Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 82 (1990)
Heft: 3-4

Artikel: Abflussmessung in offenen Gerinnen
Autor: Luder, Bernhard / Fritschi, Bruno
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939780

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: 13.07.2025

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

Abflussmessung in offenen Gerinnen

Renaissance der Salzverdünnung

Bernhard Luder, Bruno Fritschi

Zusammenfassung

Im Feldmesswesen wird es mit der rechnergesteuerten Messtechnik möglich, die Verfahrenstechnik gängiger Messmethoden neu zu konzipieren. Für die rechnergesteuerte Salzverdünnungsmessung werden die Entwicklungsgeschichte und der heutige Stand dargestellt. Vergleichsmessungen umschreiben die Erwartungen, die man an diese Messsysteme stellen darf.

1. Einleitung

Abflussverdünnungsmessungen in offenen Gerinnen werden seit Anfang Jahrhundert operationell durchgeführt. Im Laufe der Zeit konnte die nötige Menge Markierstoff durch den Wechsel des Tracers von Kochsalz über Natriumbichromat zu Amidorhodamin drastisch verringert werden. Dadurch wurden auch die Einspritzapparaturen kleiner, und es konnten grössere Abflussmengen gemessen werden. Einen Überblick vermittelt Tabelle 1.

Trotzdem kommt man heute für gewisse Fragestellungen wieder auf die Salzverdünnung zurück, denn dank der Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronik konnten für deren Anwendung neue Wege eingeschlagen werden. Dieselben Erfolge darf man sich in Zukunft auch für die Fluoreszenztracer erhoffen. Die Bichromat-Messung ist hingegen wegen mangelnder Umweltverträglichkeit des 6wertigen Chroms heute nicht mehr aktuell [2].

2. Rückblick

Die erste Verdünnungsmessung wurde 1863 durchgeführt: In ein Wasserreservoir wurde eine bekannte Menge Kochsalz geschüttet, gut gerührt, dann in einer Wasserprobe der Salzgehalt bestimmt und so das Gesamtvolumen des Reservoirs unregelmässiger Hohlform bestimmt [2]. Anfang dieses Jahrhunderts wurde für die Bestimmung von Wirkungsgraden von Turbinen die Methode der konstanten Einspritzung entwickelt [2]. Aber auch die Integrationsmethode wurde praktiziert, wobei zum Teil beachtliche Mengen Salz eingesetzt werden mussten (Tabelle 1). Die eigentliche Integration wurde «mechanisch» durchgeführt, indem während des ganzen Durchganges der Salzwolke mit einer konstanten Fördermenge Wasser in ein Auffanggefäss gepumpt wurde. Aus dem Salzgehalt dieses Mischwassers und der Pumpzeit konnte auf den Abfluss geschlossen werden. Bei dieser ebenso einfachen wie eleganten Verfahrenstechnik können aber leider die Durchmischungsverhältnisse nur ungenügend überblickt werden. Für die Integrationsmessung konnten später Leitfähigkeitsmessgeräte eingesetzt werden, die Salzkonzentrationen wurden mit einer Eichbeziehung über den Umweg der Konduktometrie bestimmt [3]. Damit direkt im Feld Resultate vorliegen, wurden später für die Auswertung Kleinrechner eingesetzt. In einer ersten Phase beschränkte man sich darauf, die Messwerte ab dem Leitfähigkeitsmessgerät «on-line» abzulesen und ab einem Zwischenprotokoll in einen programmierbaren Rechner einzutippen [4]. In einem zweiten Schritt wurde das Leitfähigkeitsmessgerät über einen Analog-Digital-Wandler direkt mit dem Rechner verbunden [5]. Die konsequente Weiterentwicklung dieser ersten rechnergesteuerten Anlage führte schliesslich 1986 zu einem Gerät, das direkt im Feld zusätzlich einen hochauflösenden Plot liefert [6]. Damit können verschiedene Randbedingungen besser überprüft werden, so dass die oben geäusserten Vorbehalte bezüglich Überblickbarkeit der Durchmischung weitgehend entfallen.

