

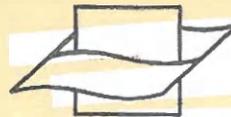
CONFÉRENCES
DU
CENTRE DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

PUBLIÉES AVEC LE CONCOURS DU SECRÉTARIAT D'ÉTAT A L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

1, QUAI BRANLY, PARIS-VII^e



Télé : Suffren 55-70



Vlaams Instituut voor de Zee
Flanders Marine Institute

PROBLÈMES DE BACTÉRIOLOGIE MARINE

PAR

A.-R. PRÉVOT,

CHEF DE SERVICE A L'INSTITUT PASTEUR

La bactériologie marine, très en honneur aux États-Unis, où les savants ont compris tout ce qu'elle pouvait apporter de neuf et d'utile, est à peine connue en France, où cependant nos laboratoires de Biologie marine, de Roscoff, d'Arcachon, de Banyuls et de Marseille, pourraient avoir des sections spécialisées dans cette branche. Toutefois, il faut reconnaître que Marseille et Banyuls tentent un effort dans ce sens, et que la future station de La Rochelle (C. R. E. O.) prévoit un département de bactériologie marine. On parle même d'une section en création à Roscoff ?

Pourquoi faut-il développer en France les recherches de bactériologie marine ? Tout simplement parce que le pays où est née la bactériologie grâce au génie de PASTEUR, et où ont travaillé DUCLAUX, ROUX, Ch. et M. NICOLLE, CALMETTE, YERSIN, VEILLON, BOREL, BOIVIN, pour ne citer que les plus grands parmi les disparus, et où WINOGRADSKY a créé la microbiologie du sol, n'a pas le droit de capituler dans un domaine aussi important et de laisser aux savants étrangers le soin ou le privilège d'y faire seuls les plus belles découvertes.

Or tout reste à faire en bactériologie marine ; il n'est, pour s'en convaincre, que de feuilleter le traité de Bactériologie marine de ZO BELL ⁽¹⁾, où l'on voit clairement la minceur des connaissances acquises et les lacunes innombrables qu'il faut combler. HARVEY, dans « Chimie et Biologie de l'eau de mer » ⁽²⁾, si fidèlement traduit en français par C. FRANCIS-BCEUF et Cl. LALOU, évoque dans le court chapitre consacré aux « Processus bactériens » le peu que l'on sait des grandes fonctions biochimiques bactériennes dans la mer. L'immensité du travail à entreprendre saute alors aux yeux. En esquisser le tableau en quelques lignes est pour moi à la fois une lourde responsabilité, puisqu'elle risque d'engager de jeunes chercheurs dans une voie qui sera longue et peut-être pénible bien que très fertile, mais aussi une récompense, car j'ai

plaidé cette cause depuis vingt ans : tout d'abord, en réalisant des recherches de bactériologie marine à Wimereux et à Arcachon ; puis en donnant comme sujet de rapport à mon collaborateur SENEZ « Anaérobies des Sédiments marins » au Symposium de Bruxelles ; en engageant celui-ci dans les recherches de bactériologie marine au Centre de Marseille ; en dressant avec C. FRANCIS-BCEUF les plans de la section de bactériologie de la future station océanographique de La Rochelle ; en réservant enfin, dans mon propre Service pasteurien, un poste d'étude des anaérobies marins que J. DEBYSER est parti prélever ⁽¹⁾ dans les mers équatoriales et que l'expédition du « Commandant Charcot » va me rapporter de la Terre-Adélie et des mers antarctiques.

Voyons quels sont, dans l'immédiat, les plus urgents de ces problèmes, dont j'espère très fermement que beaucoup seront résolus en France, grâce aux techniques modernes que nous avons maintenant mises au point et qui sont prêtes à fonctionner : car il faut savoir qu'il ne peut plus y avoir de chercheurs isolés pour ce genre de besogne ; il faut une collaboration de bactériologistes, de biochimistes et de biologistes et un déploiement d'appareils et d'instruments variés tel que celui que j'ai pu réunir à Garches. Ainsi la bactériologie marine deviendrait en France un travail de grande équipe. La Rochelle et Marseille isoleraient des bactéries marines, les détermineraient et pousseraient leur étude au maximum de leurs possibilités matérielles. Puis mon équipe pasteurienne achèverait le travail avec des moyens de plus en plus grands dans ses laboratoires spécialisés. Et ainsi le retard que nous avons sur les bactériologistes américains serait vite comblé.

Recensement des espèces marines.

