

Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali
Band: 88 (2000)

Artikel: Utilisation des techniques de biologie moléculaire pour la détection de virus dans l'eau
Autor: Baggi, Franca / Peduzzi, Raffaele
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1003226>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Utilisation des techniques de biologie moléculaire pour la détection de virus dans l'eau

Franca Baggi et Raffaele Peduzzi

Istituto Cantonale Batteriosierologico, via Giuseppe Buffi 6, CH-6904 Lugano

INTRODUCTION

Les problèmes liés à l'eau se situent désormais au premier rang des préoccupations internationales en matière de santé publique et d'environnement (BEECHING 1997, GUERRANT & BLACKWOOD 1999, MMWR 1993). Selon l'Organisation mondiale de la santé, un tiers de la population mondiale souffre de maladies imputables à la contamination de l'eau de boisson. En 1993, les maladies diarrhéiques ont été responsables d'environ 3 millions de décès d'enfant dans les pays en voie de développement. Approximativement 80% de ces décès surviennent au cours des deux premières années de l'existence. Ces décès se produisent en majorité dans les pays en voie de développement, mais les agents pathogènes transmis par l'eau constituent aussi dans les pays développés un danger croissant et une charge économique importante. Ainsi aux Etats-Unis, où quelque 900 000 cas de morbidité et 900 décès sont imputés chaque année à la contamination microbienne des eaux de boisson, le coût annuel des maladies d'origine hydrique s'élève à 19 milliards de dollars environ. Un rapport de l'American Society for Microbiology (ASM) montre que nombreuses épidémies sont associées à la contamination de réseaux municipaux de distribution d'eau pourtant conformes aux normes gouvernementales (KUKKULA *et al.* 1999, LECHEVALLIER *et al.* 1991, MMWR 1982). Il paraît donc que les méthodologies utilisées actuellement ne permettraient pas de surveiller la qualité de l'eau ou de détecter des défaillances des systèmes de traitement de manière fiable. En effet, ces techniques n'ont ni la sensibilité ni la spécificité requises pour mesurer de faibles concentrations d'agents pathogènes et en plus elle sont basées sur la mise en évidence des bactéries «indicatrices» et donc nombreux micro-organismes, notamment les virus et les parasites, échappent à la détection. La découverte que des virus entériques transmissibles par l'eau, comme le Coxsackie B, seraient associés à certaines maladies cardiaques, comme la myocardite, pourrait être d'extrême importance à cause du nombre des décès liés à des maladies cardio-vasculaires. En plus, l'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis a récemment publié une liste de nouveaux agents susceptibles de contaminer l'eau de boisson (Drinking Water Contaminant Candidate List) (U.S. Environmental Protection Agency 1998) qui signale, parmi d'autres pathogènes, *Helicobacter pylori*, une bactérie récemment associée à des maladies gas-

triques chroniques (American Society for Microbiology 1998, HEGARTY *et al.* 1998, Medical Tribune 1999, SAHAY & AXON 1996, STARK *et al.* 1999).

Utilisation de l'eau

et problèmes de sante publique

Quand l'eau sert de véhicule de transmission de l'agent infectieux (bactéries, virus, champignons et parasites) et représente le principal moyen de cette transmission, on parle de maladies infectieuses d'origine hydrique. Les maladies diarrhéiques sont associées à une eau insalubre et à un assainissement insuffisant ainsi qu'au non respect des règles d'hygiène lors de la manipulation des aliments. Dans les pays en voie de développement, l'eau est insuffisante, de mauvaise qualité et l'état de santé et d'hygiène de la population est précaire. Dans les pays développés l'eau est suffisante et de bonne qualité et l'état de santé et d'hygiène de la population est bon, de manière que les problèmes de santé dus à l'eau sont plutôt liés à l'usage récréatif (KRAMER *et al.* 1998) et aux nouvelles utilisations de l'eau plutôt qu'à la consommation d'eau polluée. La gastro-entérite est une inflammation du tube digestif qui se manifeste par de la nausée et des vomissements (gastrite) et de la diarrhée (entérite). Elle peut être plus ou moins sévère, être accompagnée ou non de fièvre ou de symptômes systémiques. Cette variabilité dans la sévérité s'explique par l'énorme différence, en terme de pathogénicité, des micro-organismes en cause: des bactéries comme les salmonelles, des parasites comme le *Giardia* ou des virus comme les rotavirus.

