

Contamination bactérienne des eaux de boisson

Recherche de l'origine (humaine ou animale) par l'identification des streptocoques fécaux

Ami Lièvre, Jean Fernex, St.-Ursanne (CH) et Vania Atudorei, Québec (CDN)

Résumé

La contamination des eaux souterraines par des matières fécales provoque des risques épidémiologiques dans la population. L'analyse de routine d'*Escherichia coli* et des streptocoques fécaux permet de déceler toute contamination fécale, mais n'indique pas si la pollution est d'origine humaine ou animale. Dans le cadre d'une gestion globale des eaux, il est très utile de déterminer la nature de la pollution constatée, afin de pouvoir prendre les mesures de protection qui s'imposent. L'identification des streptocoques fécaux par une méthode simple permet de différencier aisément les pollutions fécales par des eaux usées domestiques (origine humaine) ou par du lisier de bovins ou de porcs. Ce nouvel outil d'analyse, d'application peu coûteuse et assez rapide, peut être utilisé dans n'importe quel laboratoire de bactériologie. Il doit permettre au gestionnaire des eaux, particulièrement dans les régions karstiques, de mieux protéger les captages d'eau de boisson.

Bakterielle Verunreinigung des Trinkwassers - Suche nach der Ursache (menschlich oder tierisch) durch Identifizierung der Streptokokken in den Exkrementen - Zusammenfassung

Durch Fäkalien verschmutztes Grundwasser gefährdet die Gesundheit der Bevölkerung. Die Routineanalyse von Bakterien im Wasser (*E. coli*, Fäkalstreptokokken) erlaubt den Nachweis einer Kontamination, sagt aber nichts aus über den Verursacher (Mensch, Tier). Im Rahmen der globalen Wasserbewirtschaftung ist es von grossem Nutzen, die Quelle einer nachgewiesenen Verschmutzung zu identifizieren, damit geeignete Schutzmassnahmen realisiert werden können. Mit der Artenbestimmung des Fäkalstreptokokken über eine einfache Methode fällt die Unterscheidung zwischen den bekannten Verschmutzungsverursachern, der häuslichen Abwässern und der Landwirtschaft (Jauche) leicht. Diese neue, kostengünstige und schnelle Analysemethode kann in jedem bakteriologischen Laboratorium durchgeführt werden. Sie erlaubt den verantwortlichen Personen der Wasserbewirtschaftung, insbesondere in Regionen mit Karst-Grundwasser, die Trinkwasserfassung besser zu schützen.

Bacterial contamination of the drinking-water. Search for the causes (human or animal) by identification of the streptococci in the excrements - Summary

Underground water contamination by fecal matter exposes the population to the risk of epidemics. Routine analysis of *Escherichia coli* and fecal streptococci shows up fecal contamination but does not determine its origins as animal or human. In the context of a global management of water resources it is very useful to know the exact nature of such pollution so that the necessary protective measures can be taken. A simple method of identifying fecal streptococci easily distinguishes their provenance from domestic waste waters (human) or liquid manure (cattle or pigs). This new aid to analysis which is inexpensive and quite rapid can be used in any bacteriology laboratory. It should help those responsible for water management, particularly in karstic regions, to better protect the harnessing of drinking water.

Les méthodes analytiques utilisées habituellement dans les laboratoires de contrôle des eaux de boisson ne permettent pas, dans la pratique courante, d'appréhender les causes et les origines d'une contamination bactérienne. En effet, les analyses prescrites par le «Manuel suisse des denrées alimentai-

res» mettent essentiellement en évidence la présence éventuelle de coliformes et de streptocoques fécaux, hôtes normaux de l'intestin des vertébrés homéothermes (mammifères, oiseaux). Les méthodes officielles permettent ainsi d'apprécier rapidement la *potabilité* d'une eau et les éventuels dysfonc-

tionnements des systèmes de désinfection.

Dans notre laboratoire, les tâches ne se limitent toutefois pas à des constats analytiques, notre rôle étant plus d'assurer une gestion globale des ressources en eau de notre région, essentiellement karstique et rurale. Il est donc très important, dans certains cas, d'obtenir des informations supplémentaires, en particulier de découvrir l'origine précise des bactéries présentes dans l'eau. Il s'agit en effet de se donner les moyens d'intervenir également sur le bassin-versant de la source, afin de supprimer les causes de la contamination et, dans la mesure du possible, de prévenir d'autres épisodes non souhaitables. En conséquence, nous avons tenté de déterminer, par des *moyens bactériologiques*, si une pollution fécale, par ailleurs mise en évidence à l'aide des méthodes traditionnelles, était essentiellement d'origine humaine ou animale.

1. Analyses bactériologiques de base

L'Ordonnance sur les exigences hygiéniques et microbiologiques relatives aux denrées alimentaires (RS 817.024) spécifie les tolérances microbiologiques pour la distribution d'eau de boisson dans les réseaux de distribution. Les germes aérobies mésophiles ne doivent pas excéder une concentration de 300 germes /ml, tandis que *Escherichia coli* et les entérocoques ne doivent pas être décelables dans 100 ml d'eau.

1.1 *Escherichia coli* et les coliformes fécaux

La méthode analytique spécifiée par le Manuel suisse des denrées alimentaires permet la détermination quantitative rapide de *Escherichia coli* *préssumé* dans les eaux. En effet, pour ne pas rallonger l'analyse, la seule détermination des germes thermotolérants (incubation à 44°C) se développant sur milieu Tryptic soy agar (TSA) et *E. coli* direct agar base (ECD), et donnant une réaction positive au test de l'indole permet une approximation suffisante du nombre d'*Escherichia coli*, sans qu'une confirmation par d'autres tests biochimiques soit nécessaire.