Le premier travail à entreprendre en France est le recensement des espèces de notre littoral et de celles de nos colonies. L. BERLAND rappelait récemment que des milliers de cher-

⁽¹⁾ C. E. ZO BELL, *Marine bacteriology*. « *Chronica Bot. Comp.* », Waltham, Mass. U. S. A., 1946.

⁽²⁾ H. W. HARVEY, *Chimie et biologie de l'eau de mer*. Presses universitaires, 1948.

⁽¹⁾ Mission combinée du C. R. E. O., de l'Institut français du pétrole, de l'Institut Pasteur, de l'Institut français d'Afrique noire, et des Câbles sous-marins.

cheurs, dans de nombreuses nations, continuent à faire l'inventaire de la nature et il leur applique la phrase de DESCARTES : « En quoi il n'est pas vraisemblable que tous se trompent. »

Ici, ce travail basal sera le point de départ obligatoire de tous les autres. La « bactéristique », déjà très avancée pour le sol, est à peine ébauchée pour la mer. ZO BELL, dans son livre cite 314 espèces marines réparties dans 78 genres dont 67 classiques. C'est la liste la plus récente et la plus complète d'espèces marines. Or sur ces 314 espèces, il n'en est guère que 5 qui soient anaérobies strictes. Il est vrai qu'il ne connaissait ni notre liste de 1937 (1) où nous en citons 13, ni le rapport de SENEZ (2) qui en cite 11. Quel que soit la liste ou l'auteur, ces chiffres sont ridiculement faibles à côté de ce qui doit exister en réalité, car nous savons maintenant que quel que soit l'habitat naturel où on cherche à dénombrer comparativement, par les techniques modernes, les aérobies et les anaérobies, on trouve ces derniers en proportion presque aussi élevée que les premiers. Ainsi dans le sol, nous avons montré récemment (3) que les anaérobies jouaient un rôle au moins égal à celui des aérobies et étaient présents partout dans les cycles bactériochimiques, intervenant énergiquement dans toutes les fonctions lytiques et synthétiques. Ce travail de recensement doit porter aussi bien sur les anaérobies que sur les aérobies et la lacune à combler pourrait être le travail des bactériologistes français, qui, depuis PASTEUR, découvreur du premier anaérobie du sol : *Cl. butyricum* (1861) et du premier anaérobie pathogène : *Cl. septicum* (1877) ont su maintenir la continuité de l'effort pour l'étude des anaérobies et possèdent un service spécialisé très complet et capable de réparer rapidement ce retard.

Ce travail devra être fait avec une technique qui permette de discerner d'emblée si une espèce isolée de la mer est obligatoirement halophile (comme par exemple nombre de poissons marins ne peuvent pas être adaptés à l'eau douce), ou facultativement halophile, pouvant croître sans délai en milieu ordinaire peu salé (tels l'anguille, la truite, le saumon, ayant des phases alternatives d'eau marine et d'eau douce), ou halotolérante (comme l'épinoche, essentiellement d'eau douce, peut tolérer la salure des estuaires), ou enfin obligatoirement non halophile, comme certains anaérobies, tel que *R. fragilis* qui, isolé accidentellement des eaux littorales en disparaît vite et ne peut pas croître sur les milieux à 3 % de sel.

Ce recensement, cette « bactéristique » serait le premier stade de l'étude de l'écologie bactérienne marine, entièrement à créer, et qui serait au moins aussi utile que l'écologie bactérienne tellurique, si fertile en découvertes. Quelques-uns des problèmes à résoudre en premier lieu seraient : l'influence sur la morphologie et la physiologie du passage des bactéries marines sur les milieux ordinaires oligohalophiles, et inversement, l'influence de l'eau de mer sur la morphologie et la physiologie des bactéries telluriques ou parasites des êtres supérieurs terrestres, en un mot des bactéries exogènes et endogènes.

Ce serait aussi le premier acte en vue de recherches de bactériologie marine que nous devrions appeler « bactériocénose » : une espèce isolée présente tel ou tel métabolisme ; comment le métabolisme se modifie-t-il quand la bactérie vit en présence d'autres bactéries marines dans le milieu marin ?

Ceci est le début de chapitres importants de bactériologie marine dont les titres seraient : antagonisme, associations, symbioses et synergies. Ce serait enfin le début des études de phytopathologie marine, dont de très rares maladies bac-

tériennes ont été étudiées, en particulier la maladie des zostères, ainsi que de la zoopathologie marine, fort mal connue (botulisme pisciaire, gangrène et charbon symptomatique de la baleine, tympanisme des harengs, maladie du zooplankton, etc.).