Tabelle 1. Verdünnungsmessungen im Überblick

verwendeter Tracer	notwendige Tracermenge	obere Grenze der Anwendung der Methode	Literatur (Quelle)
Salz (früher)	10 kg/(m³/s)	etwa 10 m³/s	[1]
Salz (heute)	2 bis 5 kg/(m³/s)	etwa 10 m³/s	[6], [7]
Natriumbichromat	1 kg/(m³/s)	etwa 50 m³/s	[1], [2]
Amidorhodamin	0,01 kg/(m³/s)	etwa 100 m³/s	[1]

3. Heutiger Stand

Die Messgeräte wurden nach den Bedürfnissen der Anwender weiterentwickelt. Mit der Berechnung von Schwerpunkt und 50%-Quantil der Tracerwolke können nun auch Fliesszeiten und daraus Fliessgeschwindigkeiten ermittelt werden. Es stehen für verschiedene Ansprüche verschieden konzipierte Geräte zur Verfügung, dabei wurde von den heutigen technischen Möglichkeiten Gebrauch gemacht (Programme auf EPROMs, vollprogrammierte Schnittstelle RS 232 zu Personalcomputern usw.). Als Beispiel sei ein von den Autoren für die Ansprüche der Sektion Hydrologie der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) entwickeltes Gerät vorgestellt [7]:

Das Messgerät besteht aus einem Leitfähigkeitsmessgerät WTW LF 91 und einem Feldlogger «Squirrel», der die temperaturkompensierten Leitfähigkeitswerte als 12-Bit-Werte speichert. Die 3,5 kg schwere Messeinrichtung wurde in einem handlichen Umhängekoffer der Masse 30 × 25 × 10 cm mit durchsichtigem Deckel angeordnet (Bild 1). Der Allwettertauglichkeit wurde grosse Aufmerksamkeit geschenkt, denn gemäss den heutigen Fragestellungen sind es gerade Hochwasser mit entsprechend extremem Verlauf der Witterung, die von grossem Interesse sind. So kann das Messgerät gestartet werden, ohne dass man den Schutzdeckel öffnen muss. Eine Messung kann durch ein äusseres Signal ausgelöst werden. Gegenwärtig wird von der WSL eine Einspritzapparatur entwickelt, damit in Abhängigkeit von extremen Pegelständen Hochwasserabflussmessungen automatisch ausgelöst werden können. Ohne Zwischenauswertung können so bis zu 10 Abflusswerte bestimmt werden. Die ganze Messanlage verfügt über Anschlussmöglichkeiten für insgesamt vier Leitfähigkeitsmessgeräte, womit in Mehrkanalmessungen (Messung von Längs- und Querprofilen) die Durchmischungsverhältnisse analysiert werden können. Daraus erhofft man Aufschlüsse über Durchmischung sowie Wahl des Eingabe- und Messstandortes zu erhalten. Für die Auswertung werden die Daten über die Schnittstelle RS 232 auf einen SHARP-Rechner überspielt, dies ebenfalls im Feld oder wenn nötig an einem wettergeschützten Standort. Kernstück der ganzen Anlage ist eine in BASIC und Maschinensprache geschriebene Software, die den Datentransfer vom Feldlogger zum Rechner steuert, die Urdatenmenge nach Kanälen sortiert und für jeden Kanal eine Auswertung durchführt. Wenige Minuten nach dem Ende der Messung liegt ein Messprotokoll im Format DIN A5 vor (Bild 1). Mit der implementierten Software kann auch die jeweils verwendete Salzlösung geeicht werden. Sowohl die Messeinrichtung wie auch der Auswerterechner arbeiten netzunabhängig, sie können auch über