La présence d'*Escherichia coli* est un signe indiscutable d'une *contamination fécale*, qui indique la possibilité de la



Fig. 1 De nombreux hameaux et maisons isolées infiltrent encore leurs eaux usées par des puits perdus dans les aquifères karstiques.

présence de virus ou bactéries pathogènes d'origine similaire (enterovirus, Salmonella, Shigella, etc.).

1.2 Les streptocoques fécaux

Ce sont également d'excellents indicateurs de pollution fécale, leur détermination est très importante car ils sont plus résistants aux désinfectants que *E. coli*. Ils sont composés de streptocoques du groupe D, qui comprennent des entérocoques et des non-entérocoques. Les premiers sont représentés par *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *E. avium*, *E. gallinarum*, *E. casseliflavus*, *E. pseudoavium*, *E. raffinosus*, *E. solitarius*, *E. malodoratus*, *E. mundtii* et *E. saccharolyticus*; le genre *Enterococcus* a été proposé en 1984 par Schleifer et Kipper-Bälz. Les non-entérocoques sont représentés par *Streptococcus bovis*, *S. equinus* et *S. alactolyticus*.

1.3 Contamination bactériologique des eaux

La présence de germes fécaux, que ce soit des coliformes fécaux (CF) ou des streptocoques fécaux (SF) ne permet pas de spéculer sur l'origine d'une pollution fécale. Or, dans notre canton, les contaminations chroniques ou aiguës par des bactéries fécales sont fréquentes, en raison de la nature karstique du sous-sol. En effet, la forte perméabilité des calcaires fissurés est particulièrement défavorable, car la circulation très rapide de l'eau dans les chenaux karstiques ne permet pas une filtration efficace. Des essais de traçage effectués à

l'aide de traceurs fluorescents indiquent d'ailleurs pour notre région des vitesses variant entre 20 et 200 mètres par heure (Schweizer 1970; Greillat et al. 1989). Les contaminations bactériennes ont essentiellement deux origines: agricole et domestique. De nombreux agriculteurs n'ont pas encore de fosse à purin de dimension convenable, et doivent épandre du lisier à des périodes défavorables (neige, gel, pluies), ce qui augmente le ruissellement vers les cours d'eau ou les endroits d'infiltration préférentielle vers les eaux souterraines (fractures, dolines).

Le rejet d'eaux usées domestiques, infiltrées dans le sous-sol (fig. 1) ou rejetées dans les eaux de surface, constitue l'autre cause importante de contamination bactériologique (Mettetal 1988; Lièvre 1989). La mise en service de stations d'épuration des eaux ne résout pas le problème, mais ne fait que diminuer un peu son ampleur. Selon Leclerc (1971) et Bloom et al. (1958), les stations d'épuration ne retiennent pratiquement pas les germes fécaux pathogènes. Selon Boéchat et al. (1982), et conformément à nos propres observations, le taux de germes fécaux diminue en moyenne d'un facteur 10 à 100, la concentration de l'effluent restant très élevée.

2. Détermination de l'origine d'une pollution

Pour tenter de déterminer si une contamination était d'origine humaine ou animale, deux types de démarches ont été retenus:

- le premier nous a été suggéré par le fait qu'il est souvent admis que la présence dominante d'entérocoques dans l'eau aurait pour origine une contamination par du purin, de porc notamment; un rapport streptocoques fécaux/coliformes fécaux permettrait donc peut-être de déterminer la cause d'une pollution;

- dans un deuxième temps, nous pensions qu'il était utile de vérifier si, comme on pouvait le supposer, certaines espèces d'entérocoques étaient plus ou moins liées spécifiquement à des hôtes particuliers, ce qui permettrait là aussi de rechercher l'origine d'une pollution.

2.1 Le rapport CF/SF

Geldreich et Kenner (1969) ont proposé d'utiliser le rapport CF/SF pour déterminer si une contamination est d'origine humaine ou animale. Ils affirment que ce rapport est toujours supérieur à 4 chez l'homme (dans l'intestin humain le rapport CF/SF est normalement de l'ordre de 5 à 10 (Leclerc et al. 1989); en revanche, s'il est inférieur à 0,7, on peut considérer que la contamination est d'origine animale (eaux de ruissellement polluées par le bétail).

Drapeau et Jankovic (1977, tableau 1) ont établi le rapport CF/SF chez différentes espèces.

Espèce	Rapport CF/SF
homme	4,4
canard	0,6
poule	0,4
porc	0,4
mouton	0,4
vache	0,2
dinde	0,1

Tab. 1 Rapport Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux dans les fèces de plusieurs espèces (tiré de Drapeau et Jankovic, 1977).

