

Survie des bactéries indicatrices de pollution fécale dans un cours d'eau

Autor(en): **Blant, Jean-Daniel / Stettler, Roland**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **105 (1982)**

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-89181>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

SURVIE DES BACTÉRIES INDICATRICES DE POLLUTION FÉCALE DANS UN COURS D'EAU

par

JEAN-DANIEL BLANT et ROLAND STETTLER

AVEC 6 FIGURES ET 2 TABLEAUX

1. INTRODUCTION

La plupart des micro-organismes présents dans les eaux proviennent de l'air, du sol, des plantes ou des animaux, de même que des excréments de l'homme. La présence potentielle de cette multitude d'espèces bactériennes n'est pas sans danger. Rappelons qu'il y a un demi-siècle, la fièvre typhoïde causait encore un réel problème aux communautés humaines.

L'utilisation de certains groupes de bactéries comme indicateurs de pollution fécale (Coliformes et Entérocoques) permet de déterminer la qualité bactérienne d'une eau. La généralisation de ces analyses a été rendue possible par l'emploi d'une méthode de détermination simple et rapide, à savoir la technique des membranes filtrantes.

Le but de ce travail a été de déterminer dans quelle mesure la survie des bactéries indicatrices de pollution fécale pouvait apporter des enseignements sur la capacité d'autoépuration d'un cours d'eau. Le choix s'est porté sur le Doubs, par le fait que nous disposions d'une part d'un système hydrologique et karstique particulièrement intéressant, et que d'autre part toute une série de données valables ont été enregistrées durant une longue période (1974-1980). En outre, le rejet des égouts d'une ville de 40.000 habitants, en l'occurrence La Chaux-de-Fonds, aboutit précisément dans le Doubs. Le problème de ces rejets d'eau usée a été examiné avant et après la mise en service de la station d'épuration de cette ville (1975).

2. SURVIE DES GERMES FÉCAUX DANS UN COURS D'EAU

Dans une eau d'égout brute (DRAPEAU et JANKOVIC 1977) la population bactérienne oscille en moyenne entre 1 à 10 milliards par ml; les

Saprophytes ont des teneurs comprises entre 20 millions/ml en début de journée et 600 millions/ml en fin de journée; les Coliformes présentent des variations situées entre 3 à 120 millions par 100 ml. Quant aux Entérocoques, leur nombre constitue approximativement le 1/10^e de celui des Coliformes.

Lorsque ces bactéries parviennent dans un cours d'eau, elles sont immédiatement soumises aux phénomènes d'autoépuration, lesquels sont tributaires de toute une série de paramètres chimiques, physiques et biologiques. Les bactéries non résidentes, telles que les bactéries d'origine fécale, diminuent progressivement; leur durée de survie est variable, mais elles meurent inévitablement dans un milieu qui leur est relativement hostile.

Il semblerait que les Streptocoques (HANES et *al* 1964) ne survivent pas longtemps dans les eaux de surface et qu'ils ne s'y reproduisent pas. Par contre, les Coliformes (KITRELL et FURFARI 1963) se multiplieraient à deux reprises (comprises dans un laps de temps d'une dizaine d'heures) dans les eaux courantes. La concentration finale en germes serait 4 à 8 fois plus importante que la concentration initiale. Il se pourrait que cette multiplication soit favorisée par les nutriments disponibles mais aussi par le fait que le phénomène de dilution dans le cours d'eau disperse les prédateurs.

La concentration en nutriments finit ensuite par s'abaisser, ce qui fait que les bactéries et leurs prédateurs diminuent parallèlement. Après 1 à 2 jours, il ne subsisterait plus que 15 à 25% de la quantité totale de Coliformes.

En définitive, tous les auteurs s'accordent pour constater une diminution progressive plus ou moins rapide des bactéries fécales dans un cours d'eau. Tous les aspects de ces phénomènes sont loin d'être éclaircis, mais un certain nombre de facteurs sont connus: ainsi la *température* qui a une influence prépondérante. Les eaux chaudes de la belle saison favorisent une concentration plus élevée de bactéries en été qu'en hiver. Les *précipitations* entraînent un lessivage des sols, ce qui favorise souvent une augmentation considérable des micro-organismes dans les eaux courantes. Le degré de diminution des bactéries est sensiblement différent selon la *structure du cours d'eau*. D'une manière générale, on a observé que les Coliformes disparaissent bien plus rapidement dans un petit cours d'eau turbulent que dans un grand fleuve à courant lent. Les contacts bactéries-prédateurs-nutriments sont probablement différents et responsables de ces phénomènes. A cet égard, il semblerait qu'une forte concentration en *nutriments* favorise parallèlement la croissance des Coliformes (HOSKINS 1929).

Enfin, les *sédiments* déposés dans les rivières semblent jouer un rôle important vis-à-vis des bactéries fécales. VAN DONSEL et GELDREICH (1971) ont montré que certains sédiments de rivière pouvaient contenir 100 à 1000 fois plus de Coliformes que la colonne d'eau. Dès lors, la structure du cours d'eau et son régime vont jouer un grand rôle dans la capacité de celui-ci de rendre à la colonne d'eau les bactéries emprisonnées (MATSON et *al* 1978). En cas de crues par exemple, l'augmentation des bactéries dans

la colonne d'eau résulte à la fois du lessivage des sols et des micro-organismes récupérés au sédiment.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Tous les échantillons ont été prélevés au centre de la rivière à 30 cm de profondeur. Cette méthode s'est révélée tout à fait probante par rapport à un échantillonnage en continu, qui est discuté dans les résultats.

Le dénombrement des bactéries a été réalisé au moyen de la technique des *membranes filtrantes* :

— Un volume d'eau minimum de 10 ml est filtré, provenant directement de l'échantillon ou correspondant aux suspensions-dilutions décimales suivant le degré de pollution fécale présumé. Si l'eau est faiblement chargée, un volume maximum de 100 ml est filtré. Toutes les filtrations sont effectuées à l'aide de filtres «Millipore» type HCWG, Ø 047, pores 0,7 µm.

Les germes tests ont été choisis parmi les indicateurs bactériens *spécifiques* (origine fécale certaine), *sensibles* (de concentration suffisante pour en permettre la détection) et *résistants* (résistance des germes tests à l'environnement), selon les critères développée par LECLERC (1977, 1981). En ce qui concerne les bactéries fécales, nous avons retenu : en premier lieu les Coliformes (genres *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter* de la famille des Entérobactériacées); et en second lieu les Entérocoques, c'est-à-dire les Streptocoques du groupe D de Lancefield, α , β et γ hémolytiques. A cela s'ajoute le dénombrement des *germes totaux* contenus dans le milieu et comprenant aussi bien des bactéries d'origine fécale que des bactéries saprophytes.

