



Projet «STORM: Assainissement par temps de pluie»

Problèmes hygiéniques par temps pluie

Simon Kreikenbaum, Hans Güde, Vladimir Krejci, Luca Rossi

Auteurs

Simon Kreikenbaum

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-342 59 84
s.kreikenbaum@gmx.ch

Hans Güde

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Institut für Seenforschung
Postfach 4253,
D-88081 Langenargen
Tél. +49-7543 304 166
Fax +49-7543 304 299
Hans.Guede@lfu.lfu.bwl.de

Vladimir Krejci

Lindenstrasse 90
8738 Uetliburg
Tél. +41-55-280 33 92
Fax +41-55-280 36 61
hydrokrejci@tiscalinet.ch

Luca Rossi

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-823 53 78
Fax +41-44-823 53 89
luca.rossi@eawag.ch

Mots clés

Hygiène, eaux de baignade, déversoir d'orage, rejets pluviaux, E. coli.

Cet article est le huitième d'une série de onze concernant le projet «STORM – Assainissement par temps de pluie» réalisé par l'EAWAG avec le soutien de l'OFEFP.

Les rejets d'eaux pluviales et particulièrement les déversoirs d'orage ont une concentration élevée en polluants fécaux. Ces eaux contiennent entre autres des microbes pathogènes comme des bactéries, des protozoaires et des virus, qui peuvent générer des problèmes hygiéniques dans les milieux récepteurs et une utilisation restreinte de ces eaux pour les activités récréatives. Jusqu'ici, cet aspect n'a pas été pris en considération lors de la planification et l'évaluation de solutions techniques. Cet article est consacré à la prise en compte des problèmes hygiéniques, aux causes de cette pollution, aux valeurs limites pour la qualité de l'eau, à l'analyse des résultats de mesures, à la planification de mesures de protection et finalement au choix de celles-ci.

Introduction

Les rejets d'eaux pluviales, c.-à-d. les déversoirs d'orage dans les systèmes unitaires et les eaux de ruissellement dans les réseaux séparatifs, peuvent générer des problèmes hygiéniques dans les milieux récepteurs. En effet, la concentration de germes peut facilement dépasser d'un facteur 1000 la valeur tolérée par ex. dans les eaux de baignade. Il en résulte que l'utilisation de ces milieux peut être compromise pour les activités récréatives [1, 2].

Hygienische Probleme bei Regenwetter

Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, insbesondere Mischwassereinleitungen, enthalten eine hohe Konzentration von Verunreinigungen fäkalen Ursprungs. Darunter eventuell auch Krankheitserreger wie Bakterien, Protozoen und Viren, die zu hygienischen Problemen im Gewässer und einer eingeschränkten Erholungsnutzung führen können. Dieser Aspekt blieb bei der Planung und Beurteilung von Massnahmen bisher unberücksichtigt. Deshalb widmet sich die vorliegende Publikation der Relevanz der Hygieneproblematik, den Ursachen, den Anforderungen an die Gewässerqualität, Untersuchungsergebnissen, dem Planungsablauf sowie möglichen Massnahmen.

Hygienic Problems due to Wet Weather Pollutions

Waste water discharges from sewers during wet weather, especially combined sewer overflows, have a high concentration of faecal pollutants. Amongst others are possible pathogens like bacteria, protozoan, and viruses, which can lead to hygienic problems in the waterbodies and a constricted use for recreational purposes. So far, this aspect was not taken into account in the process of planning and evaluating protective measures. Therefore, this paper is dedicated to the relevance of hygienic problems, the causes, the requirements for water quality, results of examinations, the planning procedure, as well as possible measures.

Les atteintes hygiéniques aux eaux se définissent par la contamination par des germes, avant tout par des agents pathogènes provenant de l'intestin humain et animal. Les personnes contaminées ou malades éliminent les bactéries et les virus pathogènes, fécaux. Ces agents pathogènes peuvent parvenir par temps de pluie dans les milieux récepteurs, via les déversoirs pluviaux du réseau unitaire ou via les eaux de ruissellement du réseau séparatif [3].

Les agents infectieux contenus dans les eaux superficielles sont contractés avant tout par voie orale, mais aussi par les muqueuses, les yeux ou par les plaies ouvertes. Le déclenchement de la maladie dépend du type d'agent pathogène, de la contamination des eaux, de la quantité ingurgitée et de la constitution individuelle du baigneur. Si la dose ingurgitée dépasse la dose dite infectieuse minimale de l'agent pathogène, la maladie peut apparaître [3].

Les problèmes hygiéniques liés aux milieux récepteurs et leurs conséquences trouvent généralement un grand intérêt dans le public et chez les hommes politiques. Le public considère souvent la qualité de l'eau de baignade comme étant une bonne indication de l'état des milieux récepteurs. Les mesures liées à la protection de la population face aux atteintes hygiéniques comme les conseils, les avertissements ou les interdictions de baignade et les restrictions pour les activités récréatives qui leur sont liées sont généralement perçues avec un degré d'importance supérieur aux problèmes écologiques dans les eaux.

Toutefois, la pratique de la protection des eaux en Suisse ne s'occupe généralement pas (abstraction faite de certains cas spécifiques identifiés), du problème de l'atteinte hygiénique des eaux superficielles en rapport avec les rejets d'eaux pluviales. De même, ce type d'atteinte n'a pas été pris en considération par la planification de mesures jusqu'à présent. Ainsi, cette publication est consacrée aux atteintes hygiéniques aux eaux en temps de pluie afin de mieux comprendre ce type de pollution et de mettre à disposition les outils nécessaires à son évaluation. Dans les chapitres suivants, nous nous limitons à l'hygiène des eaux de baignade.

Indicateurs des atteintes hygiéniques aux eaux

Les germes pathogènes responsables des atteintes hygiéniques appartiennent à une multitude de variétés différentes d'agents pathogènes: par ex. les bactéries, les protozoaires, les virus, etc. Un examen direct de ces germes pathogènes ne pouvant pas être réalisé notamment pour des raisons de coûts, des organismes indicateurs des atteintes hygiéniques sont utilisés dans la pratique. Les organismes indicateurs sont des organismes qui révèlent la présence possible de germes pathogènes, de même origine biologique et mettent ainsi en évidence un danger potentiel pour la santé. Les organismes indicateurs sont soumis aux exigences suivantes [4, 5]:

► Les organismes indicateurs doivent indiquer indéniablement la présence d'organismes pathogènes spécifiques dans

les eaux naturelles; à cet effet, leur comportement doit être semblable à celui des organismes pathogènes.