Une deuxième série de grands problèmes à étudier est celle des fonctions bactériochimiques marines, d'abord en rapport avec les espèces pures, puis avec les associations. Nous savons, ou nous devinons que les fonctions bactériochimiques marines sont parallèles aux fonctions pédologiques. Au récent congrès d'écologie, je les ai divisées en fonctions lytiques et synthétiques. Je ne m'étendrai pas sur celles qui ont été bien étudiées et dont ZO BELL donne un bon aperçu. Examinons celles de ces fonctions qui sont moins bien connues en vue d'extérioriser ce qu'elles impliquent d'inconnues et de problèmes à résoudre dans leur faciès marin.

A. — FONCTIONS SYNTHÉTIQUES

1^o Fixation de l'azote moléculaire. — La principale de ces fonctions est la fixation de l'azote atmosphérique dissous dans l'eau de mer à des taux importants dus au brassage perpétuel de sa surface de contact. C'est peut-être sur cette fonction que nous avons le plus de données exactes et sur laquelle il reste le plus à faire dans l'immédiat.

Or cette fonction est très anciennement connue, depuis le travail de BENECKE et KENTNER de 1903, qui l'ont mise en évidence dans la Baltique. Malheureusement, à cette époque, on décrivait les espèces trop sommairement, et si on peut retenir de ce travail la certitude de l'existence de fixateurs anaérobies dans la mer, on ne peut rien retenir des espèces proposées : *Cl. giganteum* et *Plectridium* sp. à cause de l'insuffisance notoire de leur description. Par conséquent, tout est à recommencer. Mais il faut recommencer avec méthode et en profitant des faits mis en lumière depuis 50 ans dans ce domaine. Le problème est à deux inconnues :

1^o Sont-ce les mêmes espèces qui fixent l'azote dans la mer et dans la terre ? Les fixateurs terrestres sont bien connus. Il y a d'abord les six espèces aérobies du genre *Azotobacter*, qu'on détecte facilement soit par les plaques de terre mouillée à laquelle on a incorporé 5 % d'amidon ou 2 % de pyruvate de sodium et qu'on met à incuber à 30°, soit par les plaques de silicogel au benzoate de Na. Les diagnoses de ces espèces sont bien délimitées et ne peuvent prêter à discussion. En peu de temps, un laboratoire marin peut résoudre ce premier problème.

Il y a ensuite les dix-sept espèces anaérobies appartenant aux genres *Clostridium*, *Plectridium* et *Terminosporus*, très différentes les unes des autres, dont les unes exigent des donateurs d'hydrogène de nature glucidique (s. l.) (4) tels que *Cl. pastorianum*, *Cl. americanum*, *Cl. acetobutylicum*, d'autres de nature complexe (pectine et cellulose) tels que *Cl. felsineum* et *Pl. pectinovorum*, d'autres enfin de nature peptidique (tels que *Cl. naviculum*).

Ici encore il est facile de voir si ces espèces terrestres existent dans la mer, car on connaît parfaitement les milieux sélectifs et les méthodes rapides pour les isoler et les déterminer.

2^o La deuxième inconnue, de beaucoup la plus intéressante, est le mode de fixation, en particulier le premier corps formé à partir de l'azote moléculaire. Nous savons que dans la terre il y a trois possibilités, vraisemblablement toutes trois réalisées : formation d' NH_3 , ou de NH_4OH , ou d'acide hypo-

(1) WEINBERG, NATIVELLE et PRÉVOT, Les microbes anaérobies, p. 1046.

(2) SENEZ, Ann. Inst. Pasteur, 1949, t. 77, p. 512.

(3) PRÉVOT, Bactéries anaérobies du sol, 1^{er} Congrès International d'Écologie, Paris, févr. 1950.

(4) Nous ne parlerons naturellement pas des *Rhizobium* symbiotiques des légumineuses puisque ces derniers n'ont pas d'espèces marines.

nitreux. Ici les techniques modernes utilisant l'isotope lourd N^{15} permettront de résoudre le problème. Il faudra se placer dans des conditions écologiques, suivant la doctrine de WINOGRADSKY, par exemple créer non plus des « sols artificiels » ni des « lacs artificiels », mais des « mers artificielles » avec toutes les constantes physico-chimiques des mers naturelles. C'est ainsi qu'on posera le premier fondement du problème de la fécondité des mers.