Les cultures des espèces fécales ont été réalisées à 37° C pendant 48 heures, sur m-Endo agar LES de Difco pour les Coliformes et sur m-Enterococcus agar de Difco pour les Entérocoques. Les germes totaux ont été mis en culture (1 ml) pendant 3 jours à 20° C sur Nutrient agar de Difco.

L'estimation de la survie de ces bactéries a été réalisée en laboratoire par *fermenteur* et sur le terrain (c'est-à-dire dans la rivière et les résurgences) par des *tubes à dialyse*, et par un échantillonnage direct.

Le fermenteur permet de suivre l'évolution d'un nombre connu de bactéries provenant du rejet d'une station d'épuration :

— Un échantillon de 1,5 l d'eau provenant de la sortie du traitement biologique d'une station d'épuration est placé dans un fermenteur avec agitation, aération et stabilisation de la température à 18° C. Toutes les douze heures, pendant cinq jours, un échantillon de 30 ml est prélevé, et la variation de population des germes est mesurée par filtration, incubation et numération.

Afin de vérifier si les informations recueillies en fermenteur correspondent à une réalité dans la nature, nous plaçons une eau de même provenance dans des tubes à dialyse (BOECHAT et ARAGNO 1982) qui sont immergés dans le Doubs :

— La concentration de chaque groupe bactérien étudié est déterminée pour un échantillon de 2 l (station d'épuration) qui sert au remplissage des tubes et du fermenteur pour la répétition de l'expérience. Quatre tubes sont placés sur un cadre, immergé dans un courant lent (Biaufond, pont international). Chaque jour le contenu d'un tube est analysé après agitation.

Enfin, un échantillonnage direct a été réalisé au niveau des différentes résurgences dans le but de suivre l'évolution microbiologique réelle de la rivière.

Tableau I
Pourcentage d'écart des prélèvements instantanés

	1			2			3			4		
	Type de prélèvement	Nb	% d'écart	Type de prélèvement	Nb	% d'écart	Type de prélèvement	Nb	% d'écart	Type de prélèvement	Nb	% d'écart
Saprophytes/ml	I	400	33	I	730	30	I	460	5	I	530	57
	C	600		C	560		C	440		C	370	
Coliformes fécaux /100 ml	I	2200	46	I	600	25	I	1000	25	I	1200	14
	C	1500		C	800		C	800		C	1400	
Autres Coliformes /100 ml	I	4100	58	I	2000	5	I	2500	4	I	1300	19
	C	2600		C	1900		C	2400		C	1600	
Entérocoques /100 ml	I	36	24	I	25	11	I	6	33	I	15	17
	C	29		C	28		C	9		C	18	

4. RÉSULTATS

4.1. *Prélèvements des échantillons*

Un problème important des analyses bactériologiques en eau courante consiste à savoir si l'échantillon prélevé est vraiment représentatif du nombre moyen de germes contenu dans l'eau à un moment donné. Des résultats différents peuvent être obtenus si l'on effectue plusieurs prélèvements dans une coupe transversale du cours d'eau (VIAL 1970). L'auteur indique que les meilleurs résultats sont obtenus au centre de la rivière, où le courant est le plus fort. Nos échantillons ont donc été prélevés au centre du courant, à 30 cm de profondeur.

En supposant qu'il puisse exister des «vagues» de pollution fécale, sortes de nuages de bactéries, nous avons tenu à tester la validité d'un prélèvement instantané en le comparant au résultat obtenu lors d'un échantillonnage en continu de 20 minutes.

Ces deux méthodes sont effectuées à partir d'un bateau immobilisé au centre du courant. Quatre points d'échantillonnages ont été choisis sur la rivière «le Doubs» près de la Maison-Monsieur. Les prélèvements en continu ont été réalisés au moyen d'une pompe électrique au débit nominal de 0,1 l/min.

Un prélèvement unique peut être considéré comme valable s'il est égal à plus ou moins 50% de la valeur moyenne observée (VIAL *op. cit.*). En admettant que la gamme d'échantillonnage en continu soit plus représentative de l'état bactériologique du moment, nous la faisons figurer comme moyenne dans le tableau I; le pourcentage d'écart des prélèvements instantanés est calculé par rapport à cette moyenne fictive. Les résultats montrent que l'écart obtenu entre les deux méthodes est relativement faible; par conséquent l'application de l'une ou l'autre de ces méthodes aboutit à des résultats équivalents. Nous avons donc retenu la méthode la plus simple et la plus rapide qui est celle du prélèvement instantané.

4.2. *Fermenteur*

Les résultats de l'expérience sont représentés sur la figure 1 et montrent une évolution différentielle entre deux groupes de bactérie fortement marquée déjà après un jour: les bactéries saprophytes ainsi que le groupe de bactéries nommé «autres Coliformes» présentent une forte capacité de multiplication et poursuivent ainsi le processus de minéralisation. Le parallélisme existant entre l'évolution du nombre de bactéries saprophytes et celle des «autres Coliformes» est frappant. L'origine non fécale de ce groupe paraît probable.

Malgré une légère augmentation durant 24 heures, les Coliformes fécaux ne semblent pas rencontrer dans l'eau un milieu favorable à leur développement et leur nombre décroît rapidement. Les Entérocoques sont eux aussi en constante diminution.

Il apparaît donc une évolution très différente entre les populations de bactéries typiquement fécales et les autres.