► Ils doivent intervenir en beaucoup plus grand nombre que les organismes pathogènes.

► Ils doivent être décelables au moyen de méthodes relativement simples et rapides.

► Ils doivent être décelables quantitativement.

Indicateurs utilisés en Suisse

En Suisse, *Escherichia coli* (*E. coli*) et les salmonelles sont utilisés aujourd'hui comme indicateurs pour les polluants fécaux dans les eaux [3].

Escherichia coli ou *E. coli* est une bactérie relativement inoffensive, qui apparaît dans de grandes concentrations dans les matières fécales. C'est un indice de présence possible de bactéries intestinales pathogènes et de virus intestinaux. L'absence ou de faibles concentrations d'*E. coli* n'ont toutefois pas la même signification que l'absence d'organismes intestinaux pathogènes. *E. coli* n'est donc pas un indicateur parfait, mais il est actuellement reconnu comme indicateur de contamination fécale [2, 3].

Les salmonelles sont en partie les agents pathogènes de sévères diarrhées. Selon l'espèce, ils engendrent des maladies (inflammations) typhoïdiques ou entériques dans l'intestin. La dose infectieuse dépend du type de salmonelle et de la constitution de la personne infectée.

Les salmonelles se trouvent fréquemment dans l'eau. Comme c'est également le cas pour d'autres agents infectieux, les salmonelles ne sont que partiellement éliminées des eaux usées par les procédés habituels dans les stations d'épuration.

La détection des salmonelles contenues dans l'eau est facile. La méthode semi-quantitative proposée dans les «Recommandations» [3] permet la détection d'une salmonelle survivante par volume d'échantillon prélevé (1 litre).

Autres indicateurs bactériens

Les bactéries coliformes totales représentent un groupe d'environ 50 espèces défini méthodologiquement, mais dépourvu de définition taxonomique. Certaines d'entre elles sont abondamment répandues dans la nature en dehors de l'intestin humain et animal. Ce groupe ne convient pas en tant qu'indicateur fécal ainsi que pour l'évaluation du risque pour la santé des baigneurs [3].

Les bactéries coliformes fécales représentent un groupe défini méthodologiquement, mais non taxonomiquement comprenant env. 5 espèces d'au moins trois genres (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*) qui trouvent leurs conditions d'existence optimales à des températures élevées (44 °C). Elles se reproduisent dans le tractus intestinal de l'homme et des animaux à sang chaud. Elles peuvent survivre un certain temps dans les eaux sans toutefois pouvoir se reproduire. En raison de la proportion élevée de *E. coli* (env. 60%) recensée, le groupe coliformes fécaux offre une plus haute spécificité fécale que l'ensemble des bactéries coliformes [3].

Hormis la Suisse, de nombreux pays, (notamment dans l'espace UE), testent les streptocoques fécaux (entérocoques intestinaux EI) pour la surveillance de la qualité des eaux de baignade. En raison d'une grande disparité des bactéries recensées dans ce groupe et de leur présence partiellement ubiquitaire, les «streptocoques fécaux» paraissent moins adaptés, du moins comme indicateur de polluants fécaux dans les eaux usées, que *E. coli*. D'autre part, leur présence plus importante dans les régions soumises à l'influence des matières fécales animales (pâturages, purin) [2, 6] démontre leur potentiel en tant qu'indicateur. Cependant – contrairement aux eaux usées provenant des agglomérations – on ne peut pas encore évaluer avec certitude un risque pour la santé des baigneurs par des contaminations bactériennes provenant de ces sources.

Autres indicateurs d'hygiène bactériologique

Les indicateurs mentionnés jusqu'à présent se limitent aux bactéries. Ceux-ci permettent cependant l'évaluation du comportement dans l'environnement des protozoaires et des virus que sous certaines conditions. Ces deux catégories d'indicateurs sont ainsi présentées par la suite.

Depuis les années 70, le risque pour la santé des protozoaires parasites dans les eaux est discuté et examiné, particulièrement les espèces *cryptosporidium* et *giardia*. Dans un premier temps, le degré d'infection par les *cryptosporidium* a été considéré comme peu important. Entre-temps, sur la base de nouvelles études épidémiologiques, le développement des *cryptosporidium* compte parmi les causes les plus fréquentes d'infections gastro-intestinales pouvant mettre en danger la vie de personnes immuno-déficientes. Les deux groupes de protozoaires cités peuvent se montrer très résistants ne pouvant par exemple pas être complètement éliminés par chloration. Soumis à des conditions environnementales naturelles, les stades persistants de *cryptosporidium* et *giardia* périssent au moins 10 fois plus lentement que l'*E. coli* [7]. Les protozoaires se développent dans l'intestin des créatures à sang chaud. C'est pourquoi il faut s'attendre en principe à la présence de protozoaires parasites dans toutes les eaux chargées des excréments de créatures à sang chaud. Toutefois, les résultats présentés jusqu'à présent montrent que l'apport principal dans les eaux ne provient pas des eaux usées des agglomérations, mais des excréments animaux (purin, pâturages) [8].

De nombreux virus pathogènes de l'homme peuvent apparaître dans les eaux superficielles. Ils peuvent survivre jusqu'à 500 jours, leur multiplication dans l'eau est toutefois exclue. L'intestin humain est le réservoir des virus pathogènes de l'homme. Les personnes atteintes en éliminent jusqu'à 10^{12} particules par gramme de selles. Cependant, la dose infectieuse minimale pour l'homme peut être atteinte, dans le cas le plus défavorable, par une seule particule. Aujourd'hui, le dépistage de virus pathogènes pour l'homme dans les eaux de baignade ne fait pas partie des examens de routine, les méthodes d'analyse correspondantes n'étant pas encore dis-

ponibles. Elles seraient toutefois souhaitables pour l'évaluation des risques pour la santé par des eaux de baignade [3].

Exigences en matière de qualité d'eau

Concernant la qualité hygiénique dans les eaux superficielles, l'annexe 2, paragraphe 1.11 de l'Ordonnance sur la protection des eaux [9] édicte la prescription générale suivante:

La qualité des eaux doit être telle:

e. que les conditions d'hygiène requises pour la baignade soient remplies dans les eaux où l'autorité autorise expressément la baignade ou dans lesquelles un grand nombre de personnes se baignent habituellement sans que l'autorité le déconseille.