Plusieurs essais, effectués in situ, ont clairement démontré que l'établissement du rapport CF/SF ne permet malheureusement pas de déterminer l'origine d'une pollution. Les trois exemples suivants montrent en effet que ce rapport est extrêmement variable, et que dans la majorité des cas, il est supérieur à 1:

a) Des prélèvements ont été effectués dans un fossé à ciel ouvert dans lequel s'écoulent les eaux usées d'un hameau de 60 habitants. Le premier échantillon a été prélevé au niveau du déversement du collecteur, le second à l'aval, c'est-à-dire après que les eaux usées aient parcouru environ 600 mètres à ciel ouvert. Le rapport CF/SF évolue comme suit:

- échantillon amont: CF/SF
= 3100/600 germes/100 ml = 5

- échantillon aval: CF/SF
= 530/470 germes/100 ml = 1,1

La concentration en CF a diminué d'un facteur 10, tandis que les SF se sont pratiquement maintenus à leur taux d'origine. Dans ce cas de pollution exclusivement humaine, on observe que le rapport CF/SF peut évoluer dans le milieu naturel de manière à ne plus être représentatif de l'origine des matières fécales.

b) Dans un cas de pollution aiguë d'un ruisseau par un écoulement de purin, les analyses bactériologiques ont donné les résultats suivants:

E. coli, nombre/100 ml: 17000

Coliformes fécaux/100 ml: 30000

Streptocoques fécaux/100 ml: 6000

Rapport CF/SF: 5

Ainsi, même lors d'une pollution d'origine animale avérée, et d'une pollution aiguë, le rapport CF/SF peut être supérieur à 1, donc théoriquement indicateur d'une pollution d'origine humaine. Ce rapport n'est donc pas significatif dans les eaux superficielles.

c) De nombreuses analyses ont été effectuées sur l'eau de sources situées dans le Jura en des sites qui ne peuvent être contaminés par des eaux usées d'origine humaine (aucune habitation dans le bassin versant). Dans ces sources, le rapport CF/SF est généralement supérieur à 1, ce qui contredit une fois de plus la théorie. Les analyses de trois sources alimentant la commune de Cornol nous montrent un rapport SF/CF variant entre 0,5 et 12.

	Rapport CF/SF moyen	min.	max.	nombre d'analyses
Source 1	4	0,5	7	11
Source 2	6	3,8	12	9
Source 3	3	0,5	6	10

Tab. 2 Rapport CF/SF dans les sources Sous les Roches de Cornol.

Signalons que *Pourcher et al.* (1991) ont également testé le rapport E. coli/SF dans des échantillons de fèces humaines et animales. Ils ont montré que ce rapport était très variable pour une espèce donnée, et ne pouvait être caractéristique des populations bactériennes des matières fécales animales ou humaines.

2.2 Identification des streptocoques fécaux

Selon *Drapeau et Jancovic* (1977), il existe une relative spécificité d'habitat des streptocoques fécaux. Ainsi, *E. faecium* serait plus abondant chez le bétail et particulièrement chez les moutons. *S. bovis*, rarement rencontré chez l'homme, serait caractéristique du bétail (vaches, cochons, moutons). *S. equinus* serait exclusivement un commensal intestinal du cheval. Cependant, *Devries et al* (1987) ont isolé des souches d'entérocoques intestinaux chez de nombreux animaux domestiques, indiquant que cette spécificité est loin d'être absolue (tableau 3).

	Vaches	Cochons	Chevaux	Moutons	Chèvres	Chiens	Lapins	Volailles
<i>E. faecalis</i>	21	22	5	1	4	17	1	25
<i>E. faecium</i>	15	11	3	3	0	5	0	39
<i>E. hirae</i>	6	11	4	5	2	4	2	25
<i>E. durans</i>	0	0	0	0	0	0	0	13
<i>E. gallinarum</i>	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>E. avium</i>	2	1	0	0	0	0	0	0
<i>E. mundtii</i>	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>E. casseliflavus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
Inconnu	0	2	2	0	1	2	0	2

Tab. 3 Nombre de souches d'entérocoques intestinaux isolés par *Devries et al.*, 1987.

Pourcher et al. (1991) ont testé une méthode miniaturisée de détermination des streptocoques fécaux dans des fèces humaines et animales et ont montré que les entérocoques pouvaient être déterminants d'une pollution humaine, alors que *Streptococcus bovis* était caractéristique d'une pollution animale. Nous voulions préciser cette détermination, en tenant compte d'autres espèces de streptocoques fécaux, à l'aide d'une méthode simplifiée. D'autre part, il était indispensable de tester l'applicabilité de

la méthode dans le terrain, c'est-à-dire dans les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour cela, il fallait donc dans un premier temps contrôler la composition spécifique des streptocoques fécaux dans les fèces humaines et animales, puis choisir des situations de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines pour lesquelles l'origine de la pollution était bien connue.

3. Matériel et méthode

3.1 Dénombrement

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, directement de l'échantillon, ou correspondant aux suspensions-dilutions décimales suivant la concentration en streptocoques fécaux escomptée. Dans le cas d'un échantillon solide (fèce) ou très

chargé (purin, eau usée), on effectue les dilutions à partir de 1 g d'échantillon dans 100 ml de solution physiologique stérile. Les filtrations sont effectuées à l'aide de filtres Millipore stériles à pores de 0,45 µm.

- pour un échantillon, plusieurs dilutions sont filtrées. Les filtres sont placés sur milieu solide Slanetz-Bartley (*Slanetz et Bartley*, 1967) et incubés 48 heures à 37 °C. Le milieu Slanetz-Bartley a été préféré à d'autres milieux sélectifs (BEA, m-Entero-

coccus agar, Barnes), à la suite d'essais indiquant une meilleure croissance des Streptocoques du groupe D (*S. bovis*, *S. equinus*).