MESSPROTOKOLL 29. 1.88 16h 33 EAFU BIRMENSDORF, HYDROLOGIE

GEWAESSER	: ERLENBACH	START :	26. 1. 88 13h 46min 0sec
MESSSTELLE	: WALDHUETTE	STOPP :	26. 1. 88 13h 57min 1sec
SQUIRREL KANAL	: 5	DAUER :	661 sec 0h 11min 1sec
MESSUNG	: FRITSCHI/LUDER	ANZAHL MESSUNGEN :	662
DATENFILE	: EW580126.134		
		ANFANGSLEITFAEHIGKEIT :	223.8 uS/cm
PEGELSTAND	: 25.00 cm	ENDLEITFAEHIGKEIT :	224.2 uS/cm
WASSERTEMPERATUR	: 3.4 °C	GRUNDLEITFAEHIGKEIT :	224.0 uS/cm
DISTANZ	: 75 m	MAXIMALE LEITFAEHIGK. :	325.9 uS/cm
TRACER (SALZ)	: 0.04200 kg		
BESCHICKUNG	: 4.5 g/(l/sec)	SCHWERPUNKT :	252.5 sec
EICHKOEFFIZIENT	: 0.485276	ABFLUSS :	9.30 l/sec

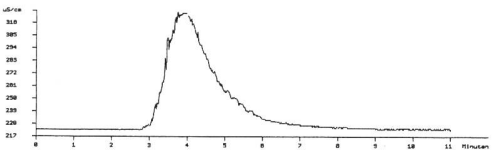

Bild 1. Beispiel eines Messprotokolls.

eine Autobatterie oder ein Solarpanel betrieben werden; die eingebauten Akkumulatoren können am Netz aufgeladen werden.

4. Vergleichsmessungen

Heute wird die rechnergesteuerte Salzverdünnungsmessung schon vielerorts angewandt. Die Messeinrichtungen sind vornehmlich im Alpenraum und in Berggegenden von Dritt-Welt-Ländern im Einsatz. Die Erfahrung liegt heute noch bei einzelnen Anwendern; publizierte Vergleichsmessungen sind erst wenige verfügbar [5], [7]:

Benischke und *Harum* [5] beziffern die mittleren Abweichungen zwischen Flügel- und Integrationsmessung mit 2,4%, wobei die Abflussmengen alle an verschiedenen voll ausgebauten Messgerinnen bestimmt wurden, bei denen für beide Methoden gute Messbedingungen bestanden. An einem vollausgebauten Pegel-Rechteckprofil konnten diese Autoren mit neun Integrations- und zwei Flügelmessungen eine *P/Q*-Beziehung aufstellen, bei der die mittlere Abweichung einer Einzelmessung 2,6% von der angepassten gerechneten Kurve abweicht. Dabei sorgten obenliegende Gefällsstufen für gute Durchmischung für die Integration. Ein laminares Fliessen im Bereich des Flügelmessprofils brachte gute Messbedingungen für den Flügel. Bei unausgebauten Naturprofilen schätzten die Autoren die Differenzen zwischen Flügel- und Integrationsmessung hingegen auf 20%, wobei der Integration mehr Vertrauen geschenkt wird, weil in Naturprofilen die Bedingungen für den Flügel ungünstig sind.

Die Resultate verschiedener Tests mit dem Abflussmessgerät nach Bild 1 wurden einer Fehlerbetrachtung unterzogen [7]. Vergleichsmessungen zwischen der Integrationsmethode und der konstanten Beschickung mit Bichromat ergaben einen mittleren Fehler von 7,6%. Es wurde dabei angenommen, dass die Resultate der konstanten Beschikkung die wahren Werte seien.

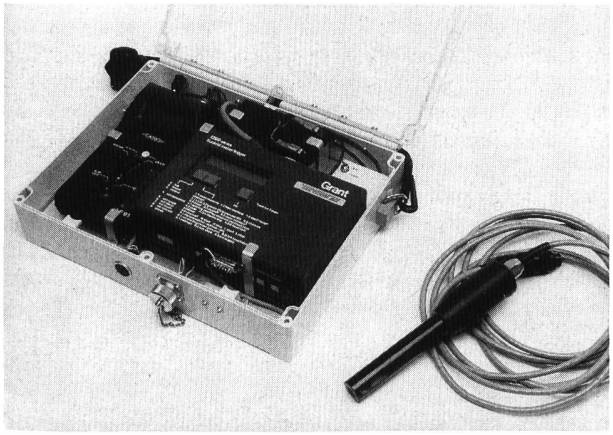

Bild 2. Das Abflussmessgerät mit Leitfähigkeitssonde.