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine est strictement contrôlée en Europe. Cependant, les études et les informations disponibles sur les effets néfastes de l'eau sur la santé sont rares. En effet, seul les risques microbiologiques sont connus tandis que les risques de maladies virales et parasitaires comme les giardiasis et cryptosporidioses sont encore mal évalués, mais la multiplication des épidémies aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, et les risques plus importants pour les immuno-déprimés doivent attirer l'attention sur ces problèmes (COTTE *et al.* 1999, FRISBY *et al.* 1997, SCHVOERER *et al.* 1999). La qualité bactériologique de l'eau destinée à la consommation humaine est évaluée par la recherche de germes naturellement abondants dans l'intestin des hommes et des animaux (coliformes thermotolérants et streptocoques fécaux). Ces germes dits «té-

moins de contamination fécale» sont aisés à mettre en évidence, et leur présence, même en faible quantité, laisse suspecter la présence de micro-organismes dangereux pour l'homme (pathogènes). La contamination bactériologique des eaux est liée plus ou moins directement à des rejets d'eaux usées, de déchets divers ou de déjections animales ou humaines et la présence de certains micro-organismes (virus, bactéries, parasites) dans l'eau représente un risque à court terme pour le consommateur. Les conséquences de la consommation d'une eau contaminée dépendent de plusieurs facteurs dont l'état général du consommateur (défenses immunitaires, âge, etc.), la virulence et le nombre de germes ingérés (dose infectieuse). Jadis dans les pays industrialisés et dans les pays en voie de développement encore aujourd'hui, les maladies infectieuses liées à la mauvaise qualité bactériologique de l'eau contribuaient à la propagation d'épidémies (fièvre typhoïde, choléra, etc.) qu'on sait bien maîtriser aujourd'hui (antibiotiques, vaccination, amélioration des conditions d'assainissement, l'hygiène et techniques de traitement des eaux). Cependant, si les pathologies d'origine hydrique sont plus bénignes de nos jours (gastro-entérites, diarrhées, vomissements, etc.), le risque microbiologique ne doit pas pour autant être sous-estimé, surtout pour ce qui concerne le risque viral ou parasitaire et le problème des bactéries multirésistantes aux antibiotiques (BAGGI *et al.* 2000, MONNET 1999).

Législation actuellement en vigueur en matière de qualité de l'eau: exigences de qualité

Aux niveau Suisse les eaux destinées à l'alimentation humaine (eau de boisson), conformément aux exigences de l'Ordonnance sur l'hygiène (Ohyg du 26 juin 1995 état : 10 février 1998, 817.051) doivent être exemptes de tout germe de contamination fécale à tout niveau (eau de boisson non traitée: soit à la source, que dans le réseau de distribution et en récipients; eau de boisson traitée: soit après le traitement que dans le réseau de distribution et en récipients; eau minérale: soit à la source que en récipients) et les contrôles analytiques réglementaires fréquents. Pour ce qui concerne les eaux de baignade, la législation actuellement en vigueur dans le Canton du Tessin «Regolamento sull'igiene delle acque balneabili» du 13 avril 1994 état : 4 mars 1998, s'applique aux plages et piscines publiques et aux plages libres: l'échantillon d'eau est qualifié comme non conforme si un de ces paramètres est supérieur aux valeurs suivantes: coliformes fécaux 100 UFC/100ml, entérocoques 100 UFC/100ml et salmonelles non détectables/1 litre.

EVALUATION DE LA QUALITE HYGIENIQUE DE L'EAU

Analyse bactériologique: recherche et dénombrement des germes témoinnant d'une pollution fécale

Coliformes fécaux (CF): il s'agit de bâtonnets Gram négatifs, non sporogènes, oxydase négative, aérobies facultatifs

et capables de croître en aérobiose soit à 36°C ou 44 ± 0.5 °C. Un très grand nombre de coliformes vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et leur résistance aux agents antiseptiques, notamment au chlore et à ses dérivés, est semblable à celle des bactéries pathogènes vis-à-vis desquelles ce type de traitement est dirigé.

Streptocoques fécaux (SF): il s'agit de cocci Gram positif en courte chaînettes ou en diplocoques, catalase négative. Les streptocoques fécaux, quelque soit l'espèce mise en évidence, sont des témoins de contamination fécale.