3.2 Isolement

On choisit un filtre présentant 30-100 colonies sur lequel 10 ou 20 colonies sont prélevées au hasard. Les colonies sont repiquées sur le milieu Slanetz-Bartley et incubées 48 heures à 37 °C. Il faut signaler que la présence de matières solides abondantes dans l'échantillon peut favoriser la croissance de germes différents, *perturbant* l'analyse. Ainsi, dans des échantillons de fèces bovines, nous avons noté la croissance de germes ne se développant pas après isolement sur le milieu Slanetz-Bartley, ou présentant une réaction négative au test de l'esculine. La croissance abondante d'*Aerococcus* a été entre autres identifiée. Les dilutions doivent donc être suffisamment élevées pour éviter ces problèmes.

3.3 Identification: tests biochimique

A partir des données bibliographiques, un schéma simplifié d'identification par des tests de fermentation des sucres a été établi. La sélectivité du milieu d'isolement autorise à ne tenir compte que des streptocoques du groupe D. De plus, on ne tient pas compte de tous les entérocoques, et on ne détermine que les principales espèces, selon le *tableau 4*. Les autres espèces apparaissent comme «non identifiées». La discrimi-

nation des espèces choisies dépasse 90%, ce qui paraît suffisant pour une étude statistique.

Le milieu Cystine Trypcase Agar (CTA) semi-liquide pour les tests biochimiques est utilisé. On prépare pour chaque colonie isolée 6 tubes à essai, dans lesquels on coule 5 ml de milieu. Les tubes sont autoclavés.

Des solutions de sucre en conditions stériles sont préparées, la concentration étant de 50 g/l. Les solutions de sucre sont stérilisées par filtration à 0,45 µm. On ajoute 0,5 ml de solution de sucre dans les tubes, la concentration en sucre dans le milieu CTA est donc de 0,5 g/l. Les tubes sont directement inoculés avec une anse de platine, puis mis à incuber à 37 °C. La lecture se fait après 24 heures et 48 heures. La fermentation des sucres se remarque par le virage du rouge de phénol au jaune. Il est nécessaire de préparer des «blancs» pour chaque sucre: en effet, une petite variation de la concentration de sucre peut diminuer le pH et provoquer le virage du colorant.

La détermination par cette méthode simplifiée et la détermination par galeries API Strep. ont été conduites en parallèle sur environ 50 colonies. La parfaite similarité des résultats obtenus permet de confirmer l'efficacité de la méthode proposée.

Remarque

Selon plusieurs auteurs, *E. faecalis* serait caractéristique des fèces humaines. Nous avons donc tenté de dénombrer cette espèce directement sur un

milieu sélectif, par la méthode de la membrane filtrante. Le milieu à Tellurite de potassium (Pasteur Diagnostics), sur lequel *E. faecalis* développe des colonies noires a été utilisé. Finalement, il a été constaté que d'une part, la détermination de *E. faecalis* n'était pas suffisante pour parvenir au but fixé (voir plus loin), et que d'autre part ce milieu n'était pas suffisamment sélectif: de nombreux autres germes se développent en formant des colonies grises à noires, y compris d'autres SF comme *Streptococcus bovis*.

4. Résultats

4.1 Spécificité des streptocoques fécaux

Dans un premier temps, seules les trois *sources de pollution fécale* les plus communes dans nos régions de plaine ont été retenues: les eaux usées domestiques, le purin d'origine bovine et le lisier de porc.

Les espèces de streptocoques fécaux présents dans 10 échantillons de fèces humaines ont été déterminées. Au total, 100 colonies ont été prélevées au hasard sur 10 filtres, et repiquées pour enrichissement sur milieu solide de Slanetz-Barthley. Sur ces 100 colonies, 5 ne se sont pas développées sur le milieu d'enrichissement, et 5 n'ont pu être identifiées par notre méthode simplifiée.

Parallèlement, 10 échantillons de purins ont été préparés, provenant de 10 exploitations agricoles situées à différents endroits du canton. Sur deux filtres, de forts développements de moisissures ont rendu impossible le prélèvement correct de 10 colonies. Il a fallu se rabattre sur des dilutions supérieures, sur lesquelles les moisissures ne s'étaient pas développées. Pour ces deux échantillons, seules 6 colonies (4 et 2) ont donc pu être prélevées, portant le nombre de streptocoques fécaux repiqués sur le milieu d'enrichissement à 86 colonies. 13 colonies n'ont pas pu être identifiées par notre méthode, ce qui porte à 73 le nombre de streptocoques fécaux identifiés.

Deux échantillons de lisier de porc provenant de halles d'engraissement ont également été analysés. 48 colonies ont été identifiées.

Le *tableau 5* résume les résultats de ces travaux.

Nous constatons immédiatement (*Tab. 5*) la très nette prédominance de *E. faecalis*, accompagné de *E. faecium*, dans

	Esculine	L-Xylose	Mélibiose	Mannitol	D-Arabitol	Ribose	Arabinose
<i>E. faecalis</i>	+	-	-	+	-	+	-
<i>E. faecium</i>	+	-	V	+	-	+	+
<i>E. durans</i>	+	-	-	-	-	+	V
<i>E. avium</i>	+	-	V	+	+	+	V
<i>E. gallinarum</i>	+	+	+	+	-	+	+
<i>E. hirae</i>	+	-	+	-	-	+	-
<i>S. bovis</i> 1	+	-	+	V	V	-	-
<i>S. bovis</i> 2	+	-	+	-	-	-	V
<i>S. equinus</i>	+	-	V	-	-	-	-

+ : réaction positive; -: réaction négative; v: variable.

