RÉPARTITION DES BACTÉRIES DANS LES SÉDIMENTS DU LAC DE CONSTANCE

par K. SOECKNICK, W. NÜMANN, R. SARTORY, J. MALGRAS,
Ch. ROMOND et B. HORB ⁽¹⁾

INTRODUCTION

De nos jours le Lac de Constance est un sujet de recherches biologiques importantes. Les publications de AUERBACH [1952], DUSSART [1963], GRIM [1968] et KIEFER [1968] en font foi.

Dans le domaine de la bactériologie, nous citons les travaux de FAST [1960], DEUFEL [1965] et MAUZ [1966]. DEUFEL, quant à lui, a déjà démontré très clairement la répartition horizontale et verticale des bactéries dans l'eau du Lac. Les quelques résultats que nous avons obtenus ne sont qu'un complément apporté à ces études.

Par contre, aucune recherche jusqu'à ce jour n'avait encore été entreprise sur la répartition des bactéries dans les dépôts du Lac — les sédiments. D'ailleurs, il y a peu d'années, l'étude des sédiments semblait n'être que d'une importance secondaire.

Mais actuellement il est prouvé que ces mêmes bactéries jouent un rôle important dans le métabolisme des eaux.

Nous désirons apporter une contribution à l'étude des bactéries dans les sédiments du Lac de Constance.

MÉTHODES D'ÉTUDES

Pour les prélèvements mensuels, effectués entre les mois de juillet 1965 et de février 1968 [SOECKNICK, 1970], nous avons choisi trois stations typiques de la situation sédimentaire dans le Lac :

— Station Centre du Lac, à une profondeur d'eau de 200 m. Nous y avons également prélevé nos échantillons d'eau. A cet endroit, le sédiment non touché par une pollution directe, est le sédiment type de la zone profonde du Lac, à grains fins ($< 10 \mu$), présentant une teinte gris-clair.

(1) Travail réalisé en collaboration avec la Faculté de Pharmacie de Strasbourg et l'Institut für Seenforschung Langenargen (Allemagne).

Lac de Constance

CARTE : Stations de prélèvement. 1) Centre du lac; 2) Güttingen.; 3) Schussen.

— Station Güttingen sur la rive suisse, à une profondeur d'eau de 4 m. C'est le sédiment typique de la zone littorale, également à l'abri d'une pollution directe. Ici le diamètre des grains, surtout dans les couches superficielles est plus grand ($315 - 63 \mu$), la couleur des sédiments est gris-clair.

— Station Schussen, à l'embouchure de la rivière Schussen, à une distance de 1,3 km du rivage. La profondeur d'eau y est de 32 m. Le sédiment à cet endroit est fortement influencé par la rivière très polluée par les grandes quantités de matières dissoutes et en suspension qu'elle transporte. Ce sédiment est à grains fins ($< 10 \mu$), spongieux et d'une couleur gris-noir à noir-foncé.

Les prélèvements ont été effectués à bord de la vedette de recherche « Kormoran ». Pour les prélèvements de sédiment, nous nous sommes servis d'un carottier système Züllig, qui remontait des carottes de sédiment d'un diamètre de 3,5 cm et d'une longueur de 20 à 30 cm, selon les circonstances.

Pour la mise en évidence des bactéries, nous avons choisi le procédé de Koch, bien connu. Nous avons utilisé un milieu de la composition suivante :

Peptone Merck 7214	1,0
Glucose	1,0
K ₂ HPO ₄	0,05
Agar	12,0
Eau distillée	1000,0 pH 7,2

Les boîtes ont été incubées à 20°C et le dénombrement effectué après trois jours. Les numérations sont données en ml de sédiment frais. Cette expression rend compte au mieux de l'espace vital des bactéries et permet une comparaison avec les bactéries de l'eau.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Nous avons pu constater que pour les bactéries hétérotrophes — celles qui sont saisies par notre méthode de boîtes de Petri —, l'apport nutritionnel est d'une importance décisive. D'autres facteurs, comme la pression, la lumière, la température, résultant des différences de la situation dans le Lac et de la profondeur d'eau n'entrent pas en ligne de compte.