Rapport CF/SF: le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux relève l'origine de contamination. Si le rapport donne une valeur plus que 4, l'origine de contamination est humaine. Si la valeur est moins de 0.7, l'origine de la contamination est animale.

Bactériophages: les bactériophages fécaux étant généralement en trop faible quantité pour être décelés directement sur l'échantillon, ce dernier est enrichi avec le germe (par exemple *Escherichia coli* ou *Salmonella*) choisi comme témoin de l'activité phagique spécifique. La présence d'un bactériophage est caractérisée par l'apparition d'une ou plusieurs plaques de lyse sur le milieu sémi-solide utilisé (IAWPRC 1991).

Importance, limitations et problèmes: les analyses courantes des échantillons d'eau portent sur la recherche des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux (American Public Health Association 1985, RODIER 1978). Leur détection signifie simplement que les eaux sont contaminées et que des bactéries pathogènes peuvent être présentes. Il est cependant important de savoir que ces germes ne constituent pas en eux-mêmes un danger pour les baigneurs, mais peuvent indiquer, par leur présence, celle simultanée de germes pathogènes dangereux. Cette méthode offre une bonne marge de sécurité vis-à-vis de la plupart des pathogènes bactériens, mais n'est pas efficace contre certaines autres bactéries, des virus et des parasites protozoaires. A cause du risque lié à la présence de particules virales d'origine fécale dans les eaux de baignade, l'élargissement de la palette des indicateurs fécaux aux virus paraît indispensable. De plus, les virus et la plupart des parasites protozoaires, comme *Giardia* et *Cryptosporidium*, sont résistants à la chloration et à la filtration, procédés qui détruisent généralement les bactéries coliformes (GASSMANN & SCHWARTZBROD 1991). C'est pourquoi les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux ne peuvent constituer des indicateurs précis pour de tels cas, notamment dans les eaux chlorées. Dans ce contexte, la recherche de deux groupes de virus bactériophages spécifiques des bactéries entériques (coliphages somatiques et bactériophages F-spécifiques) parallèlement aux indicateurs bactériens classiques, permet de mieux appréhender le comportement des virus (ARAUJO *et al.* 1997, SOLO-GABRIELE *et al.* 2000, STETLER 1984, WENTSEL *et al.* 1982).

Analyse virologique: recherche des virus pathogènes pour l'homme par culture cellulaire

Culture cellulaire: la mise en évidence des virus dans les prélèvements d'eaux se fait par la méthode d'adsorption-élution. Cette méthode permet de concentrer les particules virales qui sont généralement en trop faible quantité pour être décelées par culture cellulaire directement sur l'échantillon. Le principe de l'adsorption-élution est basé sur le fait que quand le pH de l'eau est inférieur au point iso-électrique des protéines qui constituent les particules virales, ces dernières chargées positivement, s'adsorbent sur les billes ou les microfibres de verre qui sont chargées négativement. Au moment de l'élution par une solution alcaline, les charges négatives des protéines qui constituent les virus s'opposent aux charges électriques de même signe des billes de verre ou microfibre de verre. Ainsi les virus se décrochent par répulsion électrostatique (RODIER 1978). L'étape de concentration est suivie par l'inoculation des cultures cellulaires. Les cellules sont examinées 2-3 fois par semaine jusqu'à l'apparition d'une modification cellulaire caractéristique, effet cytopathique, reconnaissable à l'examen microscopique. L'identification du virus est en suite réalisée en utilisant des techniques supplémentaires tel que: neutralisation, immunofluorescence, etc..

Importance, limitations et problèmes: aujourd'hui la recherche des virus est exclusivement fondée sur des techniques de culture (technique de référence) et donc elle se limite à ceux qui sont facilement cultivables. En plus, vu que aucun système cellulaire ne permet la mise en évidence de tous les virus, le laboratoire doit disposer de différents types de culture cellulaire permettant l'isolement de différentes espèces virales. La recherche de virus par culture sur un système cellulaire permet la mise en évidence d'un virus infectieux, mais elle est longue (surtout pour certains virus à croissance lente) avec des délais d'isolement importants, très laborieuse et relativement insensible aux faibles quantités de virus présents dans les échantillons d'eau. En plus certains virus potentiellement pathogènes pour l'homme ne sont pas ou seulement difficilement cultivables.