Tab. 4 Identification des streptocoques fécaux (voir fig. 2).

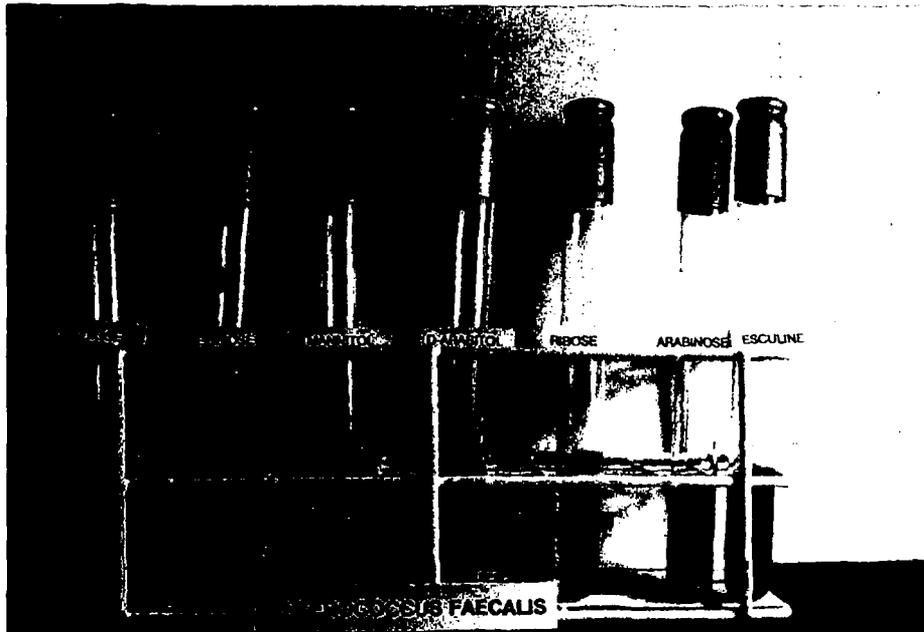


Fig. 2 L'identification des streptocoques fécaux se fait par des tests de fermentation de 6 sucres et de l'esculine; ici, *Enterococcus faecalis* se caractérise par une fermentation du mannitol et du ribose uniquement, le test de l'esculine étant positif (couleur noire).

	Fèces humaines		Purins bovins		Purins de porc	
	N	%	N	%	N	%
Nombre d'échantillons	10		10		2	
Nombre de colonies isolées	95		86		52	
Nombre de SF non identifiés	5		13		4	
Nombre de SF identifiés	90	100	73	100	48	100
<i>E. faecalis</i>	52	58	4	5,5	2	4,2
<i>E. faecium</i>	32	36	19	26	0	0
<i>E. durans</i>	5	5,6	4	5,5	1	2,1
<i>E. hirae</i>	1	1,1	2	2,7	26	54
<i>E. avium</i>	0	0	12	16	3	6,3
<i>S. bovis</i> 1	0	0	15	21	12	25
<i>S. bovis</i> 2	0	0	10	14	2	4,2
<i>S. equinus</i>	0	0	7	10	2	4,2

Tab. 5 Streptocoques fécaux analysés dans des échantillons de fèces et de purins.

les fèces humaines (94% des espèces identifiées). Dans les purins au contraire, la diversité des espèces est plus importante; *S. bovis* représente 34% des espèces identifiées dans les purins d'origine bovine, *E. hirae* 54% des purins de porc.

L'espèce caractéristique d'une pollution d'origine humaine sera donc *E. faecalis*, alors que *S. bovis*, accompagné de *E. avium*, de *S. equinus*, de *E. durans* et *E. hirae* sont les représentants typiques d'une pollution par du purin. Une pollution par des porcs se marquera par *E. hirae* accompagné de *S. bovis*, et par la rareté de *E. faecium*. Le calcul des intervalles de confiance, pour un seuil de confiance de 0,99, confirme la validité statistique du modèle:

E. faecalis dans les selles, $0,45 < P_s < 0,71$

E. faecalis dans le purin bovin, $0 < P_p < 0,13$

E. faecalis dans le purin porcin, $0 < P_p < 0,15$

4.2 Vérification in-situ

Nos expérimentations en laboratoire indiquent que les streptocoques fécaux peuvent être un bon indicateur de l'origine d'une pollution des eaux. Il faut toutefois vérifier sur le terrain l'efficacité de la méthode. En effet, selon les données de la littérature, les streptocoques fécaux non-entérocoques ont un temps de survie dans les eaux naturelles

beaucoup plus court que les entérocoques. *S. bovis* et *S. equinus* pourraient ainsi n'être détectable dans les sources qu'en relation avec une pollution proche de l'exutoire (temps de transit égal, de 1 à 10 jours). La nature karstique d'une bonne partie de notre canton offre des conditions favorisant la détection de telles espèces, car les eaux infiltrées en des sites préférentiels (dolines, puits perdus, pertes de cours d'eau) circulent généralement avec une dispersion faible, et avec une vitesse comprise entre 20 et 200 m/heure.

Des sources pour lesquelles on connaît bien l'origine de la contamination bactériologique ont été choisies. Pour chaque source, au moins 20 colonies de streptocoques fécaux ont été identifiées. La difficulté principale réside dans l'omniprésence d'une contamination agricole diffuse, qui ne nous permet pas de trouver des cas de pollution exclusive par des eaux usées d'origine domestiques.