Recommandations appliquées en Suisse

L'application de cette prescription en Suisse fait appel à 4 classes de qualité en rapport avec l'hygiène des lieux de baignade, (cf. tableau 1), dont découlent les évaluations et mesures suivantes [3, 10].

Classe de qualité A: Aucune recommandation aux baigneurs. Des atteintes à la santé par l'eau de baignade ne sont pas présentes. Aucune contestation, contrôle aléatoire.

Classe de qualité B: Aucune recommandation aux baigneurs. Des atteintes à la santé par l'eau de baignade ne sont pas présentes. Aucune contestation, contrôles réguliers au moins une fois par mois.

Classe de qualité C: Recommandations aux baigneurs comme par ex. «Ne pas plonger», «Après le bain, se doucher soigneusement». Des atteintes à la santé par l'eau de baignade ne sont pas à exclure. Contestation: contrôle subséquent dans les 7 jours, en cas de nouvelle contestation on fera des recommandations.

Classe de qualité D: Avertissement aux baigneurs comme par ex. «La baignade à cet endroit comporte des risques pour la santé», «Baignade déconseillée pour des raisons sanitaires». Des atteintes à la santé par l'eau de baignade est possible. Contestation: contrôle subséquent dans les 7 jours, une nouvelle contestation conduit à un avertissement avec l'accord du médecin cantonal.

Recommandation européenne sur la qualité des eaux de baignade

La Recommandation UE sur les eaux de baignade [11] donne des valeurs limites et des valeurs de référence pour les micro-

Classe de qualité	<i>E. coli</i> par 100 ml	Salmonelles par 1000 ml
Classe A	<100	non décelable
Classe B	100 à 1000	non décelable
Classe C	<1000 >1000	décelable non décelable
Classe D	>1000	décelable

Tableau 1: Classes de qualité en rapport avec l'hygiène [3].

organismes significatifs comme les salmonelles totales, coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, les virus intestinaux pour l'utilisation des eaux superficielles contaminées par les eaux usées comme eaux de baignade. La qualification des eaux de baignade s'effectue au moyen d'exigences minimales (valeurs limites) et d'objectifs de qualité à atteindre (valeur de référence) pour les bactéries coliformes totaux et coliformes fécaux. Un lieu de baignade est certifié de «Bonne qualité», lorsque 80 % des échantillons d'eau examinés respectent les valeurs de référence microbiologiques.

La recommandation, âgée de 25 ans, été révisée au cours des dernières années. Dans la dernière proposition [12] les paramètres microbiologiques à surveiller ont été réduits à deux: les entérocoques intestinaux EI et *E. coli*. Ceux-ci devraient donner une meilleure représentation de la relation entre pollution fécale et risques pour la santé dans les eaux utilisées pour les activités récréatives. Dorénavant, les eaux de baignade devraient être classées dans les catégories «excellent», «bon» ou «insuffisant».

La qualité «excellente» signifie que 95% des échantillons présentent un max. de 250 *E. coli*/100 ml et 100 EI/100 ml. La qualité «bonne» est attribuée lorsque 95% des valeurs se situent au maximum à 500 *E. coli*/100 ml et 200 EI/100 ml. La qualité «insuffisante» est liée à des valeurs supérieures, soit 95% des valeurs plus grandes que 500 *E. coli*/100 ml ou 200 EI/100 ml.

En outre, les autorités compétentes doivent exploiter les eaux de telle façon que les eaux utilisées pour la baignade soient classées dans la catégorie «excellente».

La révision prévue de la Recommandation UE sur la qualité des eaux de baignade introduit, avec l'examen des entérocoques intestinaux, un deuxième groupe indispensable de bactéries indicatrices. Comme le démontre les examens du Baden-Wurtemberg sur les lieux de baignade du lac de Constance, il faudrait à l'avenir compter avec un nombre plus élevé de lieux de baignade critiques. À cet effet, la valeur limite plus sévère de *E. coli* est bien moins déterminante que l'introduction du groupe d'indicateurs EI. Il existe, en effet, certains lieux de baignade pour lesquels les contaminations d'EI et d'*E. coli* sont très différentes. Cette réalité peut être

considérée comme une indication supplémentaire pour la valeur indicative différente relative aux deux groupes (cf. ci-dessus).

Source d'atteintes hygiéniques par temps de pluie

Les sources les plus importantes d'atteintes hygiéniques par temps de pluie sont les écoulements provenant des stations d'épuration, les déversements d'égouts unitaires, les déversements d'eau de ruissellement par les réseaux séparatifs d'assainissement, en raison de mauvais raccordements, de sources diffuses comme par ex. l'érosion provenant d'exploitations agricoles (purin), de la remise en suspension de sédiments et des contaminations naturelles, par ex. par les oiseaux aquatiques.

Les rejets des stations d'épuration représentent fréquemment la contamination principale apparaissant non seulement par temps de pluie, mais également par temps sec.

Une estimation quantitative n'est réalisable que difficilement pour les sources diffuses. Les études existantes ne permettent toutefois pas d'estimer que seules les sources diffuses puissent être la cause des contaminations de pointe.

L'influence de la remise en suspension des sédiments a été déterminée au moyen d'échantillons prélevés au hasard dans les milieux récepteurs de la région du lac de Constance (Baden-Wurtemberg, Allemagne). Ces examens indiquent des concentrations partiellement élevées de *E. coli* dans l'eau interstitielle, dépassant jusqu'à 100 fois les concentrations dans l'eau de rivière [2].

Lors de discussions, la contamination «naturelle» par les oiseaux aquatiques est souvent citée comme source possible de contaminations hygiéniques des eaux. Cependant, une augmentation des contaminations par temps pluie est improbable. En outre, en lien avec cette source «naturelle» de contamination, aucune indication n'est trouvée quant à la raison des contaminations de pointe dans les eaux de baignades [4,13]. De nombreux examens dans le bassin situé au nord du lac de Constance [2, 4, 14] ont fourni des indications sur l'ordre de grandeur des concentrations de *E. coli* dans différents types d'eaux usées (tableau 2). En raison de carac-

Type d'eau	Domaine [E.coli/100 ml]	Médiane [E.coli/100 ml]	Nombre d'échantillons [-]
Entrée station d'épuration	10 ⁶ -10 ⁸	2,8 x 10 ⁷	73
Rejet de STEP mécanique-biologique	10 ³ -10 ⁴	1,3 x 10 ⁴	284
Rejet de STEP avec floculation-filtration	10 ² -10 ³	1,1 x 10 ³	119
Petite station d'épuration	<10 ¹ -10 ²	1,2 x 10 ¹	14
Fosse septique à plusieurs compartiments	10 ³ -10 ⁶	1,4 x 10 ⁶	10
Déversoir d'orage système unitaire	10 ⁴ -10 ⁷	8,3 x 10 ⁵	88
Eaux de ruissellement système séparatif [15]	10 ¹ -10 ⁵	1,5 x 10 ³	pas de données

Tableau 2: Plages de concentration de *E. coli* mesurées dans différentes eaux usées du bassin situé au nord du lac de Constance [2]. Les concentrations en *E. coli* dans les eaux pluviales dépendent fortement des défauts de raccordement.