Nouvelles technologies moléculaires

Grâce aux progrès rapides réalisés ces dernières années par la recherche biotechnologique, nous disposons actuellement d'un large éventail de méthodes nouvelles pour le diagnostic (METCALF *et al.* 1995, RANGER-ROGEZ *et al.* 1996, LEISINGER & METZLER 1997), essentiellement fondées sur la détection et l'amplification d'acides nucléiques. Ces méthodes offrent un nouveau moyen plus rapide, sensible et plus spécifique pour détecter la présence de micro-organismes et elles permettent aussi de déceler des organismes impossibles à mettre en évidence par les techniques actuelles de mise en culture. A ce jour, d'innombrables rapports décrivent l'application de ces méthodes en virologie (BAGGI & PEDUZZI 2000, EGGER *et al.* 1995, PAPAPETROPOULU & VANTARAKIS 1998). Des sondes génétiques spécialement conçues facilitent la détection de séquences

particulières d'acides nucléiques qui révèlent la présence d'un organisme spécifique dans l'échantillon et les méthodes d'amplification sont utilisées pour augmenter la sensibilité, comme p. ex la réaction en chaîne de la polymérase (PCR).

Importance, limitations et problèmes: ces méthodes laissent espérer que finalement on pourra détecter directement nombreux organismes pathogènes, mais d'importants obstacles techniques restent à surmonter avant qu'elles ne soient utilisables pour évaluer la qualité de l'eau. D'une part, la mise en évidence des virus par des méthodes d'amplification (amplification d'une partie du génome viral) ne permet pas de donner des informations concernant l'infectiosité de la particule virale. En plus cette méthode n'est pas encore standardisée, par rapport aux techniques de cultures cellulaires, et donc l'appréciation de la valeur prédictive des résultats positifs nécessite forcément beaucoup d'expérience en raison de la connaissance de la sensibilité de la méthode utilisée et d'éventuels problèmes de contamination. Vu qu'il s'agit aussi d'une méthode qui donne des résultats qualitatifs (positif/négatif) il n'est pas possible d'apprécier les risques pour la santé en terme de charge virale. Dans la pratique: la recherche devrait viser à la détection de micro-organismes à des concentrations utiles pour la gestion des risques et les essais menés dans un délai de quelques heures pour la mise en œuvre des mesures appropriées. En outre, il serait souhaitable de pouvoir différencier les micro-organismes viables ou non viables et identifier des pathogènes spécifiques qui présentent un danger pour la santé publique. Il est aussi important de rappeler que le coût de la surveillance devrait être aussi abordable que possible.

PROGRAMME DE RECHERCHE

But du travail et déroulement de l'investigation

Depuis 1988, nous effectuons des analyses microbiologiques des affluents et de l'émissaire ainsi que des eaux pélagiques du lac de Lugano (Lac Ceresio). Ce corps d'eau, situé à une altitude de 271 m.s.m. au Sud de la barrière alpine, est très important comme réservoir d'eau potable pour la population riveraine et du point de vue touristique. Le but du travail est:

1. évaluer l'efficacité des traitements des eaux dans les stations d'épurations (STEP) vis-à-vis de la contamination virale;
2. évaluer les corrélations entre indicateurs classiques de contamination fécale (bactéries indicatrices) et risque viral, en particulier vérifier si les indicateurs classiques sont adéquats pour l'appréciation du risque viral.

Lieux de prélèvements.

Nous avons prélevé des échantillons d'eaux de surface chaque mois de janvier à novembre '98 (1 litre pour l'eau de surface et 1 ml pour les boues activées), en particulier des rivières recevant l'exutoire d'une station d'épuration (STEP) et les STEP elles-mêmes (les boues activées et les

