

# Gruppe der Schweizerischen Hydrogeologen : Tätigkeitsbericht für das Jahr 1979/80

Objekttyp: **AssociationNews**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **73 (1980)**

Heft 3

PDF erstellt am: **21.07.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

## Gruppe der Schweizerischen Hydrogeologen

### TÄTIGKEITSBERICHT FÜR DAS JAHR 1979/80

Am 4./5. Mai 1979 fanden in Sargans und im St. Galler Rheintal Frühjahrs-Exkursion und Generalversammlung statt. E. Weber (Maienfeld) erläutert im ersten Teil der Exkursion die Hydrogeologie der Therme von Pfäfers. Er weist auf die von verschiedenen Gutachtern durchgeführten Studien hin. Sie zeigen, dass neben dem eigentlichen Thermalwasserstrom - der Chemismus deutet auf eine Herkunft aus der Trias und dem Kristallin hin - auch die Sickerwässer aus dem hangenden Gebirgskörper mit die Quellen speisen. Erstaunlich sind der konstante Chemismus und die kaum schwankende Temperatur des Quellwassers (regelmässige Analysen seit 1952), dessen Tritium-Modellalter 10,5 J beträgt. Das  $O^{16}/O^{18}$ -Verhältnis weist auf eine Höhe des Einzugsgebietes von 1300 bis 1600 m hin. Ch. Emmenegger und A. Hagmann (Landeshydrologie Bern) zeigen anschliessend die Abflussmeßstation an der Tamina, die die zeitlich veränderlichen Pflichtwassermengen der St. Galler Kraftwerke registriert. Den zweiten Teil der Exkursion leiten drei Referate ein: M. Kobel (Sargans) schildert die Entstehung der Talgabelung von Sargans, den Einfluss der Saarmelioration auf die Grundwasserverhältnisse, die Hydrogeologie des Rheintals zwischen Bad Ragaz und Bodensee sowie die Bedeutung des Gebietes für die regionale Wasserversorgung. P. Nänny (EAWAG, Dübendorf) berichtet über die Grundwasserspiegel-Beobachtungen in Liechtenstein. Sie zeigen, dass parallel zur Vertiefung der Rheinsohle durch die Korrektur auch der Grundwasserspiegel um 1-2 m abgesunken ist. Die Rheininfiltation ging stark zurück. Während die quantitativen Beeinträchtigungen nicht schwerwiegend sind, bringen die qualitativen Veränderungen (vor allem Aufhärtung,  $O_2$ -Armut) viele Schwierigkeiten mit sich. Ch. Emmenegger (Landeshydrologie, Bern) weist auf den Aufbau eines hydrometrischen Beobachtungsnetzes hin, der vorerst wegen der Rheinkorrektur und dann wegen KW-Projekten nötig wurde. Ergänzt durch Qualitätsüberwachungsanlagen, dient dieses Netz heute auch als Katastrophenwarnanlage. Anschliessend werden auf der Exkursion, die über Fläsch, Balzers, Weite, Lienz bei Rüthi, Oberriet, Koblach nach Feldkirch führt, Probleme der Grundwasserprospektion, des Grundwasserschutzes, unter anderem im Bereich des Oleodotto del Rheno, des Kiesabbaus in Grundwasser-Nutzungsgebieten und einer Multikomponentendeponie diskutiert. Die Generalversammlung bestellt den Vorstand für die neue Amtsperiode wie folgt: R. V. Blau, Ostermundigen (Präsident); P. Nänny, Dübendorf (Vizepräsident); G. della Valle, Bern (Sekretär); B. Schindler, Prêles (Kassier); Beisitzer: Ch. Emmenegger, Freiburg; L. Kiraly, Neuenburg. Sie bedauert den Rücktritt von H. Schmassmann und dankt ihm für seine langjährige wertvolle Mitarbeit. An seine Stelle wird als Beisitzer gewählt: Th. Kempf, Geroldswil.

Am 23. November 1979 findet in Biel die Herbsttagung statt. Ein ausführlicher Bericht findet sich auf S. 906-917 dieses Heftes.

Die Arbeitsgruppe «Langfristige Grundwasserbeobachtung» hat, geleitet von G. della Valle, ihren Bericht abgeschlossen. Auf Wunsch des Bundesamtes für Umweltschutz sind noch einige ergänzende Fragen zu diskutieren, bevor die Arbeit veröffentlicht wird. Die Arbeitsgruppe «Hydrogeologische Bohrprofile», geleitet von P. Nänny, hat in einer Untergruppe Vorschläge für die Beschreibung hydrogeologischer Bohrprofile entworfen, die von der Gesamtgruppe noch gutgeheissen werden müssen. Ausgehend von den Diskussionen an der Herbsttagung 1979 über den Vergleich der Resultate von Markierversuchen und Bestimmungen von Modellaltern mit Isotopen, ist beschlossen worden, eine weitere Arbeitsgruppe zu bilden, die anhand einiger ausgewählter Beispiele die sich stellenden Fragen eingehender bespricht.