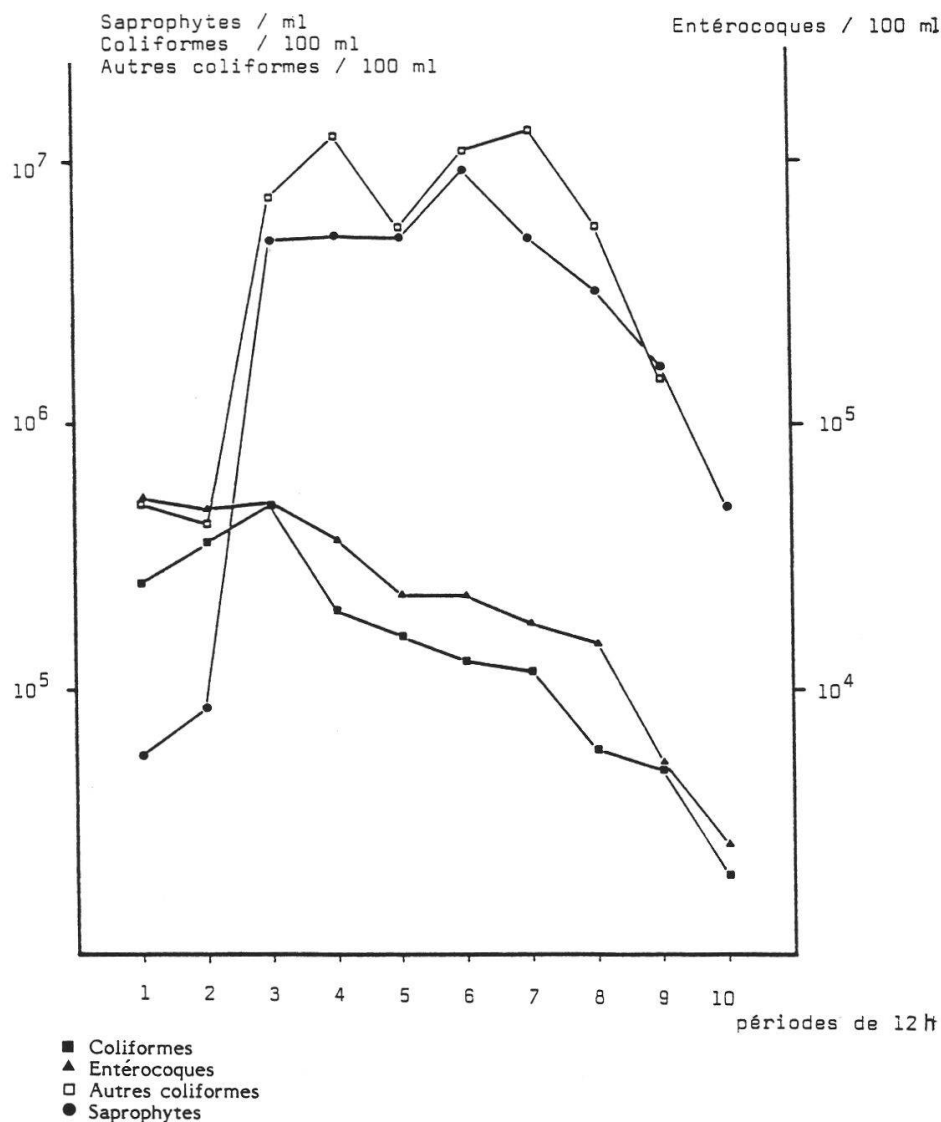


Fig. 1. Fluctuation de population des différents groupes bactériens en fermenteur.

4.3. Tubes à dialyse

L'échantillon d'eau provenant de la sortie du traitement biologique de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds, dont la concentration des différents groupes bactériens a été préalablement déterminée, nous a permis de remplir les tubes à dialyse parallèlement à l'expérience en fermenteur. Un tube est analysé toutes les 24 heures, tandis qu'un échantillon d'eau est prélevé toutes les 12 heures dans le fermenteur. La croissance des bactéries non fécales, saprophytes et «autres Coliformes», est plus faible dans les tubes à dialyse que dans le fermenteur, et le nombre maximum de germes atteints nettement moins élevés. Sur 40.000 germes saprophytes au départ, il ne subsiste plus, après 120 heures, que 2000 germes par ml dans les tubes à dialyse, alors qu'on en observe encore près de 100.000 par ml dans le fermenteur. La croissance plus faible des bactéries placées dans la rivière devrait s'expliquer par un manque d'agitation du milieu et une température (14 à 16° C) moins élevée que dans le

fermenteur (18° C). Le rôle joué par les prédateurs et les bactériophages est difficilement estimable tant à l'intérieur des tubes que dans le fermenteur.

Dans les deux cas, les Entérocoques, ainsi que les Coliformes, hors de leur milieu naturel, n'ont guère tendance à se multiplier. Leur diminution est rapide (fig. 2).

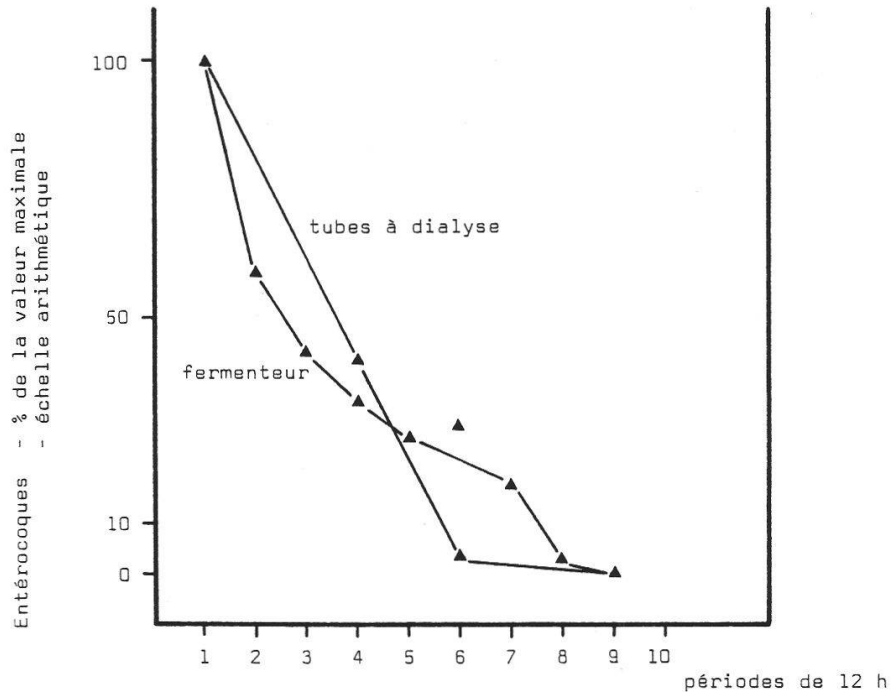


Fig. 2. Diminution des Entérocoques en tubes à dialyse et en fermenteur. Même concentration de germes au départ.

4.4. *Echantillonnage direct : Analyses bactériologiques du Doubs et contrôle des résurgences de la région de Biaufond.*

Les expériences en fermenteur et en tubes à dialyse ont fourni des indications précises quant à l'évolution d'une flore bactérienne d'origine hydrique, respectivement dans un milieu artificiel ou dans un milieu semi-naturel. Elles peuvent être considérées comme des références permettant ensuite l'interprétation de certains phénomènes d'autoépuration dans une rivière. La rivière choisie, en l'occurrence le Doubs, est intéressante à plus d'un titre, car nous bénéficions de conditions géographiques favorables :

- absence presque complète d'affluents ;
- réponse rapide du karst à un événement hydrologique ;
- variations importantes du débit ;
- présence de centres de contamination limités et espacés le long du cours ;
- agglomération du versant sud du bassin du Doubs équipées de stations d'épuration : Les Brenets, Le Locle, La Chaux-de-Fonds.