Zwei einfache, auf den ersten Blick unscheinbare Experimente sind es wert, hier noch erwähnt zu werden [7]:

- An der Messstation Erlenbach im Alptal (SZ) ist eine Niederwasserrinne eingebaut. Dort können Abflüsse bis zu 10 l/s mit einem Fass à 136 l und einer Stoppuhr sehr genau gemessen werden. Bei Vergleichsmessungen mit der Integrationsmethode traten Differenzen von maximal 0,4% auf. Wegen der Einfachheit und Glaubwürdigkeit der volumetrischen Messung vermögen diese Resultate zu überzeugen.
- Aus den Resultaten von 14 Doppelmessungen in mehreren Gerinnen, bei denen zwei Sonden zur gleichen Zeit im gleichen Gerinne an benachbarten Stellen die gleiche Salzwolke messen, wurde fehlertheoretisch die «innere Genauigkeit» der Messanordnung nach Bild 1 zu 1,7% ermittelt.

5. Probleme

Die Doppelmessungen zeigen, dass die Probleme der Verdünnungsmessung heute nicht mehr auf der Seite der Geräte, sondern vielmehr im Problemkreis «vollständige Durchmischung» zu suchen sind. Ist wie bei den Vergleichsmessungen mit der volumetrischen Methode die Durchmischung vollständig, darf man mit guten Resultaten rechnen. Im Bereich Einspeisung und Eichbeziehung scheinen die Probleme heute gelöst. Der Salzeinsatz kann wegen der hohen Messempfindlichkeit auf 2 bis 5 kg/(m^3/s) gesenkt werden (Tabelle 1). Ein Eichprotokoll liefert einen genauen Überblick über die Eichung, allfällige Verfahrensfehler während der Eichung können sofort erkannt werden. Die Eichtitrierung kann im Labor oder im Feld mit einfachen Glaspipetten, aber auch mit etwas komfortableren Titrierautomaten durchgeführt werden [4].

Die Durchmischung im Gerinne ist abhängig von der Fliessart, die ja nach Wasserführung in verschiedenen Abstufungen von laminar bis turbulent sein kann. Bei jeder neuen Messstelle stellt sich die Frage, wie gross man die Durchmischungsstrecke wählen soll, welches die bestmöglichen Orte für die Einspeisung und die Messung sind und ob eine vollständige Durchmischung erreicht werden kann. In manchen Fällen kann ein Vorversuch mit Fluoreszenztracern hilfreich sein. In die Überlegungen müssen auch Umläufe, Schwellen, Kolke sowie augenfällige oder diffuse Zu- und Abflüsse im Bereich der Durchmischungsstrecke und andere besondere Charakteristiken des Gerinneabschnittes einbezogen werden. Der Messende muss sich eingehend und kritisch mit der Methode und den erzielten Resultaten auseinandersetzen und sich ein Erfahrungswissen aneignen.

Mit dem hier erwähnten Mehrsondengerät (Bild 2) liegt heute ein geeignetes Instrumentarium vor, um die geschilderten Probleme gezielt anzugehen.