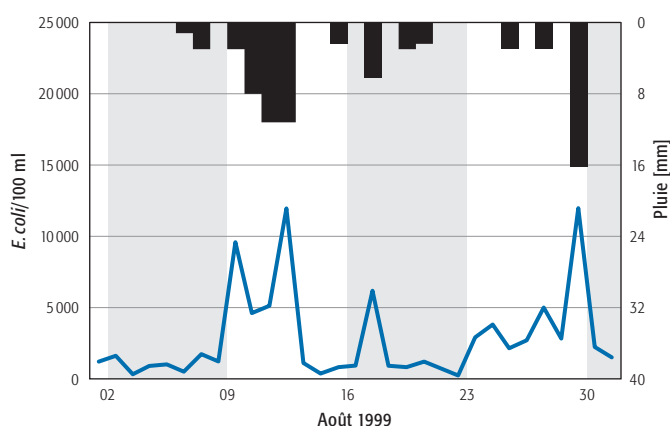


Figure 1: Précipitations et concentrations de *E. coli* dans le Salemer Aach (Baden-Wurtemberg, région du lac de Constance) [2].

téristiques semblables en terme d'habitat, les valeurs trouvées sur ce site sont également applicables aux conditions du plateau suisse.

Les valeurs du tableau 2 indiquent que les concentrations de *E. coli* peuvent être plus élevées dans les déversements unitaires, d'un facteur 100 à 100 fois, que dans les rejets des stations d'épuration. La contamination liée aux déversoirs d'orage est considérablement plus grande en comparaison avec les rejets des stations d'épuration. Il devient évident que les déversoirs d'orage en système unitaire – tout au moins dans l'environnement immédiat du déversoir – peuvent être une source importante d'atteintes hygiéniques aux eaux (figure 1).

Les données tirées de l'étude dans la région du lac de Constance [2] permettent d'établir une bonne corrélation entre l'écoulement pluvial et les concentrations de *E. coli*. Les déversoirs pluviaux provenant du système unitaire d'assainissement et l'érosion des surfaces agricoles sont considérés en premier lieu comme voies de contamination dépendant des précipitations. L'établissement d'un bilan sur la base des résultats d'analyse démontre que, tout au moins dans le bassin du lac de Constance, la contribution des déversoirs pluviaux représente la source de contamination dominante en lien avec les précipitations.

Identification de problèmes découlant des examens hygiéniques

En Suisse, le contrôle hygiénique de la qualité des eaux de baignade incombe aux cantons et est exécuté selon les «Recommandations pour l'évaluation de la qualité hygiénique des eaux de baignade de lacs et de rivières». Selon ces recommandations, lors des contrôles, il faut prendre garde «que des conditions météorologiques extraordinaires ne dénaturent pas l'évaluation» [3]. Cela signifie que les contrôles sont généralement effectués par temps sec et non de manière ciblée par temps de pluie, bien que la situation en temps de pluie apporte une contribution déterminante à la problé-

matique hygiénique. Pour cette raison, dans les exemples suivants, le lien entre les résultats des contrôles de routine et la situation en temps de pluie a été établi afin d'évaluer l'influence des déversements par les canalisations en temps pluie. Ces exemples seront complétés avec un examen ciblé réalisé en Allemagne (Baden-Wurtemberg) aux abords du lac de Constance.

Canton d'Argovie

Dans le canton l'Argovie, le laboratoire cantonal effectue régulièrement des contrôles de routine de l'état hygiénique des eaux de baignade. À cet effet, l'état hygiénique a été déterminé sur 18 sites de mesure, dont 11 dans des cours d'eau et 7 dans des lacs. Les résultats sont classés selon les «Recommandations» [3].

La majorité des sites de mesure disposaient de données de 27 examens. Par la suite cependant il n'a plus été possible de trouver les concentrations réelles de *E. coli* et de salmonelles. Seuls les résultats de mesure délivrés en terme de classes de qualité sont disponibles.

De même, des indications directes concernant les déversements comme des mesures ou des observations sur le volume et la durée des déversements n'étaient pas disponibles. Pour faire face à ce problème, les données pluviométriques des stations météorologiques les plus proches ont été utilisées. La somme des hauteurs de pluie des trois jours précédant le jour de mesure du contrôle routinier cantonal a été calculée. L'hypothèse suivante est retenue: une hauteur de précipita-

Kaiserstuhl, Rhein			
Classe de qualité	Somme des précipitations		
	<2mm	2-5mm	>5mm
Classe A	3	1	-
Classe B	8	-	5
Classe C	1	-	5
Classe D	-	-	4

Meisterschwanden, lac de Hallwil			
Classe de qualité	Somme des précipitations		
	<2mm	2-5mm	>5mm
Classe A	11	4	11
Classe B	-	-	1
Classe C	-	-	-
Classe D	-	-	-

Tableau 3: Évaluation des contrôles hygiéniques routiniers dans le canton d'Argovie (27 contrôles) par rapport aux hauteurs de précipitations des derniers trois jours avant les jours de mesure. Exemple: le Rhin près de Kaiserstuhl et le lac de Hallwil près de Meisterschwanden. Les chiffres correspondent au nombre de résultats de mesure dans une classe de qualité et de précipitations déterminée.

tions cumulée de moins de 2 mm ne conduit vraisemblablement pas à une mise en fonction des déversoirs d'orage. Entre 2 et 5 mm de pluie cumulée, les débordements sont probables, alors qu'une hauteur de précipitations cumulées de plus de 5 mm rend un déversement très probable.