Beauftragt vom «Conseil scientifique du Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel» hat der Vorstand zur geplanten Erweiterung des «Centre d'hydrogéologie» Stellung genommen und dabei auch einige grundsätzliche Fragen zur Ausbildung der Hydrogeologen in der Schweiz angeschnitten.

Am 30. April verstarb Dr. B. Tröhler, Bremgarten-Bern. Wir verlieren in ihm ein seit vielen Jahren aktives Mitglied, dem wir ein ehrenvolles Andenken bewahren.

In der Berichtsperiode sind folgende Herren in die Gruppe neu aufgenommen worden: dipl. geol. Y. Degiacomi, Dr. J. P. Dorthe, dipl. geol. B. F. Iseli, dipl. geol. ETH, F. Matousek, Dr. J. Meia.

Ostermundigen, den 12. Mai 1980

Der Präsident:  
R. V. BLAU

## BERICHT ÜBER DIE HERBSTTAGUNG 1979

Am 23. November 1979 versammelten sich in Biel 42 Mitglieder der Schweizerischen Gruppe der Hydrogeologen zur Herbsttagung. Der Vormittag war mit drei Vorträgen der Markierung des Grundwassers mit Isotopen gewidmet; anschliessend führte eine Exkursion in die Vallée de Tavannes. Die folgenden Berichte, verfasst von den Vortragenden und dem Exkursionsführer, geben die wichtigsten Resultate wieder.

### 1. Zur Bestimmung der Verweilzeit des Grundwassers

J. MARTINEC, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch-Davos

#### *Verweilzeiten im hydrologischen Kreislauf*

Allgemein kann die durchschnittliche Verweilzeit  $t_r$  aus dem Wasservolumen  $V$  im gegebenen Medium und aus der Erneuerungsrate  $v_e$  berechnet werden:

$$t_r[\text{yr}] = \frac{V[\text{km}^3]}{v_e[\text{km}^3 \text{yr}^{-1}]}$$

Nach globalen Schätzungen (MARTINEC 1976) verweilt das Wasser in den Flussgerinnen (ohne Seen) durchschnittlich 12 Tage, in den Gletschern fast 10000 Jahre.

### *Markierung des Wassers durch Umweltisotope*

Dank der globalen Markierung des Niederschlagswassers durch Tritium, Sauerstoff-18, Deuterium und weitere Isotope können die Verweilzeiten des Grundwassers in hydrologischen Einzugsgebieten besser abgeschätzt werden. Die Niederschläge weisen Saisonschwankungen der Isotopenkonzentrationen auf. Für Tritium gibt es zusätzlich langfristige Variationen als Folge der thermonuklearen Explosionen. So kann das Niederschlagswasser in den Abflusskomponenten identifiziert werden.

### *Resultate aus drei Gebirgsgebieten Mitteleuropas*

Seit dem Jahr 1965 wurde in Zusammenarbeit mit der Internationalen Agentur für Atomenergie in Wien (DINÇER et al. 1970), mit den Universitäten Bern und Pisa (MARTINEC et al. 1974) sowie mit dem Institut für Radiohydrometrie in München (HERRMAN et al. 1978) vor allem der Schneeabfluss im Riesengebirge, in den bayrischen Voralpen und in den Schweizer Alpen untersucht. Folgende Erkenntnisse sind zu verzeichnen:

- a) Während der Schneeschmelze beträgt der Anteil des infiltrierten Wassers in diesen Repräsentativgebieten mehr als 60%, nur der Rest verlässt das Einzugsgebiet direkt. Trotzdem stimmt die Abflussmenge mit dem Gesamteintrag überein. Durch die massive Infiltration kommt eine entsprechende Grundwassermenge im Abfluss, d. h. im Bachgerinne, zum Vorschein.
- b) Aus der Tritium-Konzentration im winterlichen Basisabfluss ergeben sich mittlere Verweilzeiten des Grundwassers von 2,5 Jahren für ein kleines Einzugsgebiet (2,65 km<sup>2</sup>, 1000–1554 m ü.M.) und von 4 bis 4,5 Jahren für ein grösseres Einzugsgebiet (Dischma, 43,3 km<sup>2</sup>, 1668–3146 m ü. M.).
- c) Wenn die mittlere Verweilzeit und die Erneuerungsrate bekannt sind, kann mit der obenerwähnten Formel die Speicherkapazität des Grundwassers abgeschätzt werden.