Exemple 1: La source de la Fontaine de la Roche à Courcelles (France)

Cette source karstique possède un bassin-versant d'environ 1 km², dont la surface est essentiellement consacrée à l'agriculture. Le village de Montignez (environ 300 habitants) est situé dans ce bassin-versant. En décembre 1991, sa station d'épuration a été mise en eau.

L'effluent s'infiltré dans les eaux souterraines par un étang d'infiltration. Une coloration à l'aide d'un traceur fluorescent, la fluorescéine, a montré que les eaux transitaient du point d'infiltration à la source en 26 heures, avec une très faible dispersion.

Cinq prélèvements à la source ont été effectués et 10 colonies de streptocoques fécaux pour chaque échantillon ont été identifiées (tableau 6). Les dates de prélèvement ont correspondu à une crue, puis à un tarissement de la source, lors d'une longue période de gel prononcé.

La transition entre deux situations extrêmes apparaît très clairement: la crue se manifeste par une forte contamination de la source par les streptocoques fécaux, contamination qui diminue progressivement avec la baisse de la contamination générale et du débit, les infiltrations sur l'ensemble de la surface du bassin étant totalement bloquées par un sol profondément gelé.

Parallèlement, le profil des streptocoques fécaux, qui correspondait au début à une pollution d'origine agricole (peu

No d'échantillon Date	1 7. 1. 92	2 10. 1. 92	3 14. 1. 92	4 22. 1. 92	5 3. 2. 92
nombre SF/100 m ^l	2700	1150	890	166	18
nombre SF identifiés	10	10	10	10	9
<i>E. faecalis</i>	1	2	2	4	4
<i>E. faecium</i>	2	0	4	6	5
<i>E. durans</i>	1	1	0	0	0
<i>E. hirae</i>	0	0	0	0	0
<i>E. avium</i>	1	0	0	0	0
<i>S. bovis</i>	5	5	1	0	0
<i>S. equinus</i>	0	2	3	0	0

Tab. 6 Analyses des streptocoques fécaux à la source de la Fontaine de la Roche.

de *E. faecalis*, abondance de *S. bovis*, forte diversité des espèces) passe progressivement à un profil caractéristique d'eaux usées d'origine humaine (forte abondance de *E. faecalis* et *E. faecium*, absence des autres espèces).

Ces résultats indiquent clairement l'effet prédominant de l'agriculture dans la contamination de la source après des pluies qui lessivent l'ensemble des surfaces agricoles du bassin-versant et entraînent les bactéries fécales du purin dans les eaux souterraines. Les apports par les eaux usées d'origine domestique restent pratiquement constants quel que soit le débit; c'est donc au moment où les infiltrations depuis les surfaces agricoles ont cessé (ici grâce au gel) que ces apports deviennent prédominants dans la contamination de la source.

Exemple 2: Pollution aiguë d'un ruisseau par du purin

Cette méthode a été également testée dans un cas de pollution massive d'un ruisseau à Envelier (JU). La pollution a été causée par le déversement direct de purin dans le cours d'eau à la suite d'une fausse manœuvre d'un agriculteur.

La pollution était nettement perceptible par l'odeur et la couleur de l'eau. L'analyse chimique a confirmé les résultats de l'enquête, à savoir le rejet de purin. L'analyse bactériologique de l'eau prélevée après le passage de la vague principale a donné les résultats déjà cités dans

	Nombre	Pour cent
<i>E. faecalis</i>	0	0
<i>E. faecium</i>	13	68
<i>E. hirae</i> + <i>E. durans</i>	4	21
<i>S. bovis</i>	1	5
<i>S. equinus</i>	1	5

le chapitre 2.1: contamination très élevée, rapport CF/SF égal à 5.

20 colonies de streptocoques fécaux ont été isolées, et 19 ont pu être identifiées: Aucun *E. faecalis* n'a été identifié, ce qui indique que la contamination n'est pas d'origine humaine. La présence de *E. faecium*, de *S. bovis* et de *S. equinus*, ainsi que la diversité des espèces sont caractéristiques d'une pollution d'origine bovine.

5. Discussion

Le rapport Coliformes fécaux/streptocoques fécaux dans les eaux, proposé par Geldreich et Kenner (1969) et déjà réfuté par Pourcher et al. (1991) dans les matières fécales apparaît clairement comme non significatif de l'origine d'une pollution des eaux.

L'analyse d'échantillons purs de selles humaines et de purins bovins a permis de caractériser la répartition des espèces de streptocoques fécaux dans ces deux milieux. La méthode décrite dans le présent article, à savoir des tests biochimiques simples de fermentation de 6 sucres, ainsi qu'une confirmation par le test de l'esculine, permet la détermination des principales espèces de streptocoques du groupe D. Cette méthode est assez rapide et peu coûteuse.

La répartition des espèces de streptocoques fécaux indique une absence de spécificité absolue pour les deux espèces les plus fréquentes dans les selles humaines et bovines: *E. faecalis* et *E. faecium*. Les fréquences respectives d'apparition permettent toutefois une distinction assez sûre de l'origine de ces bactéries. La présence de *E. faecalis* dans un rapport dépassant 40% indique avec certitude une contamination d'origine humaine. Dans les essais, *E. avium*, *S. bovis* et *S. equinus* n'ont jamais été identifiés dans

des selles humaines. Les deux premiers ont toutefois été trouvés dans des eaux usées domestiques, mais très rarement (deux identifications seulement). La présence d'une plus grande diversité des espèces est donc également indicatrice d'une pollution animale. Il faut cependant tenir compte de la survie probablement plus faible de *S. bovis* et *S. equinus* dans le milieu extérieur (sol et eaux naturelles).