L'apport nutritionnel dans un lac aussi grand provient en général de deux sources de matières organiques :

— d'une part, la production autochtone : le phytoplancton, le zooplancton et les poissons. Pour le Lac de Constance, on peut

estimer la production en protéines à environ 90 000 à 100 000 tonnes par an [KIEFER 1968].

— d'autre part, les matières allochtones : les matières dissoutes ou en suspension, apportées par les affluents du Lac. Ainsi, la Schussen (9,7 m³/s), la rivière la plus polluée sur la rive allemande, apporte à côté des matières dissoutes une charge annuelle de matières organiques en suspension d'environ 1000 tonnes [WAGNER 1968].

Le Rhin (227 m³/s), le plus grand affluent du Lac, apporte à celui-ci d'après les évaluations de MARKI [1968] une charge annuelle de substances organiques comprise entre 9 000 et 15 000 tonnes qui s'ajoutent à la charge immense de 3 à 4 millions de tonnes de particules minérales en suspension.

Ces matières organiques se déposent au fond du Lac où se fera leur décomposition.

Nous avons trouvé dans les sédiments de nos trois stations de prélèvements une teneur en carbone organique de :

Centre	0,6 à 1,6 %
Güttingen	0,4 à 0,6 %
Schussen	2,0 à 4,3 % (voir fig. 1 et tabl. 1).

FIG. 1. — Mesures physicochimiques des sédiments aux trois lieux de prélèvements (taux en % par rapport au poids humide).

Or, comme nos examens mensuels pour le dénombrement des bactéries nous ont donné en moyenne les valeurs suivantes :

Centre	306 000 bactéries
Güttingen	145 000 bactéries

Schussen 527 000 bactéries pour 1 ml du sédiment frais, nous pouvons mettre en relation la teneur en carbone organique et le nombre de germes obtenus et classer les sédiments des trois stations par ordre décroissant : Schussen - Centre - Güttingen.

Mais ce rapport ne s'applique en fait qu'à deux stations :

1. — A la station Centre nous trouvons une décomposition dans des conditions normales. Ici, l'apport nutritionnel autochtone est important, mais la dégradation par les bactéries est complète et se fait dans des conditions d'aérobiose. Ceci est confirmé par le fait qu'au printemps, lors de la circulation des masses d'eau, nous trouvons dans l'eau affleurant le sédiment, des teneurs en oxygène dissous entre 10 et 11 mg O_2 /l. Cette teneur diminue fortement, allant jusqu'à 7 - 6 mg O_2 /l pendant la période de stagnation, période durant laquelle ne se fait aucun échange entre les couches d'eau ayant une stratification thermique bien exprimée. Ces teneurs en oxygène semblent être pourtant encore suffisantes pour garantir des conditions d'aérobiose dans les couches superficielles du sédiment.

En outre, pendant tous nos examens, nous avons toujours pu remarquer que la partie la plus haute de la couche sédimentaire à l'interface eau - sédiment, était composée d'une vase flottante de couleur brunâtre, nommée également « la couche d'oxydation ».

Cette couche contient surtout un gel d'hydroxyde ferrique, qui virerait au noir en sulfure de fer FeS en absence d'oxygène. Cette réduction en sulfure de fer ne s'est jamais produite.

2. — A la station Schussen, où le sédiment subit une forte pollution, de nouveaux matériaux sont déposés constamment par la rivière toute proche. C'est pourquoi nous trouvons ici le nombre de germes totaux les plus élevés. Mais la décomposition se fait à peine. A l'intérieur du sédiment cette décomposition devient partiellement anaérobie, elle se caractérise par une odeur putride et un dégagement de gaz, que nous avons souvent remarqué dans nos tubes de carottier après le prélèvement.