Une partie des résultats délivre des indications sur l'influence des déversements pluviaux sur les cours d'eau (cf. tableau 3). Mais les informations relativement grossières, actuellement disponibles, relatives à la qualité hygiénique et au fonctionnement des déversoirs d'orage ne permettent pas une analyse plus précise. À l'avenir, il serait judicieux de mieux clarifier les interdépendances par temps de pluie dans quelques cas choisis, c.-à-d. effectuer des examens spécifiquement par temps de pluie.

Le degré de qualité D n'a pas été trouvé pour les lacs, la majorité des mesures se situaient dans le domaine A et B, ceci également dans les zones où les déversements de réseaux unitaires sont rejetés à proximité des lieux de baignade (directement au bord du lac et non par des canalisations au large) (tableau 3). Les raisons possibles pour expliquer ce résultat pourraient se situer dans les courants lacustres ou dans les différences de température entre l'eau du lac et les eaux rejetées par temps pluie. Lorsque les eaux pluviales sont plus froides que l'eau de surface du lac, elles sont déposées dans les couches plus profondes du lac.

Canton de Berne

En 1992, dans le cadre de l'«Examen bactériologique de différentes stations d'épuration de la région Berne-Thun», le Laboratoire Cantonal Bernois de protection des eaux et du sol a évalué, entre autres, l'état bactériologique de l'Aare par temps de pluie [16].

Dans la région de Berne, il existe beaucoup d'évacuateurs de crues et de trop-pleins d'égouts unitaires situés en amont des lieux de baignade dans les rivières ou de sites de baignade non spécialement déclarés. Lors de fortes précipitations, les eaux pluviales rejoignent l'Aare directement ou par l'intermédiaire d'affluents. Ainsi, les rejets pluviaux et les déverse-

ments peuvent porter atteinte entre autres aux bains de Eichholz et de Marzili.

Le rapport sur les études mentionné ci-dessus éveille au moins un soupçon: lors de précipitations liées à des événements de déversement, l'Aare doit être classée localement et temporairement dans la classe de qualité C ou D, selon le classement de qualité spécifié par les «Recommandations». Les résultats de ces examens ne permettent toutefois aucune étude plus précise concernant les atteintes temporelles et locales aux lieux de baignade.

Selon ce rapport, une amélioration substantielle de la qualité de l'eau ne peut pas être obtenue à court terme. A long terme, un transfert des grands ouvrages de déversement et d'évacuation ainsi qu'un traitement approprié des eaux pluviales (bassin de rétention, infiltration) devront être pris en considération. Ainsi, la fréquence des déversements sera réduite et l'eau usée mixte sera rejetée loin des sites de baignade.

En été 1993, de nouveaux examens (échantillons) ont été prélevés dans l'Aare aux abords du bain Marzili. Une atteinte nuisible aux eaux de l'Aare le 23 août est clairement mise en évidence en rapport avec de fortes précipitations. Le lendemain cependant, des concentrations de *E. coli* considérablement plus faibles ont été mesurées au même endroit (figure 2).

Dans le cadre du projet «STORM», les résultats des contrôles hygiéniques routiniers dans l'Aare aux abords des ponts Wohleibrücke, Dalmazibrücke et Felsenabrücke ont été mis en relation avec les hauteurs de précipitations mesurées. Comme pour l'exemple précédent dans le canton d'Argovie, la somme des hauteurs de précipitations des trois jours précédant le jour de mesure des examens cantonaux a été mis en parallèle avec les classes de qualité mesurées. Les classes de qualité C et D apparaissent moins fréquemment avec les sommes de précipitations SP = 5 mm qu'avec SP > 5 mm (cf. tableau 4).

Lac de Constance aux abords de Langenargen (Allemagne)

Des concentrations de bactéries ont également été observées dans de nombreux sites de baignade du lac de Constance, correspondant aux classes de qualité A et B. Uniquement les lieux de baignade à proximité d'effluents chargés d'eaux usées présentent occasionnellement des valeurs élevées dans le domaine des classes de qualité C et D. A titre d'exemple, le cas des plages de Langenargen est intéressant. Ces plages sont situées à l'embouchure de la Schussen (bassin versant d'env. 800 km², débit moyen = 10 m³/sec, habitants = 200 000, milieux récepteurs pour 20 stations d'épuration). Il a pu être démontré, au moyen d'examens avec prélèvement quotidien d'échantillons pendant la saison balnéaire, que les concentrations de germes critiques n'ont été atteintes qu'après des précipitations et la présence dans l'eau de la rivière d'eaux rejetées par des déversoirs pluviaux. En raison de coûts élevés, l'extension nécessaire du volume de rétention

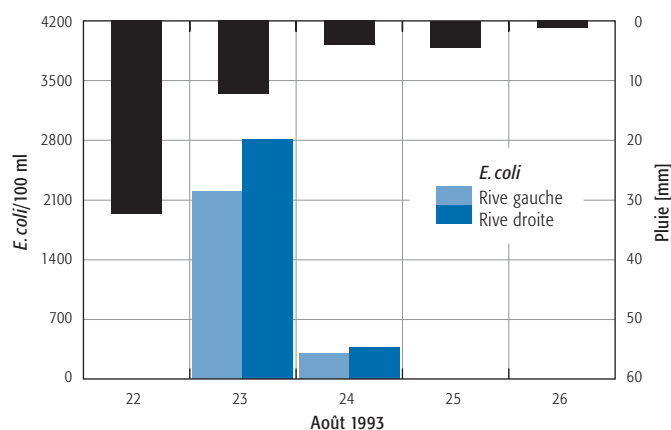


Figure 2: Précipitations et concentration de *E. coli* dans l'Aare les 23 et 24 août 1993.

Berne, Aare			
Classe de qualité	Somme des précipitations		
	<2mm	2-5mm	>5mm
Classe A	2	1	10
Classe B	40	3	9
Classe C	4	2	9
Classe D	1	1	10

Tableau 4: Évaluation des contrôles hygiéniques routiniers de l'Aare aux abords des ponts Wohleibrücke, Dalmazibrücke et Felsenaubrücke, compte tenu des hauteurs de précipitations des trois jours précédant les jours de mesure. Les chiffres correspondent au nombre des résultats de mesure dans une classe de qualité et de précipitation déterminée.

par temps pluie, destinée à limiter les causes du problème, ne pourra être réalisée qu'à moyen terme. Dès lors, pour la première fois en été 1995, un dispositif d'alarme précoce a été aménagé comme solution transitoire, basé sur la dépendance démontrée dans les résultats préliminaires entre la densité de germes et les événements de pluie. En hissant un drapeau rouge, un avertissement – et ainsi une interdiction de baignade sur les plages – survient lorsqu'un déversement et/ou le dépassement d'un débit fixé au niveau de rivière sont enregistrés. Après une alarme, l'interdiction de baignade doit être maintenue un jour supplémentaire, pour des raisons de sécurité.