6. Ausblick

Die Grenzen der Anwendbarkeit werden in erster Linie durch die Durchmischung und die zu messende Wassermenge bestimmt. Als Nachteil muss der grosse Salzeinsatz angeführt werden (Tabelle 1). Er konnte zwar wie erwähnt auf 2 bis 5 kg/(m^3/s) gesenkt werden, für reine Fliesszeitenmessungen genügen sogar nur 1 kg/(m^3/s). Es wurden schon Abflussmengen bis zu 14 m^3/s gemessen [5], ab etwa 10 m^3/s ergeben sich aber mit zunehmendem Abfluss erhöhte Aufwendungen für den Transport und die Einspeisung. Das heisst, die Methode ist operationell nur an kleineren Gerinnen durchführbar. Aber gerade bei kleinen bis

mittelgrossen Einzugsgebieten von 1 bis 120 km² bestehen zumindest in der Schweiz Kenntnislücken [8]. Kommende klassisch hydrologische Untersuchungen über natürliche unbeeinflusste Abflussmengen und über den Abflussbildungsprozess schlechthin werden ebenfalls in Klein- bis Kleinsteinzugsgebieten stattfinden.

Für die in Zukunft zu erwartenden Aufgaben rund um die Restwasserproblematik stellt die Salzverdünnung ein mögliches Mess- und Kontrollverfahren dar. Es taucht dabei immer wieder die Frage auf, ob auf der Restwasserstrecke Wasser an einen untenliegenden Grund- oder Karstwasserkörper abgeht. Dies konnte zum Beispiel für die Restwasserstrecke der Kander zwischen Kandersteg und Kandergrund mit zwei Abflussmessgeräten nachgewiesen werden [10]. Die Wasserverluste an den Grundwasserkörper, der später den Blausee speist, betragen 20 bis 25%.

Mittelfristig darf man hoffen, dass die Industrie netzunabhängige tragbare Fluorometer herstellen wird. Das Leitfähigkeitsmessgerät würde durch ein solches Fluorometer ersetzt. Auf der Auswerteseite käme die schon heute eingesetzte Anordnung mit kleinen Anpassungen der Software zum Einsatz. Durch den Einsatz eines Fluoreszenztracers könnten nicht nur die Tracermengen drastisch verringert werden (Tabelle 1), es gäbe auch die Möglichkeit, die beiden Tracerverdünnungsmethoden zu kombinieren und bei einer konstanten Einspeisung zusätzlich eine Integration durchzurechnen. Die heutigen In-situ-Fluorometer (z.B. Variosens-Filterfluorometer [9]) sind leider noch zu wartungsintensiv und zu schwer.

Die rechnergesteuerte Salzverdünnungsmessung kann für viele hydrologische Fragestellungen eingesetzt werden. Vielfach stellt sie eine echte Alternative zu den herkömmlichen Messmethoden dar. Dies vor allem in kleineren Gebirgseinzugsgebieten, wo einerseits genügend Turbulenzen vorhanden sind, andererseits die zu erwartenden Abflüsse im Messbereich der Geräte sind, aber auch überall dort, wo hydrometrische Einrichtungen nicht vorhanden und bauliche Massnahmen unerschwinglich oder unmöglich sind und in einer Kampagne ein erster Überblick gewonnen werden muss, wie zum Beispiel in Projekten in der Entwicklungszusammenarbeit. Noch sind zurzeit zu wenig Vergleichsmessungen verfügbar, und der Austausch von Erfahrungen ist ungenügend. Breit abgestützte Messkampagnen könnten der rechnergesteuerten Salzverdünnungsmessung zum endgültigen Durchbruch verhelfen.

Dank

Die Autoren danken *H. Burch* (WSL) für die statistische Auswertung der Messresultate und Dr. *H. Keller* (WSL) für die Leitung der Arbeiten rund um die Realisation des Gerätes nach Bild 1.