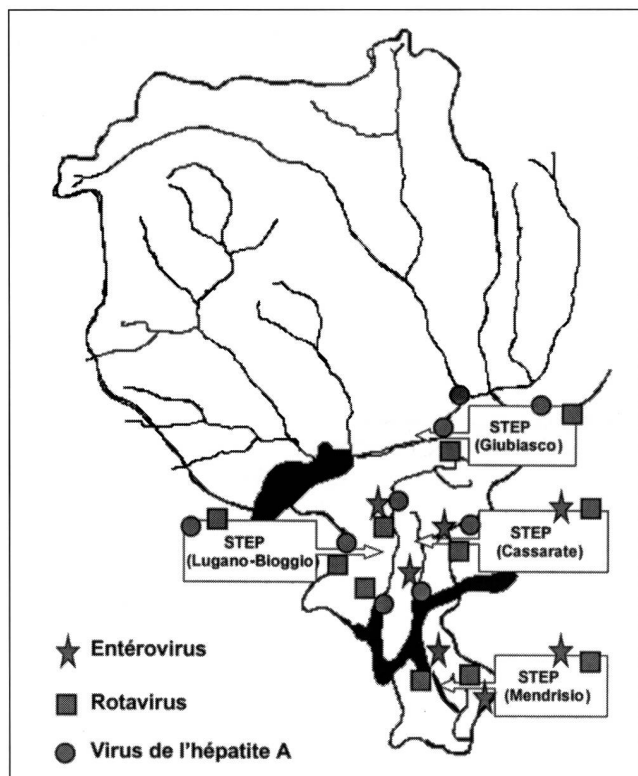
eaux traitées avant d'être relâchées dans l'environnement) dont trois équipées avec trois étapes de traitement (physique/chimique et biologique) et une avec une étape supplémentaire de traitement c'est à dire une filtration sur lit de sable.

Méthodes

Dans chaque échantillon on a recherché les paramètres suivants:

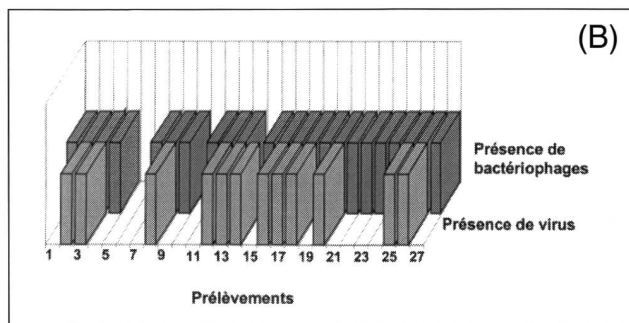
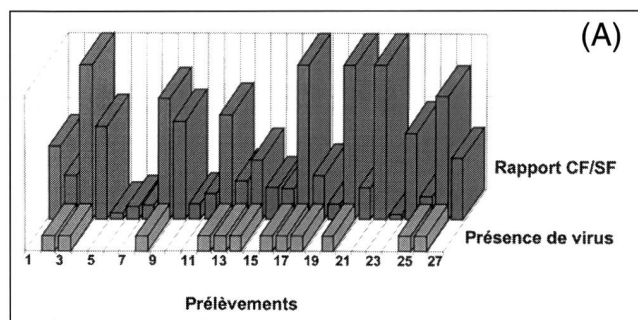
coliformes fécaux (UFC/100ml)
streptocoques fécaux (UFC/100ml)
bactériophages somatiques (*E.coli* 036)
bactériophages F⁺-spécifiques (*E.coli* K12 Hfr et *S.typhimurium* WG49) (PFU/ml)
virus (par PCR): rotavirus, enterovirus et hépatite A (présence/absence)

Résultats préliminaires



Diffusion de virus entériques dans les eaux de surface de la région du lac de Lugano et du fleuve Ticino

Corrélations



Corrélations entre la présence de virus entériques et la charge en bactéries (A) ou en bactériophages (B)

Conclusions préliminaires du travail de recherche.

1. La détection des acides nucléiques peut être très utile comme test de screening pour évaluer la présence de virus dans les échantillons d'eau. Selon le cas, elle peut être complétée par une culture cellulaire pour évaluer le niveau infectieux des particules virales.
2. Les indicateurs bactériens classiques de contamination fécale sont toujours très utiles pour évaluer la qualité de l'eau vis-à-vis de la contamination bactérienne mais ne devraient plus être utilisées pour l'évaluation du risque associé à la contamination virale. Les bactériophages semblent être de meilleurs indicateurs de la présence de virus entériques