Les pollutions causées par du purin de porc sont plus rares dans notre canton, où le cheptel bovin est beaucoup plus important. L'identification des streptocoques fécaux permet néanmoins également de déterminer si une pollution d'origine animale est causée par du purin de porcs.

Dans les régions karstiques, les sources de pollution peuvent être fort éloignées des captages, et la vitesse de circulation des eaux souterraines est généralement élevée, ce qui réduit l'importance des questions de survie relative des différentes espèces de bactéries. L'identification des streptocoques fécaux est un outil très utile pour la détection des causes de contamination.

Bibliographie

- Blant J.-D., Stettler R. (1982): Survie des bactéries indicatrices de pollution fécale dans un cours d'eau. Bull. Soc. Neuch. Sci. Nat. 105. pp. 89-105.
- Bloom H.-H., Mack W.-W., Mallmann W.-L. (1958): Enteric viruses and Salmonellae isolation. Sewage and Ind. Wastes 3. pp. 1455-1560.
- Bochat-Mauley C.-A., Aragno M. (1982): Comportement des bactéries fécales dans les boues activées d'une station d'épuration. Bull. Soc. Neuch. Sci. Nat. 105. pp. 79-88.
- Devries L.-A., Ceysens K., Rodriguez U. M., Collins M.-D. (1987): Characterisation and identification of Enterococcus species isolated from the intestine of animals. Internat. Journ. of System. Bacteriology, July 1987. pp. 257-259.
- Devries L.-A., Laurier L., De Herdt P., Haesbrouck F. (1992): Enterococcal and streptococcal species isolated from faeces of calves, young cattle and dairy cows. Journ. of App. Bact. No 72. pp. 29-31.
- Drapeau A.-J., Jankovic S. (1977): Manuel de microbiologie de l'environnement. OMS. Genève.
- Geldreich E.-E., Kenner B.-A. (1969): Concepts of fecal streptococci in stream pollution. Journal of Water Pollution Control Federation 41. pp. 335-352.
- Gretillat P.-A., Schutz F., Lièvre A., Schindler B. (1988): Multitraçage en Haute-Ajoie (Jura). Bull. Chyn No 8. pp. 121-150.

Leclerc H. (1971): Les microorganismes pathogènes des eaux résiduaires: évolution au cours des traitements d'épuration. T.S.M. - L'eau 66. pp. 389-400.

Leclerc H., Mossel D. A. (1989): Microbiologie - Le tube digestif, l'eau et les aliments. Paris.

Lièvre A. (1989): Evolution de la qualité de la source karstique du Betteraz à Porrentruy. Gaz, Eaux, Eaux usées No 1, pp. 5-14.

Mettetal J.-P., Rouault J.-Y., Valero L. (1988): La protection des aquifères karstiques à partir de nouveaux procédés d'épuration. Annales sci. de l'Université de Besançon, Géologie, Mémoire hors série No 6. pp. 303-310.

Pourcher A.-M., Devries L.-A., Hernandez J.-F., Delattre J.-M. (1991): Enumeration by a miniaturized method of *Escherichia coli*, *Streptococcus bovis* and enterococci as indicators of the origin

of faecal pollution of waters. Journal of Applied Bacteriology No 70. pp. 525-530.

Schweizer H.-U. (1970): Beiträge zur Hydrologie des Ajoie. Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie No 17. Bern. 224 p.

Adresses des auteurs:



A. Lièvre, Ingénieur chimiste, chef du Laboratoire cantonal des eaux du canton du Jura, 2882 St-Ursanne.

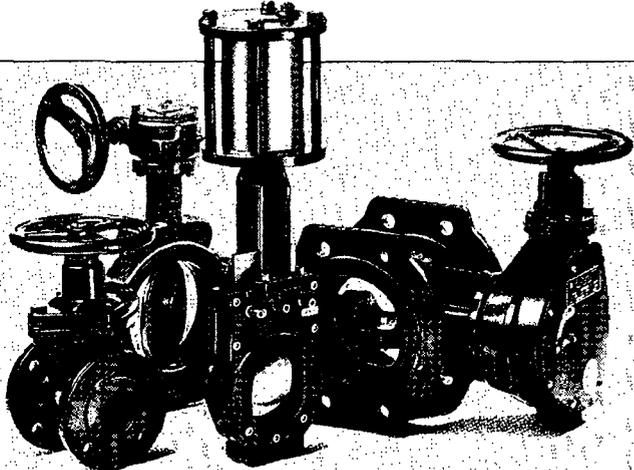


J. Fernex, Biologiste, Laboratoire cantonal des eaux du canton du Jura, 2882 St-Ursanne.



V. Atudorei, Microbiologiste, Laboratoire d'écologie microbienne, Université de Laval, Québec, Canada.

**Energie
Dampf
Gas
Wasser
Abwasser**



Ein entscheidender Faktor für Sicherheit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Industrie- und Verteileranlagen ist die richtige Wahl der Absperr- und Regulierorgane.

vögtlin®

Willi Vögtlin
Aktiengesellschaft
CH-4153 Reinach
Telefon 061/71215 00
Telefax 061/71215 11

esp

Chauffage à combustion catalytique pour bâtiments industriels*

Gérard Capitaine et Jean-Pierre Budliger, Genève

Résumé

Un système de chauffage à combustion catalytique fonctionnant au propane ou au gaz naturel fournit sa chaleur à un bâtiment, par rayonnement et convection combinés. Le rayonnement thermique est la principale composante de la chaleur fournie. Sa densité de puissance et son spectre dépendent de la température de la combustion. La chaleur convective est constituée par l'énergie contenue dans les gaz de combustion.