2° Synthèses d'acides aminés. — On conçoit très bien la raison pour laquelle les bactériologistes ont attaché tant d'importance à la connaissance de la synthèse bactérienne des acides aminés par les bactéries. C'est en effet le premier temps de la synthèse des protéines constituant leur propre protoplasme. Les expériences d'AUBEL, ROSENBERG et de CHAZELLES; celles de NISMAN, COHEN et RAYNAUD, ont mis en évidence les mécanismes d'amination réductrice et de transamination qui conduisent de l'ammoniaque à l'alanine en présence d'acide pyruvique, d'acide α -cétoglutarique ou de glucose. Le système invoqué par KRITZMANN conduit à deux amino-acides au moins : l'alanine et l'acide aspartique. Celui de NISMAN, RAYNAUD et COHEN conduit en plus à l'acide glutamique. C'est avec des anaérobies telluriques que ces démonstrations ont été faites; en opérant avec des bactéries marines et en tenant compte de la composition du milieu marin, il sera possible de mettre en évidence comment débute la synthèse des protoplasmes bactériens marins. A priori, elle n'est pas nécessairement semblable à celle que nous connaissons avec les bactéries non marines, mais elle est tout aussi importante à connaître.

3° Synthèse du méthane. — Voici un autre grand problème de bactériologie marine. Dans les boues fluviales et lacustres, il se forme des quantités énormes de méthane. Nous en connaissons les six espèces responsables groupées en trois genres : *Methanobacterium*, *Methanococcus* et *Sarcina*. Nous en connaissons aussi les mécanismes successifs; en particulier l'hypothèse de SÖHNGEN qui invoquait la réduction de CO_2 par $4H^2$ a été vérifiée expérimentalement par BARKER et STADTMANN grâce au carbone marqué C^{14} . Mais que se passe-t-il dans les boues marines? Il s'y forme, nous le savons, de grandes quantités de CO_2 , provenant d'une part de la décarboxylation de l'acide pyruvique, lui-même corps intermédiaire obligatoire de toute fermentation des glucides, d'autre part de la décarboxylation de l'acide formique par les hydrogène-lyases, probablement aussi de la décarboxylation des acides aminés. L'hydrogène y est également abondant, fourni par les nombreuses déshydrogénases agissant sur les substrats ternaires et quaternaires donateurs. Mais existe-t-il des méthanogènes pouvant opérer la synthèse par réduction? et s'ils existent, quels sont-ils? Une mer artificielle de laboratoire, un peu de carbone marqué et ce grave problème sera résolu.

4° Synthèse des acides gras. — L'acide acétique est synthétisé à terre par *Cl. aceticum* par fixation de $4H^2$ sur CO_2 . Les acides de C3 à C7 sont synthétisés à partir de molécules plus petites. Seuls des microbes du sol sont connus jusqu'ici pour pouvoir opérer ces synthèses. Le rôle de la bactériologie marine sera de dire si de telles synthèses sont réalisées dans la mer, point très important, car on sait le rôle nutritif très grand des acides aliphatiques volatils inférieurs.

5° Synthèse des hydrocarbures. — Ici le problème est déjà très avancé, puisqu'on sait que JANKOWSKI et ZO BELL ont réalisé la synthèse des hydrocarbures à partir des acides gras provenant du clivage enzymatique des lipides grâce aux anaérobies des sédiments marins. Leur expérience se rapproche d'ailleurs des conditions naturelles : sable, eau saline et acide caprique d'origine bactérienne. Nous devons considérer cette expérience comme un début. De très nombreux problèmes se posent à partir de cette recherche ini-

tiale : lipides pouvant servir de substratum, espèces pouvant agir, mécanismes intermédiaires, etc.

C'est dans cette voie que travaillent les savants américains de la Jolla et des moissons de résultats les attendent. Il serait vraiment très souhaitable que les bactériologistes français puissent se mettre au travail dans ce domaine, car en dehors de l'intérêt purement spéculatif de la question, il y a un intérêt utilitaire certain dans la connaissance de mécanismes dont nous aurons probablement besoin un jour.

B. — FONCTIONS LYTQUES

Tout ce qui vit dans la mer, plantes et animaux, est voué tôt ou tard au sort commun : mourir. Dès l'instant de la mort tous les cadavres sont la proie des microbes, qui viennent accomplir leurs fonctions de dégradation et de minéralisation. Les fonctions lytiques des microbes telluriques sont maintenant bien connues, et sont surtout chaque jour mieux connues. Les fonctions lytiques des microbes marins sont encore entourées du plus grand mystère. Voyons quels problèmes nous attendent de ce côté :