CONCLUSIONS

Problèmes actuels. Malgré les connaissances scientifiques actuelles, l'évaluation de routine de la qualité microbiologique de l'eau de boisson et de baignade est aujourd'hui exclusivement fondée sur des techniques de culture. En particulier sur la mise en évidence des bactéries coliformes «indicatrices» qui témoignent une contamination d'origine intestinale des eaux et donc une possible présence de bactéries pathogènes. Cette méthode offre une bonne marge de sécurité vis-à-vis de la plupart des pathogènes bactériens, mais n'est pas efficace vis-à-vis d'autres bactéries émergentes, les virus et les parasites protozoaires. Actuellement pour l'évaluation du risque lié à une contamination virale, plusieurs méthodes indirectes ont été utilisées ou proposés. D'après un travail de Grinstein et al. et Mechals et al. (DEAPEAU & JANKOVIC 1977, GRINSTEIN *et al.* 1970), la distribution des virus à la quelle on peut s'attendre dans un cours d'eau pollué à été calculée à l'aide d'une méthodologie statistique particulière qui a permis l'élaboration d'une «courbe de risque» qu'il serait possible de tracer pour un cours d'eau dans la mesure où on connaît, en divers points d'échantillonnage, les relations virus-coliforme et coliforme-coliforme fécal. A l'aide de cette courbe il serait possible d'estimer le risque de maladie (%) à partir d'une connaissance de la charge virale (UFP/ml), de la charge en coliforme (NPP/100 ml) ou de coliforme fécal (NPP/100ml) dans le cours d'eau. L'application d'une courbe de ce type se base sur l'idoneité de l'utilisation des coliformes et coliformes fécaux comme indicateurs de

contamination virale, donc l'existence d'une corrélation linéaire entre les deux paramètres. Or à présent, la validité de cette corrélation a été mise en cause. En effet, les résultats de plusieurs travaux de recherche montrent combien d'épidémies sont associées à la contamination de réseaux municipaux de distribution d'eau, pourtant conformes aux normes gouvernementales et les informations récentes concernant les éventuels effets à long terme d'infections virales d'origine hydrique sont encore plus inquiétantes. En plus, suite à des récentes modifications du comportement alimentaire de la population, en particulier l'accroissement de la consommation de viande et poisson cru ou mal cuit, on assiste à une résurgence d'affections liées à l'eau que l'on croyait disparues (PEDUZZI 1990). Il est de toute évidence indispensable de trouver de nouveaux moyens de contrôler la qualité microbiologique de l'eau. Les polluants microbiens de l'eau posent encore de gros problèmes sanitaires et économiques. La validité des méthodologies actuellement utilisées en routine est mise en cause, parce que celle-ci ne permettrait pas de surveiller la qualité de l'eau ou de détecter des défaillances des systèmes de traitement de manière fiable. En effet, les techniques actuelles n'ont ni la sensibilité ni la spécificité requises pour mesurer de faibles concentrations d'agents pathogènes et de nombreux micro-organismes, notamment des virus et des parasites, peuvent échapper à la détection.

Prospectives futures. Parce que en terme de santé publique, il s'agit avant tout d'une question de prévention (c'est à dire de prévenir le début d'une maladie/épidémie) la rapidité et la précision du diagnostic sont des facteurs décisifs et donc les méthodes moléculaires sembleraient à terme plus rentables. Un exemple, *Helicobacter pylori* est présent dans l'eau en forme coccoïde, une forme non cultivable, seule la technique moléculaire permet d'en mettre en évidence la présence dans le milieu hydrique. Les indications de plus en plus nombreuses d'un lien entre les infections transmises par l'eau et certaines maladies cardiaques et gastro-intestinales, pourrait se traduire par un coût économique très élevé à long terme à cause du délai entre détection et prévention et donc pourrait avoir de fortes implications économiques. Dans le cas des infections transmises par l'eau et qui pourraient toucher à un très grand nombre de personnes, il semblerait vraiment indispensable de faire davantage, et plus rapidement.

Un autre problème concerne la diversité des concentrations admissibles de pathogènes, c'est à dire que la notion de risque tolérable varie d'un pays à l'autre (DAEPEAU & JANKOVIC 1977). Même aux Etats-Unis, il n'existe pas de point de vue uniforme et les normes ne sont pas identiques d'un Etat à l'autre. Si les limites légales concernant les agents pathogènes sont fixées par des accords internationaux (comme en témoignent les directives de l'UE et les normes internationales de qualité et de sécurité de l'OMS (Organisation mondiale de la santé), les protocoles de mesure sont établis uniquement au niveau national ou même régional. Or, pour réduire les risques de transmis-

sion de maladies d'origine hydrique, il est nécessaire de disposer d'outils communs de surveillance. Il faut donc normaliser les méthodologies et les valider de préférence au niveau international. Il est essentiel d'élargir l'échange d'informations, c'est à dire de données comparables, pour permettre de répondre aux besoins en matière de santé publique.