Au terme de la phase d'essai comprenant des prélèvements quotidiens dans la Schussen et l'Argen pendant la saison balnéaire 1995, il a pu être établi que pendant l'ouverture des bains aucun cas de concentrations critiques de germes n'est apparu (figure 3). En revanche, le peu observations de dépassements de la valeur limite ont été accompagnées sans exception de messages d'alarme. Ainsi, le système d'alarme a satisfait entièrement aux exigences de fiabilité et de prévention. Il a également fait ses preuves au cours des années suivantes.

Autres exemples de résultats en Suisse

D'autres tests ont encore été effectués en Suisse pour l'évaluation de l'état hygiénique des eaux. Ils sont présentés ici brièvement:

Lors d'une campagne de mesure ayant eu lieu du 31 août au 1er septembre 1992, le service des eaux de la ville de Zurich a déterminé entre autres les concentrations de germes à la surface du lac de Zurich. L'après-midi du premier jour de mesure, un événement pluvial, (Zurich SMA: SP = 25,9 mm, $r_{\max} = 30 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) a influencé incontestablement les résultats de mesure. Avant cet événement pluvial, les concentrations maximales et moyennes de *E. coli* se sont élevées à 210 resp. 20 *E. coli*/100 ml. Après l'orage, les concentrations maximales et moyennes d'*E. coli* se situèrent à 7200 resp. 170 *E. coli*/100 ml.

Le canton de St-Gall a également examiné la qualité hygiénique de la Steinach et du lac de Constance dans la zone d'embouchure de la Steinach. Des concentrations de germes élevées ont été mesurées dans la Steinach aussi bien par temps sec que par temps de pluie. Les concentrations élevées de *E. coli* par temps sec peuvent être expliquées par la grande part d'eaux usées traitées constituant la Steinach et pouvant s'élever à 80% du débit total. Une comparaison des lieux de mesure en aval et en amont du rejet de la station d'épuration (STEP Hofen) révèle une nette augmentation des concentrations de *E. coli*.

Les plages du lac Léman sont également contrôlées régulièrement quant à leur qualité hygiénique. Les résultats peuvent être consultés sur la page Web de la Commission Internationale pour la protection du lac Léman CIPEL (www.cipel.org).

Bilan: Données nécessaires à l'évaluation de la situation par temps de pluie

Les exemples suisses de contrôles hygiéniques de routine ont révélé que ces examens effectués par les laboratoires cantonaux sont difficilement interprétables en relation avec

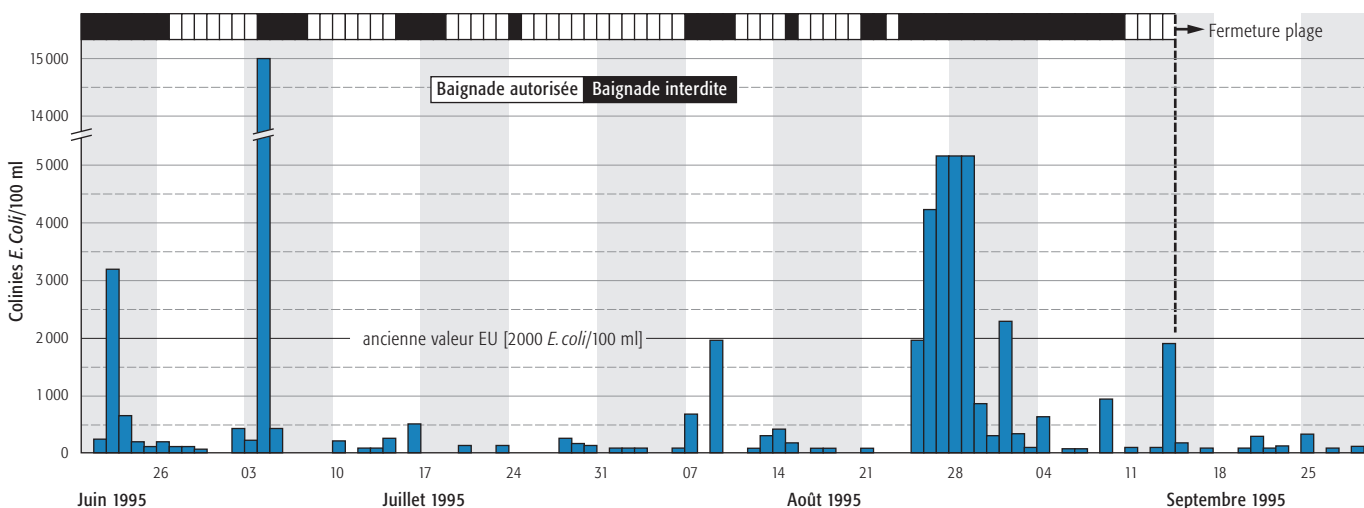


Figure 3: Essai du dispositif d'alarme pour la contamination de *E. coli* à la plage de Langenargen pendant la saison balnéaire 1995 du 20 juin au 15 septembre 1995.

l'assainissement par temps de pluie. Les contrôles effectués par des échantillons prélevés au hasard, partiellement à intervalles réguliers, ne s'avèrent pas optimaux pour une interprétation spécifique en temps de pluie. Ces contrôles routiniers ne suffisent pas à nos objectifs, étant donné que la répartition en 4 classes de qualité (A, B, C et D) représente une perte d'information. Une utilisation directe des concentrations d'*E. coli* et de salmonelles pourrait permettre une meilleure interprétation. En outre, l'utilisation des hauteurs de précipitations cumulées sur 3 jours n'est pas toujours optimale en tant que base destinée à une évaluation. Il s'agit avant tout d'un compromis en l'absence d'informations relatives au comportement des réseaux d'assainissement par temps de pluie.