a) *Protéolyse.* — Les très nombreuses variétés de protéines des poissons, des mammifères marins, des invertébrés ont toutes leurs enzymes de protéolyse. Il n'en est pas une qui puisse résister à la destruction microbienne. C'est dire le nombre énorme d'enzymes restant à découvrir avec le nombre non moins grand de mécanismes enzymatiques ainsi que les espèces capables de les réaliser. Si la proportion aérobies/protéolytiques/anaérobies/protéolytiques est la même dans la mer que dans le sol, et tout fait présumer qu'il en est ainsi, ce sont les anaérobies qui jouent ici le rôle prédominant. On a trouvé *Cl. sporogenes*, l'un des plus puissants d'entre eux, dans l'intestin des poissons de mer et des céphalopodes marins depuis le cercle arctique jusqu'à l'équateur. Il y a donc beaucoup de probabilités pour une grande similitude entre la protéolyse tellurique et la protéolyse pélagique. Mais comme les conditions de température, de salure, de pH sont différentes, il sera bon de vérifier en mer artificielle si les processus de la protéolyse sont les mêmes : désamination, décarboxylation, désaturation, réaction de STICKLAND, etc.

Il est possible qu'au cours de cette recherche on trouve de nouvelles espèces protéolytiques fort différentes de celles que nous connaissons et qui pourront nous apprendre de nouveaux mécanismes et nous livrer de nouveaux enzymes. Et si, dans une conférence de cette nature il est permis d'exprimer une tendance personnelle, je dirais volontiers, que si je disposais d'un laboratoire de bactériologie marine, c'est par le problème du recensement des espèces protéolytiques que je commencerais mes recherches : la richesse et la variété de leur équipement enzymatique ont un gros attrait pour le chercheur qui a compris que la bactériologie en est au stade de la biochimie, et qu'elle ne peut progresser qu'avec l'aide des équipes spécialisées de biochimistes. Mais pour attirer les chercheurs, il faut un sujet attrayant par la richesse et le dynamisme.

b) *Glycolyse.* — Dans la mer, comme sur la terre, le glycogène du foie des vertébrés, les nombreux glucides des plantes marines — jusques et y compris les gélouses, pectines, celluloses, etc. — sont fermentés aussitôt après la mort de l'être qui les a produits. Il en résulte des fermentations aboutissant aux acides volatils aliphatiques et aux acides fixes. Nous avons mis en évidence la multiplicité des types fermentaires pour les microbes telluriques, plus de vingt types différents dénombrés à ce jour. Il serait nécessaire de voir si les bactéries marines présentent la même diversité et quel est le destin des produits ainsi libérés. Il serait nécessaire aussi de voir si les conditions spéciales du milieu marin n'im-

priment pas aux mécanismes fermentaires une marche particulière que nous ne pouvons pas prévoir. Ici encore les éléments marqués rendront de grands services, ainsi que les techniques utilisant les « resting bacteria » tamponnées à l'eau de mer, à des températures, pH et rH ajustés aux coordonnées marines. Le destin des catabolites de fermentation glucidique sera à établir pour la mer, et pour cela la mer artificielle devra pouvoir supporter des plantes et des animaux dont les besoins nutritifs sont connus.

c) *Pectinolyse*. — Nous ne connaissons aucun pectinolytique marin. Ainsi ce chapitre est vierge. Tout y est à rechercher, mais tout ce qu'on sait des pectinolytiques telluriques, aérobies et anaérobies, servira de canevas aux recherches à entreprendre : possibilité de deux groupes nutritifs opposés cultivables sur bouillons végétaux ou animaux ; de deux groupes physiologiques opposés : aérobies et anaérobies ; de deux groupes morphologiques distincts : *Plectridium* et *Clostridium* et enfin de pigmentations différentes : incolores et chromogènes appartenant à des séries très diverses : jaune, orangé, rouge, violet, vert.

d) *Cellulolyse*. — Les connaissances sur la cellulolyse bactérienne dans la mer sont réduites à l'existence des genres *Cytophaga*, *Cellulibrio* et *Cellulacicula* d'une part et *Actinomyces* d'autre part. Deux espèces du genre *Bacterium* sont aussi supposées digérer la cellulose. On ne sait rien des anaérobies cellulolytiques si bien étudiées pour la terre, ceux dont l'écologie et la physiologie sont passées depuis longtemps sur le plan expérimental. Or c'est dans ce domaine qu'on obtiendrait le plus vite des résultats massifs : à la colonne de terre munie de bandes de papier-filtre, il suffirait de substituer une mer artificielle avec papier, ensemencée de dépôts marins prélevés dans les herbiers. Bactériologie, systématique et biochimie de ce chapitre progresseraient parallèlement très vite.