La demande de nouvelles technologies moléculaires soulève diverses questions spécifiques. D'une part il faudrait disposer de laboratoires suffisamment équipés pour répondre aux nouvelles exigences en matière de qualité de l'eau, d'autre part certains pays bénéficient d'abondantes ressources en eau tandis que d'autres souffrent de pénuries et doivent recourir au recyclage. Pour être utiles, les méthodes employées pour évaluer la qualité microbienne de l'eau doivent être suffisamment efficaces en termes de coût pour ne pas constituer une charge inacceptable. S'il n'est pas tolérable d'exposer la population à une eau contaminée, le relèvement des normes de qualité ne pourra être réaliste que si l'on tient compte de la totalité de ses coûts économiques et environnementaux (VARLEY *et al.* 1998).

BIBLIOGRAPHIE

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1985. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Sixteen Edition. ISBN 0-87553-131-8. Published by the American Public Health Association, 1015 fifteen Street NW, Washington, DC 20005: 827-1038.
- AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY, 1998. Ulcer-causing bacteria found in surface water. ASM Press Release. May 21.
- ARAUJO R.M., PUIG A., LASOBRAS J., LUCENA F. & JOFRE J., 1997. Phages of enteric bacteria in fresh water with different levels of faecal pollution. J. Appl. Microbiol. 82: 281-286.
- BAGGI F. & PEDUZZI R., 2000. Genotyping of Rotaviruses in Environmental Water and Stool Samples in Southern Switzerland by Nucleotide Sequence Analysis of 189 bp at the 5' End of the VP7 Gene. J. Clin. Microbiol. 38(10):3681-3685.
- BAGGI F., DOLINA M. & PEDUZZI R., 2000. Evaluation of antibiotic resistance among clinical and environmental water isolates of *Enterococcus spp.* and of the family of the Enterobacteriaceae in Southern Switzerland. Clin. Microbiol. Infect. Submitted.
- BEECHING N.J., 1997. Gastrointestinal infections-global problems. Curt. Opin. Infect. Dis. 10: 377-378.
- COTTE L., RABODONIRINA M., CHAPUIS F., BAILLY F., BISSUEL F., RAYNAL C., GELAS P., PERSAT F., PIENS M.A. & TREPO C., 1999. Waterborne outbreak of intestinal microsporidiosis in persons with and without human immunodeficiency virus infection. J. Infect. Dis. 180: 2003-2008.
- DAEPEAU A.J. & JANKOVIC S., 1977. Manuel de microbiologie de l'environnement. Organisation Mondiale de la Santé. Genève: 87-98.
- EGGER D., PASAMONTES L., OSTERMAYER M. & BIENZ K., 1995. Reverse transcription multiplex PCR for differentiation between Polio- and Enteroviruses from clinical and environmental samples. J. Clin. Microbiol. 33: 1442-1447.
- FRISBY H.R., ADDISS D.G., REISER W.J., HANCOCK B., VERGERONT J.M., HOXIE N.J. & DAVIS J.P., 1997. Clinical and epidemiologic features of a massive waterborne outbreak of crypto-

