etudes écologiques et biocénétiques dans la baie du Brusc (Var). Généralités. But des recherches. — *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 1194.
- VOIRET et FROQUET (L.), 1950. — Le rH et sa mesure. — *Chimie et Industrie*, n° d'octobre.
- ZOBELL (C.E.), 1946. — Action of microorganisms on hydrocarbons. — *Rep. Bacteriol. Rev.*, 10 (1-2).
- 1946. — Studies of redox-potential of marine sediments. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 30 (4), p. 477-513.
- 1947. — Marine bacteriology. — *Rep. an. Rev. Biochem.*
-