e) *Lipidolyse*. — C'est dans ce domaine que nous avons le plus de données : la parfaite connaissance du pouvoir lipidolytique des espèces halophiles du genre *Sporovibrio* due à ROSENFELD et à JANKOWSKI, peut servir de guide pour la recherche d'autres espèces lipidolytiques. On sait qu'elles attaquent les glycérides simples ou complexes, les esters d'acides gras, les huiles animales et végétales. C'est une attaque rapide, complète, exigeant un Eh très bas, inférieur à -400 mV. La lipidolyse peut se mesurer au Warburg après addition au milieu de réaction d'un tampon bicarbonate qui produit CO₂. Parmi les produits terminaux on obtient une forte proportion d'hydrocarbures du type des pétroles avec leurs fractions distillables et non distillables.

On peut schématiser cette chaîne de réactions en trois temps :

1^o L'hydrolyse catalytique du lipide aboutissant à un acide gras. (Notons que ZO BELL et JANKOWSKI ont obtenu en particulier l'acide caprique en mer artificielle.)

2^o Réduction de l'acide gras en hydrocarbure.

3^o Clivage des hydrocarbures à PM élevé en hydrocarbures à PM plus faible.

Mais ce qui a été fait avec un substratum unique et une association bactérienne mal connue doit être répété avec de nombreux substrats et de nombreux microbes marins. On devra en particulier rechercher si, comme cela se passe dans le sol, les Clostridiales lipidolytiques sont également capables de participer à la formation des pétroles, *W. perfringens* en tête.

f) *Sulfatolyse-sulfitololyse*. — Il ne reste plus grand chose à ajouter aux recherches sur la sulfatolyse par le groupe amphibiotique *Sporovibrio*. Mais il reste à voir si dans la mer,

comme sur la terre, certaines Clostridiales ne possèdent pas une sulfatoréductase (endoenzyme qui se perd en culture). Il reste surtout à recenser les espèces sulfito-réductrices. Nous ne nous étendrons pas ici sur ce problème, qui sera exposé plus loin avec la question pratique de la corrosion.

g) *Phosphatolyse*. — La destruction microbienne des phosphates telluriques est mal connue pour la raison qu'en culture les enzymes responsables disparaissent très vite. Peut-être la recherche des phosphatolytiques marins aidera-t-elle à résoudre ce problème fort important. Il se peut en effet qu'en mer artificielle les enzymes de la phosphatolyse soient plus stables qu'en culture et durent suffisamment pour qu'on puisse en trouver le mécanisme et si possible les donateurs d'hydrogène. WAKSMAN a proposé un mécanisme de phosphatolyse calqué sur les réactions endothermiques de la chimie minérale. Ceci ne satisfait nullement l'esprit des biochimistes, qui pensent plutôt à des réactions en chaînes passant des phosphates aux phosphites, hypophosphites et phosphures par apport successif d'hydrogène. Il reste donc à trouver les enzymes qui activent des donateurs, eux-mêmes également à trouver.

C. — CORROSION

On a énormément travaillé sur cette question et beaucoup écrit à son sujet. Il reste encore beaucoup à découvrir. Dans sa revue générale de 1938 « la Corrosion à la mer », LEGENDRE résume ce qui a été fait avant cette époque, et prévoit l'ère des recherches bactériologiques venant s'ajouter aux recherches physico-chimiques.