Le long de ce cours d'eau, nous disposons d'une part de huit séries de douze prélèvements effectués par les soins du Service cantonal de la protection de l'environnement entre Pontarlier et Biaufond. D'autre part, nous avons réalisé de notre côté quatre séries d'analyses en 1974, avant la

mise en service de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds, et six séries d'analyses en 1975, puis en 1980, après la mise en service de cette station.

a) Analyses bactériologiques du Doubs entre Pontarlier et Biaufond

Le Service cantonal de la protection de l'environnement à Neuchâtel a effectué de 1978 à 1980 huit séries d'analyses comprenant onze points d'échantillonnages. Les résultats de ces analyses ont été aimablement mis à notre disposition par ce service (anciennement le Laboratoire cantonal). Nous ne nous bornerons à citer ici que quelques faits majeurs de cette étude, car le reste n'est pas de notre ressort.

D'après ces séries d'analyses deux centres importants de contamination fécale sont mis en évidence. Le premier se situe immédiatement en aval de Pontarlier, et le second, aux environs de Morteau. Certains paramètres chimiques comme ici l'oxydabilité au permanganate de potassium, varient en parallèle. La figure 3 indique le profil des moyennes des séries pour trois groupes de bactéries tests, ainsi que pour l'oxydabilité des échantillons.

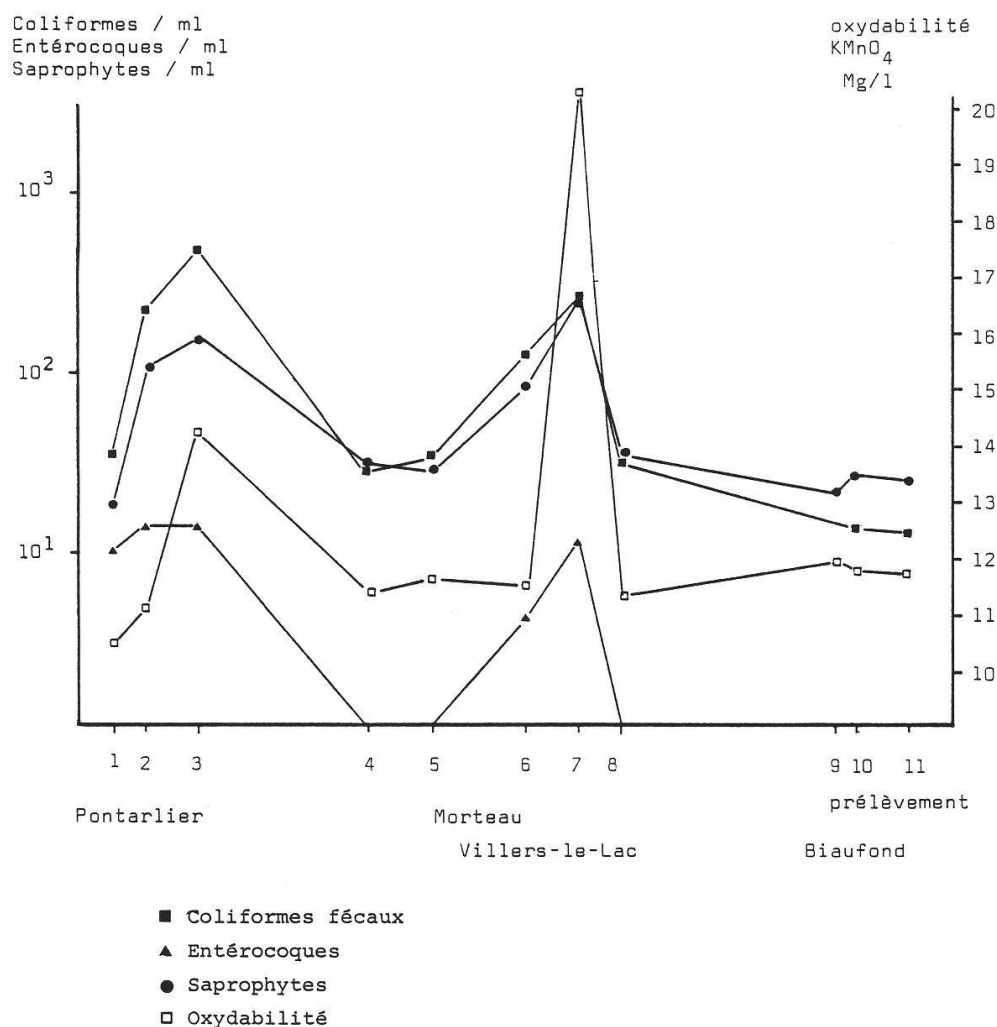


Fig. 3. Profil des moyennes de six séries d'analyses.

Après le premier centre de contamination de Pontarlier, on peut observer une diminution de tous les groupes bactériens jusqu'aux environs de Morteau (d'un facteur 10 pour les bactéries fécales). Après le second (Morteau, Villers-le-Lac), on constate une diminution de toute la flore microbienne jusqu'au Saut-du-Doubs.

Les séries effectuées lors de crues sont exclues de ces moyennes, car les profils obtenus à ce moment se détachent des courbes présentées à la figure 3. En période de hautes eaux, l'ensemble des germes conserve une concentration importante sur tout le cours du Doubs, probablement par suite du lessivage des sols, et de la vitesse du courant qui remet en suspension des bactéries ou qui les empêche, au contraire, de sédimenter. Ceci prouve que *chaque série de prélèvements doit être obligatoirement mise en relation avec le débit de la rivière*. Ce n'est qu'en période d'étiage que les phénomènes d'autoépuration associés à la disparition des bactéries sont visibles.

b) Etude bactériologique des résurgences de la région de Biaufond

Il est important de connaître l'évolution respective de chaque groupe bactérien à partir du moment où il va subir un changement de condition de milieu, tel par exemple que le passage de l'égout ou du rejet de la station d'épuration à la rivière. Les conditions de terrain de la région concernée sont particulièrement favorables à une étude de ce type.

L'*aspect géologique* démontre qu'un accident tectonique important, à savoir le décrochement de La Ferrière, sépare les systèmes d'écoulement de la vallée du Doubs et du vallon de Saint-Imier. Le vallon de La Ronde marque la trace d'une partie de ce décrochement. Tout un système d'écoulement de type karstique s'est implanté dans cette zone perturbée, créant un réseau hydrologique souterrain particulièrement développé.

C'est ainsi que les eaux usées de la ville de La Chaux-de-Fonds se déversaient jusqu'en 1975 dans deux emposieux situés aux Anciens-Moulins. Deux essais de coloration (fluorescéine), effectués par le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, ont montré que ces eaux ressortaient par deux résurgences sises au bord du Doubs: celle de La Verrerie (N° 1) et celle de La Rasse (N° 4). De plus, une faible quantité d'eau usée réapparaissait également à la source N° 5 dite «des Dames» (B. MATTHEY, communication orale).