- sporidiosis in persons with HIV infection. *J. Acquir. Immune Defic. Syndr. Hum. Retrovirol.* 16: 367-373.
- GASSMANN L. & SCHWARTZBROD J., 1991. Wastewater and *Giardia* cysts. *Wat. Sci. Tech.* 24: 183-186.
- GRINSTEIN S., MELNICK J.L. & WALLIS C., 1970. Virus isolations from sewage and from a stream receiving effluents of sewage treatment plants. *Bull. Org. Mond. Santé*, 42: 291-296.
- GUERRANT R.L. & BLACKWOOD B.L., 1999. Threats to global health and survival: the growing crises of tropical infectious diseases-our «unfinished agenda». *Clin. Infect. Dis.* 28: 966-986.
- IAWPRC Study Group on Health Related Water Microbiology. 1991. Bacteriophages as model viruses in water quality control. *Water Res.* 25: 529-545.
- HEGARTY J.P., DOWD M.T. & BAKER K.H., 1998. Occurrence of *Helicobacter pylori* in surface water in the United States. *Appl. Environ. Microbiol.* Submitted
- KRAMER M.H., SORHAGE F.E., GOLDSTEIN S.T., DALLEY E., WAHLQUIST S.P. & HERWALDT B.L., 1998. First reported outbreak in the United States of cryptosporidiosis associated with a recreational lake. *Clin. Infect. Dis.* 26: 27-33.
- KUKKULA M., MAUNULA L., SILVENNOINEN E. & VON BONS-DORFF C.H., 1999. Outbreak of viral gastroenteritis due to drinking water contaminated by Norwalk-like viruses. *J. Infect. Dis.* 180: 1771-1776.
- LECHEVALLIER M.W., NORTON W.D. & LEE R.G., 1991. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in surface water supplies. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 2610-2616.
- LEISINGER M. & METZLER A., 1997. Use of silica as a carrier to recover and prepare waterborne enteric viruses for detection by RT-PCR. 1997. *Zbl. Hyg.* 200: 283-296.
- MEDICAL TRIBUNE, 1999. Vorsicht Trinkwasser. Flutsch der Magenteufel aus der Leitung?. *Medical Tribune*. 23, Freitag 11. Juni.
- METCALF T.G., MELNICK J.L. & ESTES M.K., 1995. Environmental virology: from detection of virus in sewage and water by isolation to identification by molecular biology - a trip of over 50 years. *Annu. Rev. Microbiol.* 49: 461-487.
- MMWR. 1982. Community outbreak of Norwalk gastroenteritis-Georgia. 31: 405-407.
- MMWR. 1993. Surveillance for waterborne disease outbreaks - United States, 1991-1992. November 19: 1-22.
- MONNET D.L., 1999. European recommendations to respond to the threat of antimicrobial resistant microorganisms. *ASM News*, June 1999.
- PAPAPETROPOULU M. & VANTARAKIS A.C., 1998. Detection of adenovirus outbreak at a municipal swimming pool by nested PCR amplification. *J. Infect.* 36: 101-103.
- PEDUZZI R., 1990. Résurgence de la bothriocéphalose (parasitose à *Diphyllbothrium latum*) dans la région du Lac Majeur. Signalement de 18 cas chez l'homme. *Médecine & Maladies Inf. Paris*. 20: 493-497.
- RANGER-ROGEZ S., NICOT T. & DENIS F., 1996. Apport des techniques de biologie moléculaire dans le diagnostic virologique: situation actuelle et perspectives. *Bull. Soc. Fr. Microbiol.* 11: 309-314.
- RODIER J., 1978. L'analyse de l'eau. Sixième édition. ISBN 2-04-010037-7. Edition Dunod technique. Paris: 709-822.
- SAHAY P. & AXON A.T.R., 1996. Reservoirs of *Helicobacter pylori* and modes of transmission. *Helicobacter*. 1: 175-172.
- SCHVOERER E., BONNET F., DUBOIS V., ROGUES A.M., GACHIE J.P., LAFON M.E. & FLEURY H.J., 1999. A hospital outbreak of gastroenteritis possibly related to the contamination of tap water by a small round structured virus. *J. Hosp. Infect.* 43: 149-154.
- SOLO-GABRIELE H.M., WOLFERT M.A., DESMARAIS T.R. & PALMER C.J., 2000. Coliforms not a good indicator of contamination in recreational waters. *Appl. Env. Microbiol.* 66: 230-237.
- STARK S.R.M., GERWING G.J., PITMANN R.S., POTTS L.F., WILLIAMS N.A., GREENMAN J., WEINZWEIG I.P., HIRST T.R. & MILLAR M.R., 1999. Biofilm formation by of *Helicobacter pylori*. *Lett. Appl. Microbiol.* 28: 121-126.
- STETLER R.E., 1984. Coliphages as indicators of enteroviruses. *Appl. Environ. Microbiol.* 48: 668-670.
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1998. Announcement of the drinking water contaminant candidate list. *Federal Register*. 63: 10273-10287.
- VARLEY R.C., TARVID G.J. & CHAO D.N.W., 1998. A reassessment of the cost-effectiveness of water and sanitation interventions in programmes for controlling childhood diarrhoea. *Bull. World Health Org.* 76: 617-631.
- WENTSEL R.S., O'NEIL P.E. & KITCHENS J.F., 1982. Evaluation of coliphage detection as a rapid indicator of water quality. *Appl. Environ. Microbiol.* 43: 430-434.