Nous ne reviendrons pas sur les faits bien établis concernant l'action du groupe *Sporovibrio* : sporulés anaérobies, autotrophes ; ils réduisent les sulfates en acceptant l'hydrogène de donateurs divers bien étudiés et produisent des quantités énormes d'SH² qui ensuite attaquent les métaux, surtout ferreux et les corrodent. Nous avons montré que chez certaines Clostridiales sulfato-réductrices l'enzyme « sulfato-réductase » est un endoenzyme, ce qui exige la présence du corps microbien lui-même à la fois sur le sulfate, sur le donateur et sur le métal. Mais si importante que soit l'action corrosive de ce groupe, il ne faut pas oublier que ses espèces sont relativement peu nombreuses. Or nous avons montré qu'un autre mode de corrosion peut être produit par des espèces beaucoup plus nombreuses ; le point de départ de ce travail est l'observation de DULISCOUET et HERPIN qui ont isolé de la salissure des carènes une association : *B. subtilis* + *Cl. sporogenes*. Le mécanisme de cette corrosion est différent. On savait depuis WILSON, BLAIR et MAUD que *W. perfringens*, dans un milieu contenant à la fois un sulfite alcalin et un sel soluble de fer réduit rapidement SO₃ et libère SH², qui donne aussitôt du sulfure de fer. Quand on opère en gélose profonde, il y a formation d'énormes colonies noires. Pendant longtemps on s'est servi de ce test comme d'une technique facile et commode pour déceler *W. perfringens* dans les eaux et on considérait une réaction positive comme une preuve de la pollution fécale de ces eaux. Nous avons montré tout d'abord que *W. perfringens* n'était pas la seule espèce donnant cette réaction : vingt-deux espèces de Clostridiales sont capables de réduire les sulfites, au premier chef *Cl. sporogenes*. Nous avons montré ensuite que c'est par un autre endoenzyme : la sulfito-réductase, que s'opère cette réduction. Ceci explique en partie l'action de la symbiose trouvée par HERPIN et DULISCOUET : *B. subtilis* crée l'anaérobiose locale permettant le développement de *Cl. sporogenes* et lui apporte en plus, vraisemblablement, les éléments organiques nécessaires à sa nutrition (par autolyse). *Cl. sporogenes* réduit les sulfites de l'eau de mer à son contact et SH² dégagé attaque le métal des coques, le salit et le corrode.

Nous ne croyons pas que cette association soit la seule capable d'opérer cette action. Tous les sulfite-réducteurs détectés par nous dans le sol, devront être recherchés dans l'eau de mer. Nous connaissons bien leur métabolisme intermédiaire et nous savons comment on peut l'interrompre à peu de frais. NISMAN et VINET, dans mon laboratoire ont montré l'action inhibitrice des arsénites sur les réactions enzymatiques des anaérobies. Le mot peinture toxique n'a de valeur qu'en fonction de l'objet contre qui est dirigée la toxicité. Ainsi des peintures renfermant un taux très faible d'arsénite empêcheraient ces associations de vivre et protégeraient les carènes de la salissure et de la corrosion. Mais ce moyen n'est pas le seul; pour en trouver d'autres, il faudrait dans un laboratoire marin faire le recensement de toutes les associations salissantes et corrodantes possibles et trouver tous les mécanismes inhibiteurs de leur métabolisme intermédiaire. Ces travaux sont maintenant du domaine courant et ne présentent rien de difficile: il n'est que de s'y atteler.

D. — ÉVOLUTION CHEZ LES BACTÉRIES MARINES

C'est peut-être avec l'étude des bactéries marines qu'on a le plus de chance de faire avancer le problème de l'évolution bactérienne. La flore marine contient probablement un très grand nombre d'espèces primitives. Les isoler, en étudier la morphologie et surtout la physiologie fournirait le point de départ le plus solide pour l'expérimentation en vue d'étudier l'évolution. LWOFF a montré de façon indiscutable le rôle capital des pertes de fonction dans les phénomènes d'évolution. A la base des pertes de fonction nous trouvons les pertes d'enzymes. L'exemple ci-dessus invoqué de la perte irréversible d'une sulfite-réductase chez les Clostridiales réductrices de sulfate est très démonstratif. Une des faces les plus intéressantes de ce côté du problème est le déterminisme — à trouver — du mécanisme de cette perte d'enzyme, la raison et les conditions pour lesquelles un enzyme disparaît, pourquoi cette perte est tantôt réversible, tantôt irréversible. J'ai émis l'hypothèse que, quand une bactérie a à sa disposition deux mécanismes enzymatiques pour obtenir le même but — par exemple une production d'énergie — elle choisit le mode le plus facile pour elle. A partir de ce choix, le second mécanisme peut ou s'effacer tout en restant potentiel, ou disparaître complètement et définitivement. Dans le cas ci-dessus, les Clostridiales peuvent, dans leur milieu naturel tirer leur source d'énergie de la réduction des sulfates et de celle des composés organiques ternaires ou quaternaires. Mais en milieu artificiel le deuxième mécanisme étant plus facile, le premier disparaît.

La mise à la disposition des physiologistes-bactériologistes d'un matériel d'origine marine plus étendu apportera des faits nouveaux qui permettront d'étoffer nos connaissances sur ce sujet.

Le matériel marin est aussi un matériel de choix pour l'étude de l'adaptation et de la désadaptation. On connaît, à ce sujet, les magnifiques expériences de BAARS. Il adapte *Sporovibrio desulfuricans*, souche tellurique, — ne pouvant croître qu'avec une salure restreinte — à des salures de plus en plus élevées en se servant de cultures très jeunes: 2 à 3 h, et arrive à réaliser une souche halophile entièrement semblable à la variété spontanée *astuari*. Inversement, il désadapte la variété spontanée *astuari* halophile obligatoire et l'accoutume à une salure de plus en plus restreinte en habituant des cultures très jeunes à des taux de plus en plus bas de chlorure de sodium et la transforme en *Sporovibrio desulfuricans* oligohalophile.