La combustion catalytique réduit l'émission de polluants (CO, NO_x, HC) à des concentrations faibles ou négligeables, de sorte que les gaz de combustion peuvent être dégagés dans l'atmosphère même de l'enceinte à chauffer.

Cet article présente les résultats de l'étude des principales caractéristiques de l'appareil et précise l'influence de l'apport mixte de chaleur rayonnée et convective sur le confort des occupants et les économies d'énergie.

Katalytisches Heizsystem für Industriegebäude - Zusammenfassung

Ein neues katalytisches Heizsystem, welches Propan oder Erdgas als Brennstoff verwendet, wird vorgestellt. Ein Grossteil der Verbrennungswärme wird in Form von Strahlung an das zu beheizende Gebäude abgegeben. Die Leistungsdichte und das Strahlungsspektrum sind weitgehend von der Verbrennungstemperatur abhängig. Die restliche Verbrennungsenergie steht in Form von warmen Abgasen zur Verfügung, welche dank des katalytischen Prozesses nur minimale Konzentrationen an Schadstoffen (CO, NO_x, HC) enthalten. Dadurch können diese Abgase direkt in die Atmosphäre des zu beheizenden Gebäudes abgegeben werden. In diesem Artikel werden die wesentlichsten Merkmale des katalytischen Heizgerätes beschrieben. Im weiteren wird der Einfluss des kombinierten Strahlungs- und konvektiven Wärmeanfalles auf den Komfort der Personen und die Bedingungen für ein günstige Ausnutzung dieser beiden Energieformen diskutiert. Dieser Artikel fasst einen Teil der vom NEFF [1992] finanzierten Studie zusammen.

Catalytic heating system for industrial buildings - Summary

A catalytic heating system which is fuelled by either propane or natural gas has been developed. Radiative heat emitted from the system represents the major part of the energy released by the combustion process and is readily available for space heating. Its power density and energy spectrum essentially depends on the combustion temperature. The convective heat of the flue gases constitutes the remaining part of the combustion heat. Owing to the innocuous nature of the flue gases, they can be released directly into the atmosphere to be heated. Consequently, all the energy released during the combustion contributes to the heating of the area. This paper describes the salient features of the catalytic heating system. It discusses the influence of the radiative and convective heat release upon the comfort of the exposed persons, as well as the essential conditions to be observed for achieving optimum heating efficiency. This paper summarizes part of a study sponsored by NEFF [1992].

1. Description de l'appareil

La figure 1 représente une coupe transversale de l'appareil. Dans la partie supérieure, l'air aspiré par un ventilateur traverse un filtre avant d'être conduit uniformément vers le bord de l'appareil. L'air est ensuite dirigé radialement vers le centre, en léchant la surface catalyti-

que de combustion. Le gaz (gaz naturel ou propane) est amené à travers deux électrovannes et un venturi dans la cellule de mélange¹. Le venturi permet un pré-mélange du gaz et de l'air ambiant (air primaire AP). Ce gaz diffuse ainsi

* L'article résume une partie d'une étude financée par le NEFF (1992).

de façon homogène à travers un matériau formé de fibres céramiques qui sert de support catalytique à la combustion. Une résistance électrique, incorporée dans le support catalytique l'amène à la température spécifique d'auto-inflammation. Une combustion sans flamme est engendrée dès que la température d'auto-inflammation du mélange est atteinte. Elle est ensuite alimentée par un apport d'air secondaire (AS).

Le régime du ventilateur (débit d'AS) est asservi au débit de gaz par l'intermédiaire d'une sonde thermique placée à la surface du catalyseur. De cette façon, il est possible de maintenir constamment une température de surface et un régime de combustion adéquats. Cette combustion lente permet d'obtenir une combustion complète, avec des quantités négligeables de CO, à des températures de réaction comprises entre 300 et 800°C. Cette température est suffisamment basse pour empêcher toute formation significative de NO_x [R. Prasad et al., 1984].

1.1 La combustion catalytique

Un catalyseur est une substance chimique qui accélère un processus chimique sans pour autant être consommé durant le processus (sinon de manière insensible) [Satterfield, 1980].

La combustion est dite «catalytique en phase hétérogène» lorsqu'elle consiste en une oxydation du combustible à la surface d'un catalyseur solide. Celui-ci permet de réduire l'énergie d'activation de la réaction chimique². Le catalyseur a pour effet de favoriser la réaction chimique sans en modifier l'équilibre thermodynamique. La quantité d'énergie (chaleur) libérée par le processus est donc la même avec ou sans catalyseur.

1.2 Le catalyseur

Le système catalytique se compose:

- d'un support poreux qui doit, d'une part présenter la plus grande surface spécifique possible, puisque la réaction se produit à l'interface du fluide gazeux et du solide. D'autre part il

¹ La cellule de l'appareil fonctionnant au gaz naturel est dotée d'un dispositif permettant de décomposer, par un procédé thermo-chimique, les composés soufrés, sources d'empoisonnement des catalyseurs.

² L'énergie d'activation est la barrière énergétique qu'il faut franchir pour passer de l'état initial à l'état final de la réaction.