3. — Nous avons par contre un cas particulier à notre troisième station Güttingen : ici, à faible profondeur d'eau (4 m), les macrophytes, qui y poussent largement, et les masses de phytoplancton, qui se forment dans les zones chauffées de la rive, seraient responsables d'une teneur plus élevée en carbone organique et en bactéries. Cependant, la plupart de ces substances se décomposent déjà dans l'eau au-dessus du sédiment ; la décomposition est favorisée par la température et une large présence d'oxygène. Les débris, qui sédimentent au fond, ainsi que les bactéries dans les sédiments, sont lavés et emportés par le flux

TABLEAU 1. — Valeurs granulométriques des trois stations, obtenues par tamisage du sédiment frais, les tamis ayant des mailles de 1000 μ , 630 μ , 315 μ , 200 μ , 125 μ , 63 μ et 50 μ après DIN (Deutsche Industrie Norm). Les cinq premiers centimètres ont été employés pour l'examen.

Diamètre des grains en μ	1000-630	630-315	315-200	200-125	125-63	63-50	< 50
Centre du Lac	0,04 %	0,08 %	0,08 %	0,08 %	0,09 %	0,27 %	99,36 %
Güttingen	2,48 %	2,14 %	14,30 %	28,27 %	28,34 %	4,21 %	20,26 %
Schussen	0,23 %	0,17 %	0,13 %	0,30 %	1,64 %	1,18 %	96,35 %

et le reflux des vagues. De plus, ce sédiment grossier n'absorbe pas les substances nutritives dissoutes de la même manière, que le font les sédiments argileux Centre et Schussen.

Les teneurs en carbone organique et les valeurs bactériennes ne reflètent pas le véritable apport nutritionnel à cet endroit du littoral.

Sur le vu de la répartition verticale des bactéries dans les sédiments de nos trois stations comparées, nous constatons une forte diminution du nombre de germes dans les cinq premiers centimètres; ce nombre ensuite diminue lentement (*fig. 2*). Cette diminution est particulièrement accusée dans les sédiments Centre et Güttingen, alors que dans les sédiments Schussen nous trouvons encore à une profondeur de 20 cm entre 40 et 50 % des valeurs bactériennes de la surface.

FIG. 2. — Variations du nombre de germes aérobies et anaérobies en fonction de leur niveau dans le sédiment des trois stations de prélèvement.

A partir de treize prélèvements, effectués entre novembre 1967 et mars 1968 [SOECKNICK 1970], nous avons examiné le rapport entre les germes se développant en aérobie et en anaérobie. Dans tous les cas, nous avons dénombré moins d'anaérobies que d'aérobies et la diminution des anaérobies en fonction de la

profondeur se faisait dans la même proportion que chez les aérobies.

En effet, nous avons pu constater lors d'essais ultérieurs, que presque toutes nos souches isolées perdaient après plusieurs repiquages leur aptitude à la croissance dans des conditions d'anaérobiose, même si celles-ci étaient parfaites. Nous croyons que les bactéries sédimentaires hétérotrophes rencontrées en anaérobiose sont surtout des bactéries aérobies - anaérobies facultatives. Il se pourrait que des bactéries anaérobies strictes aient échappé à la mise en évidence: la méthode de prélèvements et de suspensions - dilutions, que nous avons adopté pour ensemencher nos boîtes de Petri en serait la cause.

Mais nous sommes arrivés à isoler d'une très grande quantité de sédiment non dilué, deux souches d'anaérobies strictes, que nous classons dans la famille des Clostridiaceae. Ces souches, parce que trouvées uniquement dans les sédiments Schussen, nous ont semblé être d'origine alluviale.

En ce qui concerne la répartition verticale des bactéries dans le sédiment, il est intéressant de connaître aussi le rapport existant entre les bactéries du sédiment et celles de l'eau surnageante.

L'essai que nous avons pu effectuer en juin 1967 à la station Centre nous fournit des renseignements sur ce point.

La figure 3 montre dans l'échelle logarithmique les nombres de germes que nous avons obtenus dans l'eau et dans le sédiment. Les échantillons ont été prélevés au même moment et dans les mêmes conditions.

Dans l'eau libre, nous avons trouvé à la surface : 3 bactéries/ml, à une profondeur de 5 m : 21 bactéries/ml, à 10 m : 30 bactéries/ml et à 20 m, la plus haute valeur avec 127 bactéries/ml.