A l'avenir, le risque lié à l'utilisation des eaux pour des activités récréatives doit être mieux évalué. Ce risque est notamment lié aux déversoirs d'orage des réseaux unitaires et aux déversements d'eaux de ruissellement. Des informations spécifiques aux temps de pluie devront être relevées en cas de soupçon. Ce sont:

- ▶ Les volumes et la durée des déversements,
- ▶ les concentrations de *E. coli* dans le déversement (si possible à réaliser),
- ▶ l'évolution temporelle de la concentration en *E. coli* dans les eaux,
- ▶ les conditions locales: localisation des déversements et des lieux de baignades,
- ▶ dans le cas de cours d'eau: le débit,
- ▶ dans le cas de lacs: la température du rejet pluvial et le profil de température du lac,
- ▶ pour les lacs et les cours d'eau: év. les conditions de courant et le degré de dilution du rejet.

Évaluation et résolution des problèmes hygiéniques

L'évaluation de l'influence de l'assainissement par temps de pluie, par rapport aux problèmes hygiéniques dans les eaux superficielles, nécessite la collaboration de différents acteurs: le chimiste cantonal resp. les pouvoirs publics cantonaux (service des eaux, laboratoire cantonal et év. médecin cantonal), la commune et l'ingénieur. L'évaluation et la résolution des problèmes hygiéniques peuvent se dérouler selon les 9 étapes du schéma général suivant:

- 1) Contrôles routiniers de la qualité hygiénique selon les «Recommandations pour l'évaluation de la qualité hygiénique des eaux de baignade de lacs et de rivières» [3] par le chimiste cantonal ou le laboratoire cantonal. Ces examens suscitent-ils un problème?
- 2) Clarification des exigences d'utilisation locales par l'ingénieur. Une piscine ou un lieu utilisé généralement pour la baignade se situe-t-il dans la zone d'influence de déversements d'eau usée mixte ou d'eau de ruissellement de réseau séparatif d'assainissement (pour de plus amples informations sur la zone d'influence cf. [1])?

- 3) Estimation par l'ingénieur des atteintes hygiéniques importantes dues à l'assainissement en temps de pluie. Estimation des volumes déversés, de la fréquence de déversement, etc.
- 4) Échange d'informations entre les services publics cantonaux (service pour la protection des eaux, laboratoire cantonal) et l'ingénieur pour clarifier l'existence d'un soupçon d'atteintes hygiéniques. En cas de soupçon, c.-à-d. si les étapes 1) à 3) devaient soulever un problème éventuel, les causes devraient être clarifiées. Les déversoirs d'orage sont-ils responsables?
- 5) Les services publics cantonaux (laboratoire cantonal, év. médecin cantonal), décident de la nécessité d'examens ciblés. Dans l'affirmative, ils décident en outre si les examens doivent être spécifiquement effectués par temps de pluie.
- 6) L'évaluation et interprétation des résultats de l'atteinte hygiénique par l'ingénieur.
- 7) Décision sur le besoin de mettre en place des mesures en collaboration avec les services publics cantonaux (service pour la protection des eaux, laboratoire cantonal), la commune concernée et l'ingénieur.
- 8) Élaboration des variantes de mesures techniques possibles ainsi que leur évaluation financière par l'ingénieur.
- 9) Décision par la commune (concernée par le projet) et les services publics cantonaux (service pour la protection des eaux, laboratoire cantonal).

Mesures techniques envisageables

La résolution des problèmes hygiéniques dans les eaux n'est pas banale: en raison des concentrations de germes élevées dans les eaux déversées ($\sim 10^4$ – 10^7 *E. coli*/100 ml), un déversoir pluvial – tout au moins dans le voisinage du déversement – engendre inévitablement un problème hygiénique. Les déversements ne sont pas entièrement évitables avec des mesures comme l'infiltration des eaux de ruissellement, rétention des eaux pluviales, optimisation de la rétention dans le réseau d'assainissement, suppression des eaux claires parasites etc. Ces mesures, pourtant, contribuent à diminuer les quantités et les fréquences de débordement, évitant ainsi également des états hygiéniques critiques dans les eaux. En complément à ces mesures générales, il existe d'autres mesures plus spécifiques aux problèmes, pouvant être divisées en 3 catégories: les mesures opérationnelles, constructives et les processus techniques.

Les *mesures opérationnelles* comprennent, par exemple, l'information du public, les avertissements et les interdictions de baignade. Le système d'avertissement pour la contamination par *E. coli* de Langenargen au bord du lac de Constance présenté dans le chapitre «Lac de Constance aux abords de Langenargen», illustre un exemple de mesure opérationnelle.

Les *mesures constructives* prennent en compte par exemple le transfert du déversoir d'orage à un endroit plus favorable

si bien que la mise en danger de l'utilisation des eaux pour les activités récréatives soit diminuée ou éliminée. L'assainissement des déversoirs d'orage défectueux, c.-à-d. se mettant en fonction prématurément, appartient également aux mesures constructives. Exemples pratiques d'application de ce type de mesure: Au voisinage du Moossee dans le canton de Berne, l'assainissement des déversoirs d'orage défectueux a été proposé pour améliorer la situation hygiénique. Une autre mesure constructive particulière a été mise en place: il s'agit de la construction d'un seuil à la sortie du Moossee pour éviter l'influence d'un déversoir d'orage situé en aval conduisant à un reflux dans le lac.

Les *processus techniques* sont des installations destinées à l'élimination des germes au niveau du déversoir comme les installations de désinfection (chlore, ozone, rayons UV [17]) ou de filtration (rétention par filtration, filtre de sable etc.). Aux USA, la désinfection relève des objectifs généraux pour le traitement des déversoirs d'orage. En raison de la teneur élevée en matières solides et en matières organiques biodégradables dans les eaux de déversoirs d'orage, les conditions de désinfection ne sont toutefois pas optimales. Une désinfection UV est en effet optimale dans un médium le plus limpide possible. L'ozone et le chlore désinfectent non seulement les agents pathogènes dans les eaux pluviales, mais sont aussi consommés lors de l'oxydation des matières organiques biodégradables. Cela exige un dosage élevé, de plus, difficilement contrôlable. Le fait que l'ozone ou le chlore soit mal adapté à l'élimination des protozoaires ou des spores bactériennes, constitue un autre désavantage de la désinfection. La même remarque s'applique aux UV par rapport aux virus.

En résumé, étant donné que la désinfection (si c'est le cas) n'est nécessaire que pendant la saison balnéaire, ce type de mesure doit être minutieusement examiné avant implémentation. Contrairement à la désinfection, les installations de filtration se prêtent non seulement à l'amélioration de la situation hygiénique, mais également à la réduction d'autres problèmes pour d'autres substances (matières totales non dissoutes et les substances adsorbées) et des problèmes hydrauliques, au cas où un volume de rétention est prévu.