Au-delà d'un débit de 4 m³/s dans les égouts de La Chaux-de-Fonds (durant les pluies ou la fonte des neiges), les emposieux n'absorbaient plus la totalité du débit, et l'eau excédentaire s'écoulait dans la Combe du Valanvron pour se perdre progressivement dans le lit calcaire. Lors d'un débit très élevé, le torrent parvenait jusqu'au Cul-des-Prés et remplissait le lac. Le trop-plein du lac et celui du Bugnon-du-Fief s'infiltraient alors dans le karst et réapparaissaient aux sources de la Combe de Biaufond (N° 7) et à la source des Dames (vitesse: 30 à 60 m/h (B. MATTHEY, communication orale)).

La construction de la station d'épuration n'a que partiellement modifié la situation hydrologique. L'eau ne se déverse plus dans les pertes des Anciens-Moulins. Elle est amenée par une canalisation dans la Combe des

Sources et résurgences de la région de Biaufond

1. La Verrerie
2. Le Moulinet
3. Corps de Garde
4. La Rasse
5. Source des Dames
6. Lac de la Ronde
7. Combe de Biaufond

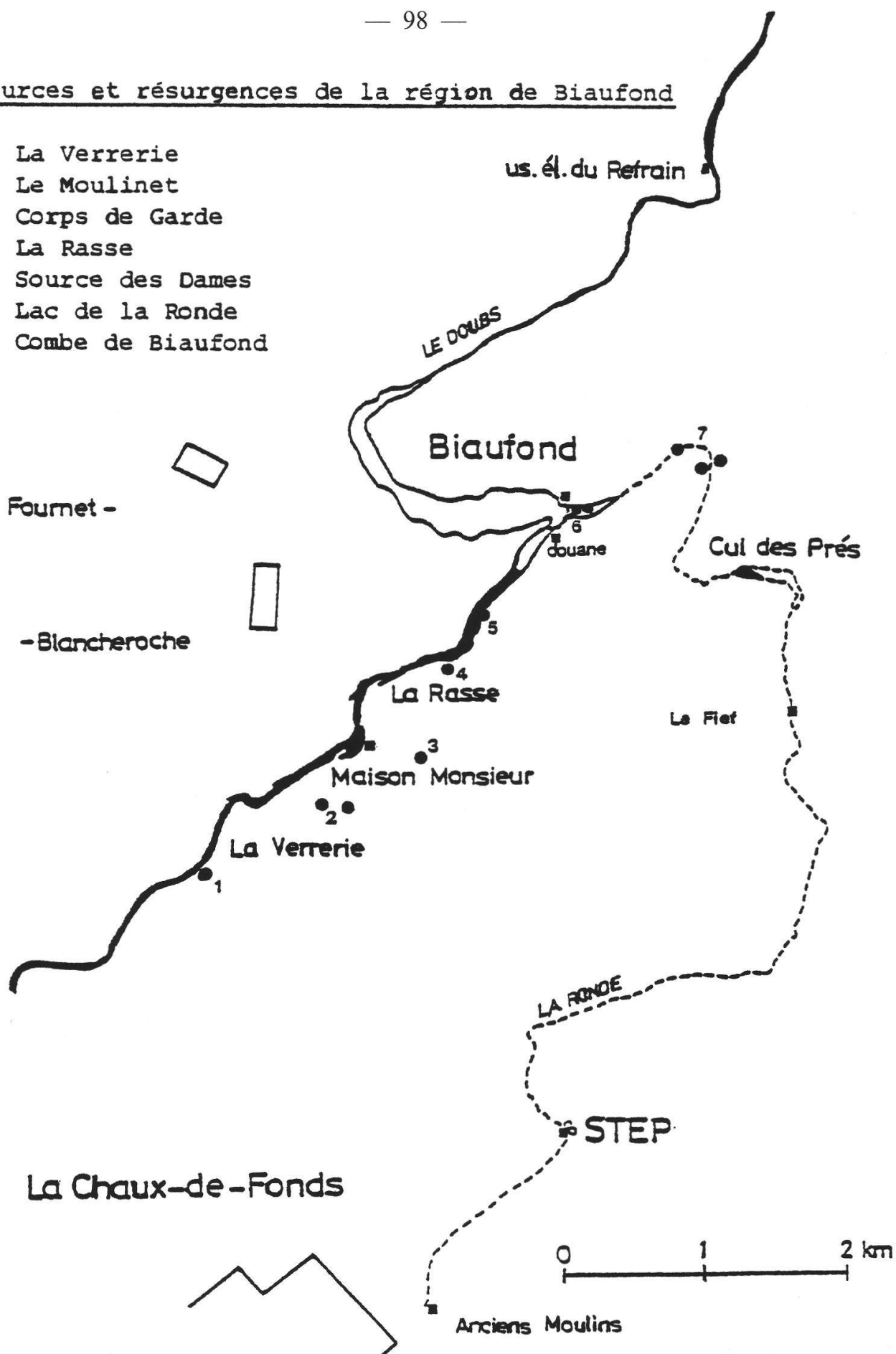


Fig. 4. Sources et résurgences de la région de Biaufond.

Moulins jusqu'à la station d'épuration. Après épuration, elle est rejetée, comme précédemment en période de crue, dans la Combe du Valanvron, où elle s'infiltre dans le lit calcaire. Les résurgences sont à peu près les mêmes qu'auparavant avec un décalage en aval. Lors des crues, les eaux ressortent au bas de la Combe de Biaufond (N° 7).

En ce qui concerne les analyses, quatre séries de prélèvements ont été effectués durant l'année précédant la mise en service de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds (1974). Les résurgences les plus contaminées (La Verrerie et La Rasse) ont été contrôlées en premier lieu, ainsi que l'ensemble des sources de La Ronde. De plus, des analyses complémentaires de l'eau du Doubs ont été pratiquées systématiquement au niveau du pont de Biaufond.

Les résultats de 1974 ont été comparés avec les six séries d'analyses réalisées en 1975 et 1980, et partiellement avec les huit séries réalisées par le Service cantonal de la protection de l'environnement entre 1978 et 1980.

Un bilan des populations de bactéries fécales a pu ainsi être dressé avant et après la mise en service de la station d'épuration de la Combe des Moulins. Cette comparaison a permis de voir si l'épuration des eaux, ainsi réalisée, a eu un effet bénéfique ou non concernant la contamination fécale des résurgences de la région de Biaufond.

Les *résultats* sont présentés sur le tableau II et établis en % de la valeur moyenne du nombre de bactéries par rapport à 1974, pour chaque lieu de prélèvement. Compte tenu de l'hétérogénéité intrinsèque du milieu karstique (KIRALY et MÜLLER 1979), il convient d'être très prudent dans l'interprétation de données ponctuelles. Comme l'ont prouvé de récentes recherches effectuées au niveau d'exutoires karstiques (MOESCHLER et *al.*, sous presse), on assiste en très peu de temps à une grande variabilité des paramètres en fonction des événements hydrodynamiques.