C'est entre 10 m et 40 m que nous rencontrons la couche d'eau révélant le saut thermique le plus accusé, le métalimnion. La couche du métalimnion représente même une sorte de barrière s'opposant aux mouvements du phytoplancton vivant, lequel possède un rythme de déplacement jour-nuit. Ceci montre que, quoique modérée, la présence des germes s'accroît.

Dans la zone de l'hypolimnion, le nombre de bactéries diminue de nouveau, et fait apparaître jusqu'au fond une moyenne de 27 bactéries/ml.

Ce n'est qu'à quelques centimètres au-dessus du fond que le nombre de germes augmente de façon considérable. A 2 cm au-dessus du sédiment le nombre de bactéries est de 1 300/ml et s'accroît jusqu'à atteindre la valeur la plus haute de 300 000 bactéries/ml à la surface du sédiment. Ainsi, le nombre de bactéries à la surface du sédiment est environ 8 000 fois plus élevé que dans l'eau libre du Lac [SOECKNICK, 1970].

FIG. 3. — Comparaison du nombre de germes dans l'eau du lac de Constance avec le nombre de germes dans le sédiment, les échantillons étant prélevés au même moment le 5-6-1967 (Station Centre du lac, profondeur d'eau 200 m).

A l'intérieur du sédiment et jusqu'au cinquième centimètre, nous constatons à nouveau la forte diminution de germes déjà mentionnée. Pourtant dans ce cas s'amorce une légère remontée avant la diminution définitive. A plusieurs reprises une hausse similaire est apparue. Elle fait l'objet, actuellement, d'une étude afin de déterminer s'il s'agit d'un phénomène ou d'un artefact.

Cependant, nous pouvons affirmer que dans les sédiments non pollués du Lac de Constance, il existe à partir du dixième centimètre 30 % ou moins de bactéries par rapport à la surface du sédiment.

CONCLUSIONS.

La répartition des bactéries dans les sédiments du Lac de Constance a été étudiée à l'aide de la méthode de Koch sur milieu peptoné.

Trois sédiments typiques ont été choisis pour les prélèvements : l'un dans la zone littorale (Güttingen), les deux autres dans la zone profonde (Centre et Schussen). Les deux sédiments Centre et Güttingen ne sont pas touchés par une pollution directe, tandis que le troisième sédiment Schussen se trouve sous l'influence d'une rivière polluée.

Le nombre de germes trouvés à la surface sédimentaire est sous l'influence de l'apport nutritionnel, qui atteint les sédiments. Cependant un taux réduit en carbone organique et en bactéries ne doit pas faire penser nécessairement à une diminution de l'apport nutritionnel.

La diminution du nombre des bactéries à l'intérieur du sédiment est très accentuée dans les cinq premiers centimètres, puis elle se fait graduellement. Elle est très lente dans les sédiments pollués.

La plupart des bactéries hétérotrophes rencontrées sont aérobies-anaérobies facultatives.

Le nombre de germes à la surface du sédiment dans le Lac de Constance est environ 8 000 fois plus élevé que dans l'eau libre du Lac.

DISTRIBUTION OF BACTERIA IN THE SEDIMENTS OF LAKE CONSTANCE

The presence and distribution of bacteria in the bottom deposits of Lake Constance were studied by means of the plate count method. The plate counts were made with a 0,1 % peptone medium.

Three characteristic types of sediment were selected: one belonging to the littoral region (Güttingen), the two others to the profundal region (Center and Schussen). The two sediments Center and Güttingen are not affected by direct pollution, whereas the third sediment Schussen is subjected to a heavily polluted affluent.

The number of bacteria at the surface of the sediment is influenced by the amount of nutrients reaching the sediments. However, a lower content of organic C and bacteria may not necessarily be inferred from a reduced nutritional supply.

At increasing depths in the sediment deposits, the bacteria show the most significant decrease within the first five centimeters, and then a more gradual decrease. Polluted sediments have a slower decrease in the bacterial numbers.

The majority of the heterotrophic bacteria derived from the sediments showed an aerobic and facultative anaerobic growth.

At the surface of the sediments in Lake Constance, at the mud-water-interface, the number of bacteria is about 8 000 times greater than in the overlying water of the lake.