Les mesures constructives et les processus techniques sont très coûteux et doivent par conséquent être examinés de manière détaillée avant leur implémentation. Ceci nécessite une étude minutieuse de la proportionnalité entre les coûts (investissement, fonctionnement) et le bénéfice attendu (rendement, amélioration de la qualité bactériologique, etc.).

Conclusions

En Suisse, la qualité hygiénique des eaux de baignade n'est actuellement pas encore prise en compte en relation avec l'assainissement urbain par temps de pluie, en particulier les déversoirs unitaires. Ainsi l'objectif de cette publication consiste à sensibiliser les acteurs de la protection des eaux aux atteintes hygiéniques des eaux de surface dues à l'assainisse-

Remerciements

Nous exprimons ici nos vifs remerciements à messieurs H. Schudel (AG), U. Ochsenbein (BE), E. Baer (BE), M. Eugster (SG) et Mme S. Leumann (SG) pour avoir mis leurs informations et leurs données à notre disposition et ainsi permis cette publication.

ment par temps de pluie. Il s'agit également de leur mettre à disposition les outils nécessaires à l'évaluation et à la résolution de cette problématique. Au moyen des exemples présentés, l'importance des déversoirs d'orage sur l'hygiène des eaux de baignade a pu être mise en évidence. De plus, les paramètres nécessaires à une évaluation du problème ont été définis. Le schéma général en 9 étapes pour l'évaluation et la résolution des problèmes hygiéniques représente un cheminement possible, permettant de reconnaître et d'évaluer les atteintes hygiéniques ainsi que leur traitement au moyen des mesures possibles présentées.

Littérature

- [1] Krejci V., Frutiger A., Kreikenbaum S. und Rossi L. (2005): Project «STORM: Assainissement par temps de pluie» – Impacts des rejets pluviaux urbains par temps de pluie. Brochure disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [2] Güde H., Eckenfels S., Palmer A., Fitz S., Pietruske J., McTaggart K., Haibel B. und Setzer T. (2001): Erfassung und Bewertung von Eintragswegen für die Belastungen mit Fäkalkeimen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (Bodenseekreis). Abschlussbericht des BW Plus Projektes PAÖ 97008. Langenargen.
- [3] Office fédéral de la santé publique, Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage, Association des chimistes cantonaux de Suisse, Association des médecins cantonaux de Suisse (1990). Recommandations pour l'évaluation de la qualité hygiénique des eaux de baignade de lacs et de rivières. 29 pp.
- [4] Wührer C. (1995): Die fäkale Belastung der Schussen und ihr Einfluss auf den mündungsnahen Flachwasserbereich im Bodensee. Dissertation, Ludwig-Maximilian-Universität, München.
- [5] Fair G.M. und Geyer J.C. (1961): Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Grundlagen, Technik und Wirtschaft. Verlag R. Oldenbourg, München.
- [6] Schindler P. (2002): Überwachung der Badegewässer in Südbayern unter Berücksichtigung aktueller Krankheitserreger. In «Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht.» (Hrsg. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft). Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 55: S. 41–60.
- [7] Medema G.J., Bahar M., and Schets F.M. (1997): Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, and *Clostridium perfringens* in river water. Influence of river water and autochthonous microorganisms. Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 11–12, pp 249–252.
- [8] Schleupen E. (1996): *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* – Literaturrecherche. GWF Wasser/Abwasser 137, S. 83–93.
- [9] OEaux: Ordonnance sur la protection des eaux (1998): État au 6 mars 2001 (RS 814.201).
- [10] Rossi L., Krejci V., Kreikenbaum S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen; in: Projekt «STORM» Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Gas-Wasser-Abwasser, Nr.6/2004, p.431–438. Titre français: «Exigences légales en matière d'assainissement par temps de pluie», disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [11] Conseil des communautés européennes (1975): Directive 76/160/CEE du Conseil, du 8 décembre 1975 concernant la qualité des eaux de baignade.

- [12] Commission des communautés européennes (2002): Proposition de directive du parlement européen et du conseil concernant la qualité des eaux de baignade, 2002/0254 (COD), Bruxelles.
- [13] Zaglauer A. (2003): Belastung von Oberflächengewässern durch Wasservögel: in «Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht.» (Hrsg. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft). Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 55: S. 83–104.
- [14] Güde H., Miller G., Vogel H.J. (2003): Massnahmenkonzepte zur Reduzierung der Belastung mit Fäkalkeimen am Bodensee: in «Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht.» (Hrsg. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft). Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 55: S. 205–224.
- [15] Makepeace D.K., Smith D.W., Stanley S.J. (1995): Urban Stormwater Quality: Summary of Contaminant Data. Wat.Sci.Tech., Vol. 25, No. 2, pp 93–139.
- [16] Ochsenbein U., Halvax M., Völgy P., Bähler A., Haltmeier T., Schnell G.R., Ruch H. (1992): Bakteriologische Untersuchung verschiedener Kläranlagen in der Region Bern–Thun im Hinblick auf die Nutzung der Aare als Badegewässer. Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.
- [17] U.S. EPA (1993): Combined Sewer Overflow Control Manual. Washington D.C. EPA 625/R-93-007.

Impressum

Cette étude a été initiée par l'office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et par l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG). Elle est présentée sous la forme du projet «STORM: Assainissement par temps de pluie».

© EAWAG, BUWAL (2004)

Responsable de projet:

Vladimir Krejci, Dr. sc. tech.

Collaborateurs

Rolf Fankhauser, Dr. phil.

Andreas Frutiger, Dr. sc. nat.

Simon Kreikenbaum, Dipl. Ing. ETH

Luca Rossi, Dr. sc. tech.

Le projet STORM a été suivi par un groupe d'experts:

Erwin Bieri, OFEFP

Prof. Dr. Markus Boller, EAWAG

Patrick Fischer, OFEFP

Prof. Dr. Willi Gujer, ETHZ et EAWAG

Rolf Lüdi, OFEFP

Prof. Dr. Wolfgang Rauch, Universität Innsbruck

Kurt Suter, VSA und Baudepartement des Kantons Aargau

Traduction

Daniel Eschmann, Luca Rossi

Layout

Peter Nadler, Küssnacht

Graphisme

Lydia Zweifel

Commande

EAWAG, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf

http://www.eawag.ch/publications/d_index.html