Jusqu'en 1974, les *résurgences de La Verrerie et de La Rasse* étaient les plus contaminées par les eaux usées de la ville (fig. 5). A partir de la mise en service de la station d'épuration en 1975, un abaissement spectaculaire des bactéries fécales se manifeste.

Dans les deux résurgences, on observe une diminution en parallèle de 95% des Coliformes et 99% des Entérocoques. Les deux autres groupes de bactéries, d'évolution identique, régressent de 87% à La Verrerie et d'un peu plus de 60% à La Rasse. Après des précipitations, on peut noter une augmentation de la contamination; ce phénomène s'est produit par exemple le 14 décembre 1979. Toutefois, même en période de crues, le nombre de germes recensés pour chaque groupe atteint à peine le 10% de la moyenne enregistrée en 1974. Les deux résurgences autrefois massivement contaminées par les égouts de La Chaux-de-Fonds ont donc subi une amélioration prouvée et spectaculaire de la qualité de leur eau, consécutivement à la mise en service de la station d'épuration.

Les résurgences de la vallée de La Ronde reçoivent depuis 1975 l'eau de sortie de la station d'épuration et présentent des résultats variables suivant son fonctionnement et les conditions hydrologiques du moment: au-delà d'un débit de 11,6 m³/s à la station d'épuration, les eaux non épurées supplémentaires sont rejetées par surverse directement dans le lit de La

Tableau II

Variations des différents groupes bactériens au niveau des principales résurgences et du Doubs (région de Biaufond)

Lieux de prélèvement	Nombre d'analyses		Coliformes fécaux			Autres Coliformes			Entérocoques			Germe totaux (saprophytes)		
	1974	1975 1980	M1	M2	ΔM (%)	M1	M2	ΔM (%)	M1	M2	ΔM (%)	M1	M2	ΔM (%)
La Verrerie	4	8	129500	6230	- 95,2	115750	15000	- 87	46500	530	- 98,9	66150	8600	- 87
La Rasse	4	6	113500	5970	- 94,7	39250	12370	- 67,2	21475	147	- 99,3	21000	8160	- 61,2
Rivière la Ronde	4	4	1790	3700	+ 206,7	3400	9300	+ 273,5	4200	305	- 92,7	4660	12170	+ 261,2
Lac de la Ronde (exutoire)	4	12	3035	3190	+ 1,0	997	3290	+ 330	1497	1365	- 8,9	2760	5100	+ 184,8
Le Doubs (Biaufond-douane)	4	18	11525	2140	- 81,4	14190	5130	- 63,8	1830	143	- 92,2	9825	3670	- 62,6

Ces variations sont établies en pour-cent par rapport aux quantités de bactéries moyennes dénombrées en 1974, avant la mise en service de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds.

Légende: M1: Nb de bactéries: moyenne 1974.

M2: Nb de bactéries: moyennes 1975, 1978, 1979 et 1980.

ΔM : Variations par rapport à 1974.

NB: Par souci de simplification, ce tableau n'indique ni maximum, ni minimum, ni écarts-types.

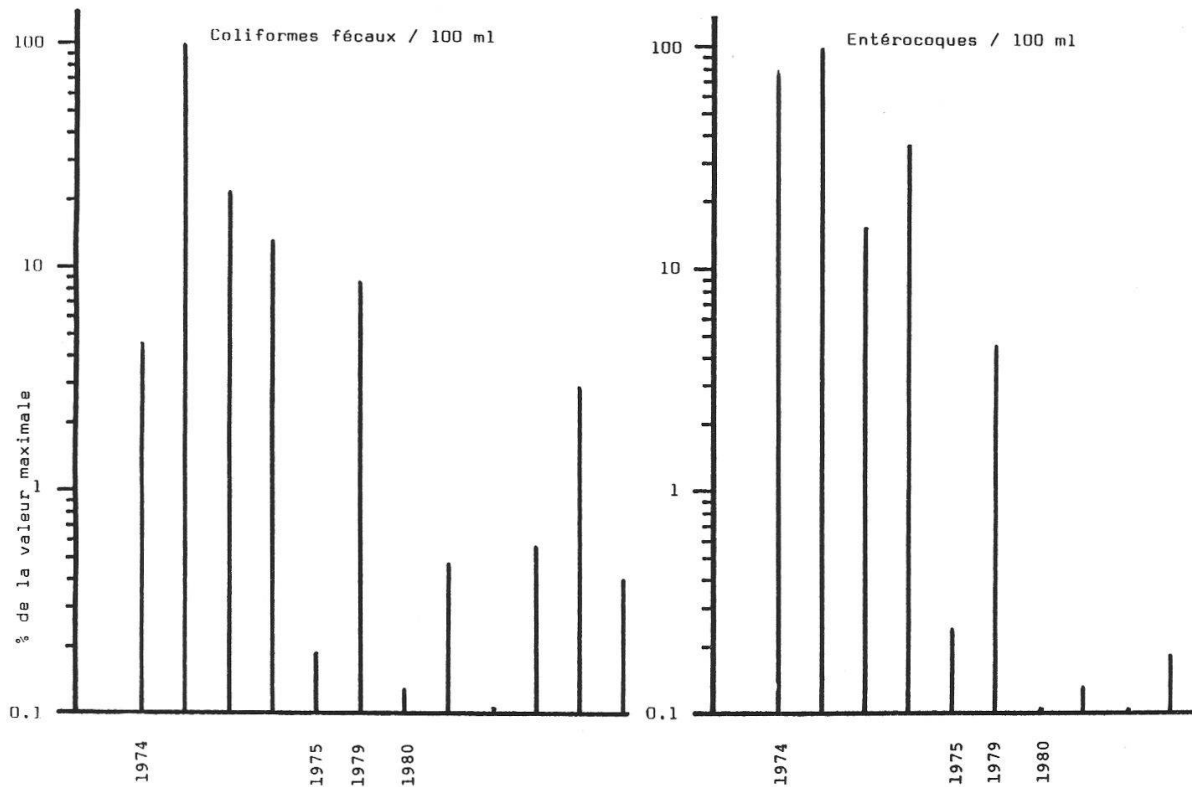


Fig. 5. Coliformes et Entérocoques de l'eau de La Verrerie.

Ronde. Suite à ces déversements, nous avons pu constater une augmentation de 200% des Coliformes à l'embouchure de la rivière dans le lac de La Ronde. Les saprophytes et «autres Coliformes» subissent aussi une augmentation dans des proportions identiques, soit 260-270% (fig. 6). Le maximum de germes décelés à cet endroit n'est toutefois que de 12.000/100 ml (en 1974), soit moins que le minimum enregistré à La Verrerie en 1974 (17.000/100 ml). Il est intéressant de constater tout de même une diminution de plus de 90% des Entérocoques.