C'est volontairement que j'emploie les mots adapter et désadapter qui choqueront violemment les généticiens ici

présents; pour une raison très simple: on n'a pas encore pu prouver, pour ces exemples très précis, qu'il s'agit de mutations successives, comme tout fait présumer qu'il en est bien ainsi. Mais pour dire mutation, il faut le prouver expérimentalement et les méthodes sont au point; une fois de plus il n'est que de commencer: c'est au laboratoire de bactériologie marine qu'incombe cette tâche.

Les problèmes pratiques découlant de ces études théoriques sont multiples et d'une grande importance humaine. Nous n'en évoquerons que deux, car une conférence d'une heure ne peut pas avoir la prétention de les passer tous en revue.

Le premier est celui du destin des bactéries endogènes ou exogènes pathogènes pour l'homme qui tombe accidentellement dans la mer. Je rappelle à ce sujet l'expérience mémorable de MONTEL et MOUSSERON qui ont observé et bien étudié un cas de gangrène pulmonaire chez un homme absolument sain après une immersion accidentelle trop prolongée dans la mer (près d'un port) et irruption intra-pulmonaire de cette eau de mer polluée. Dans la flore anaérobie de cette gangrène on trouva des Coccacées, des Ristellacées, des Ramibacterium et des Spherophorus. Or cet homme avait une cavité buccale absolument saine et l'étiologie de sa gangrène pulmonaire ne pouvait pas être rapportée à des lésions buccales infectées, comme à l'ordinaire. MONTEL et MOUSSERON prélevèrent donc de l'eau de mer à l'endroit de l'accident et isolèrent du prélèvement tous les anaérobies trouvés dans la gangrène. Or ces bactéries étaient exclusivement des anaérobies de la flore endogène, dite flore de Veillon, qui se trouvaient en survie temporaire dans la mer polluée par les déjections du port. Or on sait que cette survie ne dépasse pas 15 j à 3 semaines pour beaucoup des bactéries. Mais on ne sait pas combien de temps vivent la plupart des bactéries pathogènes dans l'eau de mer.

Voici un travail qui serait à exécuter et fournirait des renseignements fort utiles aussi bien sur l'étiologie des maladies contractées sur les littoraux que sur la physiologie et le destin des microbes pathogènes immergés dans la mer.

Le deuxième problème, plus important encore, est celui de l'évacuation des eaux usées des villes littorales. On se rappelle la triste situation de villes comme Nice, Cannes et Menton avant le règlement de ce problème: toute baignade était pratiquement impossible dans une mer terriblement polluée et sur des plages salies par les déjections des égouts.

D'immenses travaux sanitaires fondés sur le traitement préalable des effluents et leur dispersion mécanique au large des côtes ont pratiquement résolu le problème. On peut maintenant se baigner sans danger et sans dégoût sur les plages méditerranéennes. Mais le Congrès de Nice de 1949 qui portait comme titre: « Assainissement des villes littorales » ne nous a pas appris ce que devenaient dans l'eau de mer les milliards de bactéries qui y sont ainsi déversées et si, en particulier, les B. typhiques vont continuer à infecter les coquillages comestibles. C'est encore un problème à résoudre par les laboratoires de bactériologie marine et sa solution me permettra peut-être de répondre à une question qui m'a été posée récemment par le laboratoire de la Ville de Paris à propos des effluents des usines électriques souterraines projetées en Bretagne: « Peut-on utiliser l'eau de mer pour faire fonctionner une fosse septique? » Je n'ai su que dire et j'ai réservé ma réponse: les résultats que les futurs laboratoires marins nous fourniront bientôt pourront donner une solution à ce problème.

J'espère, après ce plaidoyer véhément, que la France comprendra la nécessité urgente de créer des laboratoires de bactériologie marine, non seulement pour résoudre les problèmes pratiques évoqués dans cette conférence et tous ceux dont il n'a pas été fait mention, mais aussi pour satisfaire le besoin, que tout homme civilisé porte en lui, de savoir pour savoir.

12.707-2-81.

ARRAULT ET C^{IE}

— TOURS (France) —

Dépôt légal : 1^{er} trim. 1881

(Reproduction interdite.)

Le Gérant V. ROMANOVSKY