Literatur

[1] Landeshydrologie, 1982: Mitteilung Nr. 4, Handbuch für die Abflussmessung, Seiten 79–89 (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern).
[2] *Sigrist B.*, in Landeshydrologie 1988: Mitteilung Nr. 9, 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz. Entwicklung der Messgeräte, S. 25–35 (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern).
[3] *Rommel K.*, 1980: Die kleine Leitfähigkeitsfibel. Einführung in die Konduktometrie für Praktiker. Wissenschaftlich-technische Werkstätten GmbH, D-8120 Weilheim i. OB, Selbstverlag.
[4] *Storchenegger I., Kern J.*, 1987: Abflussmessung mittels Salzverdünnung. Manual. Institut für Kulturtechnik der ETH Zürich, Abteilung Wasser und Boden.
[5] *Benischke R., Harum T.*, 1984: Computergesteuerte Abflussmessungen in offenen Gerinnen nach der Tracerverdünnungsmethode (Integrationsverfahren). In Steir'sche Beiträge zur Hydrogeologie 36, Graz, Seiten 127–137.
[6] *Luder B.*, 1986: Ein Messgerät zur Bestimmung des Abflusses nach dem Verdünnungsverfahren. Hausarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern, Abteilung Gewässerkunde.
[7] *Luder B., Fritschi B.* und *Burch H.*, 1988: Abflussmessung nach dem Salzverdünnungsverfahren. Interner Hydrologie-Bericht, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf ZH.
[8] *Spreafico M.*, in Landeshydrologie 1988: Mitteilung Nr. 9, 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz. Hydrometrie heute und morgen, Seiten 123–151 (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern).
[9] *Petermann J.*, 1985: Weiterentwicklung der Messtechnik für fluoreszierende Tracer in Seen. Anwendungsbeispiele. Diplomarbeit Geographisches Institut der Universität Bern.
[10] *Geotest A.G.*, 1989: Hydrogeologische Untersuchungen für den weiteren Abbau des Steinbruches Blausee-Mitholz (Geotest A.G., Zollikofen BE, Bericht Nr. 88289, unveröffentlicht).

Adressen der Autoren: *Bernhard Luder*, Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern, und *Bruno Fritschi*, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, CH-8903 Birmensdorf.

Les directives pour la surveillance sanitaire des distributions d'eau

Pierre Burkard

L'eau revêt une importance primordiale dans notre alimentation, qu'elle soit directement consommée ou qu'elle serve à la cuisson des aliments, à la fabrication et à la préparation de denrées alimentaires ou au nettoyage des ustensiles entrant en contact avec celles-ci.

La consommation d'eau souillée peut être la cause d'affections ou de maladies graves, telles fièvres typhoïdes et parathyphoïdes, certaines dysenteries.

Quelle que soit son utilisation, l'eau de boisson doit répondre à des exigences de qualité bien précises, résumées aux articles 260 et 261 de l'Ordonnance sur les denrées alimentaires. Ces exigences sont de deux types:

- exigences relatives à la qualité bactériologique et chimique de l'eau de boisson. Ces exigences sont définies en détail dans deux ordonnances fédérales et dans le Manuel suisse des denrées alimentaires.
- exigences techniques concernant les ouvrages, les appareils et installations de captage, de traitement, de stockage et de distribution. La législation donne peu de détails, mais prévoit en revanche que ces ouvrages, appareils ou installations soient aménagés et entretenus conformément aux règles reconnues de la technique.

C'est au niveau de ces règles techniques qu'interviennent les associations professionnelles, telle la Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE), en éditant des directives ou normes fixant les exigences techniques auxquelles les installations doivent souscrire.

Au plan de l'hygiène, les Directives pour la surveillance sanitaire des distributions d'eau (W1) de la SSIGE sont de loin les plus importantes. L'ancienne édition de 1966 était principalement axée sur des contrôles de qualité. Cette qualité peut être fortement influencée par l'état d'entretien et le type d'exploitation des installations. En conséquence, la SSIGE a, dans la nouvelle édition de 1988, tenu à mettre à disposition des responsables et des exploitants de services de distribution d'eau un texte unique fixant non seulement les contrôles mais encore les mesures d'entretien devant être effectués pour assurer une qualité hygiénique irréprochable à l'eau de boisson distribuée à la population.

En regard de cette option, ces nouvelles directives traitent en détail successivement:

- de la surveillance des bassins d'alimentation et des zones de protection
- du contrôle et de l'entretien des installations, du captage au robinet du consommateur
- du contrôle de l'eau de boisson, en fixant, en fonction du nombre d'habitants alimentés, la fréquence d'échantil-