Les mesures effectuées à l'autre extrémité du lac de La Ronde (*La Ronde-pont*) ont montré l'influence des *résurgences de la vallée de La Ronde*, à laquelle s'ajoute l'effet de *deux sources sous-lacustres* débouchant dans le lac de La Ronde. La variation par rapport à 1974 est faible: stabilité des bactéries fécales, augmentation des «autres Coliformes» et saprophytes. La quantité d'Entérocoques est variable. Les nombreux oiseaux d'eau séjournant volontiers sur le lac de La Ronde peuvent être responsables de cette situation (cygnes, foulques, canards, grèbes). D'une manière générale, nous pouvons dire que le déversement des eaux de sortie de la station d'épuration dans le lit de La Ronde ne provoque pas une forte augmentation des germes de toute nature dans le lac de La Ronde. Leur nombre reste peu élevé mais dépend du bon fonctionnement de la station d'épuration et des conditions hydrologiques.

Quelle peut être l'amélioration effective de la qualité de l'eau du Doubs après la mise en service de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds?

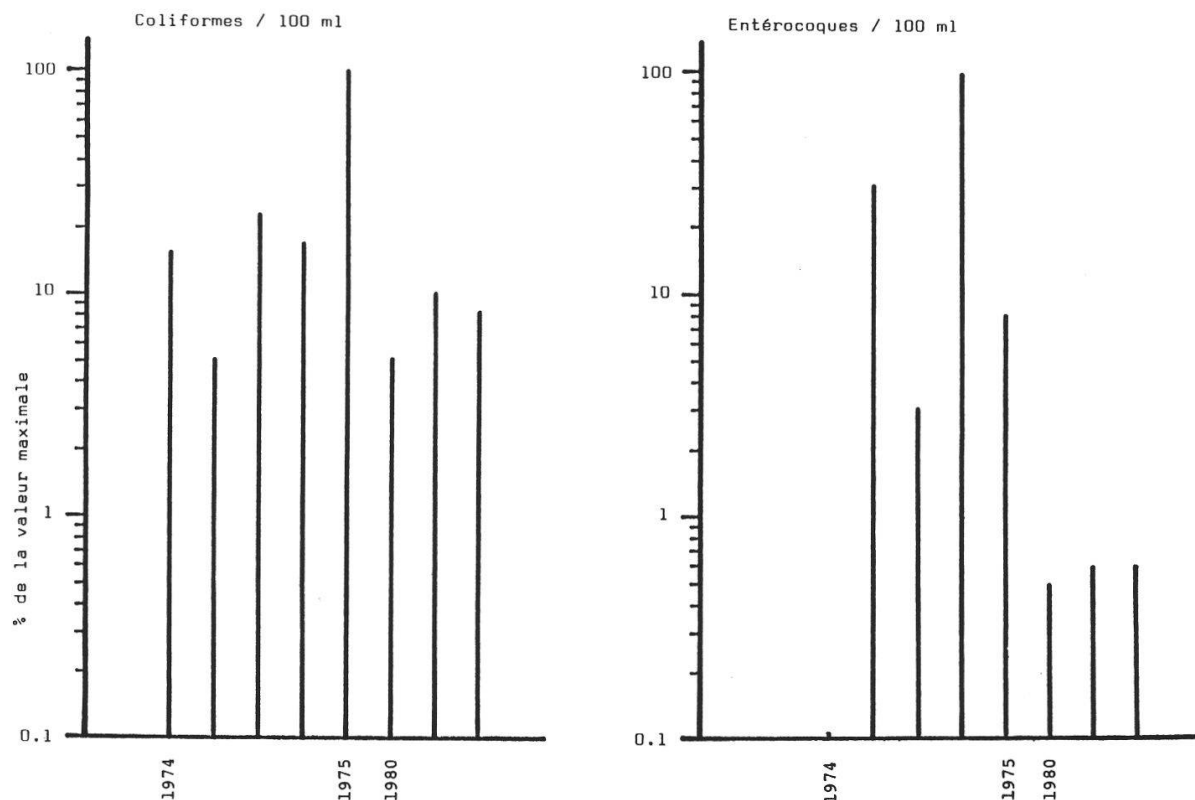


Fig. 6. Coliformes et Entérocoques de l'eau de La Ronde-rivière.

Nous avons voulu tenter de répondre à cette question en choisissant une station de prélèvement en aval des résurgences de La Verrerie et de La Rasse, soit celle de la *douane de Biaufond*. Les diminutions enregistrées sont surprenantes: Coliformes et Entérocoques régressent respectivement de 80 et 90%. Les bactéries saprophytes et les «autres Coliformes» diminuent encore une fois dans de mêmes proportions: 62,6 et 63,8%. L'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau du Doubs, ainsi enregistrée depuis 1975, ne dépend pas uniquement de la mise en service d'une seule station d'épuration, mais de l'assainissement global des eaux usées de toute une région.

5. DISCUSSION

Cette étude, élaborée à partir de quelques groupes tests de bactéries d'origine fécale, a permis d'évaluer trois aspects fondamentaux de l'écologie bactérienne, au travers de rejets d'eau usée, et du mélange de ces eaux dans une rivière de moyenne importance.

— Le premier aspect concerne le comportement de différentes bactéries tests placées au départ dans de mêmes conditions. Quelle que soit la méthode d'investigation utilisée, une sensible différence de comportement a été observée entre les deux principaux groupes de bactéries étudiés: les bactéries fécales, surtout les Entérocoques, n'ont guère tendance à se

multiplier hors de leur milieu naturel, alors que les saprophytes et les « autres Coliformes » sont sensibles aux modifications favorables du milieu et développent rapidement leurs populations. Il convient de souligner à cet égard, l'évolution parallèle des bactéries saprophytes et des « autres Coliformes » : l'origine non fécale de ces groupes paraît donc probable.

— Le deuxième aspect peut être mis en relation avec le pouvoir d'autoépuration du Doubs, par l'analyse des groupes de bactéries précédents. L'étude des profils bactériens de la rivière établis par le Service cantonal de la protection de l'environnement, de Pontarlier jusqu'à Biau-fond, a démontré que ce cours d'eau dispose d'un bon pouvoir d'autoépuration. Ces phénomènes d'autoépuration ne sont pratiquement visibles qu'en période d'étiage, où l'on constate que les concentrations massives en bactéries fécales au droit des effluents d'eau usée, diminuent considérablement quelques kilomètres en aval dans la rivière (indépendamment du facteur de dilution). Remarquons toutefois qu'une telle étude pourrait être complétée et affinée : le rôle de la sédimentation en tant que mise en réserve de la pollution, mériterait en particulier d'être précisé. Il conviendrait également de tenir compte de certains paramètres hydrogéologiques et climatiques supplémentaires, tels que les types de précipitation (averses, orages, pluies dépressionnaires), les sollicitations des précipitations sur les bassins versants, les réactions du karst, etc.