DIE VERBREITUNG DER BAKTERIEN IN DEN SEDIMENTEN DES BODENSEES

Das Vorkommen und die Verteilung heterotropher Bakterien in den Sedimenten des Bodenses wurde mit dem Koch'schen Plattenverfahren untersucht. Zur Verwendung gelangte ein 0,1 % iger Peptonnährboden.

Für die Untersuchungen wurden drei charakteristische Sedimente ausgewählt: ein Sediment in der Litoralzone (Güttingen), die beiden anderen Sedimente in der Tiefenzone (Seemitte und Schussen). Die beiden Sedimente Seemitte und Schussen sind nicht von einer direkten Verunreinigung betroffen, während das dritte Sediment Schussen dem Einfluß eines stark verschmutzten Flusses unterliegt.

Die Zahl der Keime an der Sedimentoberfläche wird von dem Nahrungsangebot beeinflusst, das die Sedimente erreicht. Hingegen kann von einem geringeren Gehalt an organischem Kohlenstoff und an Bakterien nicht unbedingt auf eine verminderte Nahrungszufuhr geschlossen werden.

Im Innern der Sedimente, mit zunehmender Sedimenttiefe, zeigt sich die stärkste Abnahme in den ersten fünf Zentimetern, dann verläuft sie allmählich. In verschmutzten Sedimenten ist die Abnahme gering.

Die Mehrzahl der gefundenen heterotrophen Bakterien wuchs aerob und fakultativ anaerob.

An der Oberfläche der Sedimente im Bodensee ist die Bakterienzahl rund 8 000 mal höher als im darüber liegenden Freiwasser des Sees.

TRAVAUX CITÉS

- AUERBACH (M.). 1952. — Das Schrifttum der naturwissenschaftlichen Bodensee-Forschung. *Schrift. Verein Gesch. Bodensee* **71**: 161-218.
- DEUFEL (J.). 1965. — Über die Verbreitung von Colikeimen im Bodensee und ihre Zunahme während der letzten zehn Jahre. *Rev. Suisse Hydrol.* **27**: 250-256.
- DEUFEL (J.). 1967. — Hydrobakteriologische Untersuchungen im Bodensee. I. Über die Vertikalverteilung der Bakterien im Pelagial. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* **52**: 617-626.
- DEUFEL (J.). 1969. — Hydrobakteriologische Untersuchungen im Bodensee. II. Über die Horizontalverteilung der Bakterien. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* **54**: 303-308.
- DUSSART (B.). 1963. — Les grands lacs d'Europe occidentale. *Année Biologique*, **2**: 499-572.
- FAST (H.). 1960. — Neuere Untersuchungsergebnisse über den Zustand des Bodensees (westl. Obersee). *Vom Wasser*, **27**: 11-32.
- GRIM (J.). 1968. — Ein Beitrag zur Geschichte der naturkundlichen Erforschung des Bodensees. *Schrift. Verein Gesch. Bodensee*, **86**: 257-282.
- KIEFER (F.). 1968. — Der Bodensee - Sonderdruck aus "Der Landkreis Konstanz", Amtliche Kreisbeschreibung. *Staatl. Archivverwaltung Baden-Württemberg*, Stuttgart 1968.
- MÄRKI (E.). 1968. — Die Verunreinigung des Rheins von seinen Quellflüssen bis zum Bodensee. *Gas-und Wasserfach*, **109**: 820-822.
- MAUZ (J.). 1966. — Das Vorkommen und Verhalten von Colibakterien im limnologischen Geschehen des Bodensees. *Vom Wasser* **33**: 23-56.
- SOECKNICK (K.). 1970. — Contribution à l'étude de la flore bactérienne dans les sédiments du Lac de Constance. *Thèse Doct. Pharm. Strasbourg*, n° 858, (1970), 124 p.
- WAGNER (G.). 1968. — Petrographische, mineralogische und chemische Untersuchungen an Sedimenten in den Deltabereichen von Schussen und Argen. *Rev. Suisse Hydrol.* **30**: 75-137.

*Staatl. Institut für Seenforschung
7994 Langenargen - Allemagne.*