— Le troisième aspect, intéressant plus spécialement les hygiénistes, a permis d'obtenir des données comparatives sur les variations des populations bactériennes de ce réseau hydrologique et karstique bien caractérisé, avant et après la mise en service d'un système d'épuration. Ces données ont démontré que la mise en service de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds (environ 60.000 équivalents-habitants) en 1975 a provoqué la disparition de plus de 80% de la flore bactérienne d'origine fécale qui peuplait les deux principales résurgences des eaux usées de la ville (La Verrerie et La Rasse). Dans le même temps, d'autres sources situées en aval voyaient leur flore fécale augmenter de plus de 200% ! C'est la preuve d'un déplacement des rejets. Toutefois, des contrôles réalisés en aval de ces derniers rejets pour différents débits de la rivière ont démontré qu'il y avait à ce niveau une diminution effective de 80% des bactéries fécales et de 60% des saprophytes. Il apparaît donc de façon indubitable que l'ensemble des systèmes d'épuration implantés tant à La Chaux-de-Fonds que dans les régions situées en amont des sites étudiés (Le Locle, Les Brenets) a provoqué une amélioration incontestable de la qualité bactériologique des eaux du Doubs. Cela signifie en clair que la pollution de type primaire, qui provient du contenu des eaux vannes (matières excrémentielles, etc.), est convenablement réduite. Cela ne signifie pas que les pollutions chimiques des eaux usées, dues aux nombreuses industries chaudes-fonnières, soient dans le même état d'amélioration. En l'absence de mesure de ces paramètres, il convient d'être prudent et de n'envisager aucune conclusion par trop générale.

Enfin, il est intéressant de noter que le dénombrement (par le procédé des membranes filtrantes) de quelques germes tests de contamination fécale (à l'exclusion de données épidémiologiques plus sophistiquées, telles

que des études de bactéries pathogènes, de bactériophages, voire d'Entérovirus) a fourni des indications d'une précision tout à fait convenable quant au degré de pollution fécale d'une eau. La preuve est fournie, s'il en est besoin, que les bactéries fécales (Coliformes et Entérocoques), associées aux germes saprophytes, peuvent être avantageusement utilisés comme traceurs dans un système karstique et dans un cours d'eau. Elles possèdent le grand avantage d'être aisément décelables, et la statistique obtenue par leur dénombrement fournit souvent des données plus précises que bien des paramètres chimiques.

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à M. M. Aragno, directeur du Laboratoire de microbiologie de l'Université de Neuchâtel pour ses nombreux et précieux conseils. Nos remerciements s'adressent également à M^{me} Pokorni du Service cantonal de la protection de l'environnement, qui nous a communiqué les résultats d'analyses effectués par ce service. Nous tenons à exprimer notre gratitude au personnel de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds et à M. C. Forrer qui a aimablement mis son bateau à notre disposition. Enfin, nous adressons un merci tout spécial à M^{lle} Rosselet, du Laboratoire des eaux de Neuchâtel, pour son assistance technique dévouée.

Résumé

Le présent travail avait pour but de déterminer le pouvoir d'autoépuration d'un cours d'eau, en l'occurrence le Doubs, à partir d'analyses de routine de germes tests de contamination fécale, tels que les Coliformes et les Entérocoques, et de germes saprophytes.

Des essais préalables sur le comportement de ces bactéries tests en fermenteur ont démontré que les espèces fécales diminuent dès leur arrivée dans l'eau, au contraire des saprophytes qui se multiplient en fonction des nutriments à disposition. Des essais en sacs à dialyse ont confirmé cette évolution.

En deuxième lieu, l'étude des profils bactériens de Pontarlier à Biaufond a démontré que le Doubs dispose d'un bon pouvoir d'autoépuration.

Enfin, en troisième lieu, des données comparatives ont été obtenues sur les variations des populations bactériennes de l'eau de la rivière, avant et après la mise en service de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds (60.000 équivalents-habitants). Cette dernière partie qui tient compte de résultats d'analyses étalés sur six ans (1974 à 1980) a démontré qu'après la mise en service de la station d'épuration en 1975, on a pu observer environ 80% de diminution de l'ensemble des bactéries précédemment rejetées. Ceci témoigne d'un résultat très encourageant sur le plan épidémiologique.

BIBLIOGRAPHIE

- BOÉCHAT, C. et ARAGNO, M. — (1982). Sous presse.
- DRAPEAU, A.J. et JANKOVIC, S. — (1977). Manuel de microbiologie de l'environnement. *Organisation mondiale de la santé*, 249 pp.
- HANES, N.B., SARLES, W.B. et ROHLICH, G.A. — (1964). Dissolved oxygen and survival of coliform organisms and enterococci. *Journal of Am. Water Works Ass.*: 441-446.
- HOSKINS, J.K. — (1929). Quantitative studies of bacterial pollution and natural purification in the Ohio and Illinois rivers. *Trans. Am. Soc. Civil Engr.* 89: 1365.
- KIRALY, L. et MÜLLER, I. — (1979). Hétérogénéité de la perméabilité et de l'alimentation dans le Karst: effet sur la variation du chimisme des sources karstiques. *Bull. Centre d'hydrogéologie, Neuchâtel*, N° 3, 237-285.
- KITTREL, F.W. et FURFARI, S.A. — (1963). Observation of coliform bacteria in streams. *Journal WPCF, USA*, 35: 1361-1385.
- LECLERC, H. — (1977). Cours de microbiologie aquatique et médicale. Institut Pasteur de Lille.
- (1981). Bio-indicateurs de contamination. Colloque présenté à la Société française de microbiologie, Institut Pasteur de Paris.
- MATSON, E.A., HORNOR, S.G. et BUCK, J.D. — (1978) Pollution indicators and other microorganisms in river sediment. *Journal WPCF, USA*. 50: 13-19.
- MOESCHLER, P., MÜLLER, I., SCHOTTERER, U. et SIEGENTHALER, U. — (1981). Les organismes, indicateurs naturels dans l'hydrodynamique du karst, confrontés aux données isotopiques, chimiques et bactériologiques, lors d'une crue de l'Areuse (Jura neuchâtelois, Suisse). Sous presse.
- VAN DONSEL, D.J. et GELDREICH, E.E. — (1971). Relationships of salmonellae to fecal coliforms in bottom sediments. *Water Res.* 5: 1079.
- VIAL, J. — (1970). Bactériologie des eaux de surface et hygiène publique. Communication faite aux journées de l'eau. Centre de perfectionnement technique, Paris.

Adresse des auteurs:

Jean-Daniel Blant, Laboratoire de microbiologie, Institut de botanique, Université de Neuchâtel.
Roland Stettler, Laboratoire des eaux, Champ-Bougin 28, 2000 Neuchâtel.