### *Schlussbemerkungen*

Infolge der ungewissen Verteilung der Grundwassererneuerung auf die winterliche und sommerliche Jahreshälfte sowie der ungewissen Altersverteilung des Grundwassers ist die Genauigkeit der Resultate nicht ganz befriedigend. Darum werden die Untersuchungen fortgesetzt und weitere Isotope, z. B. <sup>85</sup>Kr, herangezogen.

Eine gründliche Verifizierung auch durch geophysikalische Methoden und Bohrungen, natürlich mit fortlaufenden systematischen hydrologischen Messungen, erscheint aus einem weiteren Grund erforderlich: Die bisherigen Ergebnisse deuten auf eine Revision der üblichen Abflusskonzepte hin.

## **2. Datierung von Grundwasser mit <sup>85</sup>Kr, <sup>39</sup>Ar und <sup>14</sup>C**

H. H. Loosli, A. Etzweiler und H. Oeschger,  
Physikalisches Institut der Universität Bern

In den letzten Jahren sind die in der Isotopenhydrologie gebräuchlichen Methoden (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) durch Einbezug neuer Isotope ergänzt worden. Man hofft

z. B., mit  $^{39}\text{Ar}$  und  $^{32}\text{Si}$  eine Datierungslücke im Bereich zwischen 50 und 1000 Jahren (zwischen  $^3\text{H}$  und  $^{14}\text{C}$ ) schliessen zu können oder den Datierungsbereich mit  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  und  $^{81}\text{Kr}$  über denjenigen von  $^{14}\text{C}$  (bis etwa 45 000 Jahre) ausdehnen zu können. Man versucht, auch zusätzliche Information für Modellanpassungen zu gewinnen, indem solche Isotopenmethoden kombiniert werden, deren Eintragsfunktionen wesentlich voneinander abweichen (z. B.  $^3\text{H}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ). Ferner kann die gleichzeitige Verwendung von Isotopen, welche sich im Untergrund verschieden verhalten, zu Aussagen über Vorgänge im Grundwasserleiter führen. So ist z. B. eine Kombination konservativer Tracer ( $^3\text{H}$ , D,  $\delta^{18}\text{O}$ , evtl. Edelgase) mit Isotopen, die im Aquifer Austauschprozessen unterworfen sind (Kohlenstoff-Isotope,  $^{32}\text{Si}$  usw.), vielversprechend.

Im folgenden sollen kurz einige ausgewählte Messresultate der Edelgasisotope  $^{85}\text{Kr}$  und  $^{39}\text{Ar}$  zusammengefasst werden. Für ausführlichere Darstellungen sei auf LOOSLI & OESCHGER (1979) verwiesen.

$^{85}\text{Kr}$  mit einer Halbwertszeit von 10,7 Jahren, das vor allem durch Wiederaufbereitungsanlagen von Kernbrennstoff in die Atmosphäre abgegeben wird, zeigte seit etwa 1950 einen ungefähr linearen Anstieg, im Gegensatz zu  $^3\text{H}$ , dessen Aktivität in den Niederschlägen seit etwa 1966 ungefähr konstant blieb. Als Ergänzung zu den langjährigen  $^3\text{H}$ -Messungen an der Funtenenquelle (SIEGENTHALER & SCHOTTERER 1977) und im Dischmatal (MARTINEC et al. 1974) wurden in der Schweiz nun erstmalig  $^{85}\text{Kr}$ -Messungen an diesen Quellen durchgeführt. Die ersten Ergebnisse ergeben für beide Quellen eine mittlere Aufenthaltsdauer, die mit den mit Hilfe von  $^3\text{H}$  gefundenen Werten gut übereinstimmt. Daraus kann geschlossen werden, dass es das für Rechnungen verwendete Exponentialmodell gestattet, die Altersverteilung dieser Wässer befriedigend zu beschreiben. Ferner zeigt sich dadurch, dass die Kombination von Isotopenmethoden mit verschiedenen Eintragsfunktionen zusätzliche Information über die Anwendungsmöglichkeiten der Modelle liefern kann.

Die ersten 20  $^{39}\text{Ar}$ -Resultate an ausgewählten Grundwasserproben dagegen können bisher noch nicht befriedigend interpretiert werden.  $^{39}\text{Ar}$  mit 269 Jahren Halbwertszeit wird in der Atmosphäre durch die kosmische Strahlung erzeugt. Die geringe spezifische  $^{39}\text{Ar}$ -Aktivität macht die Verwendung extrem empfindlicher Proportionalzähler notwendig.  $^{39}\text{Ar}$ -Altersbestimmungen an Eisproben bekannten Alters zeigen, dass mit diesem Isotop korrekte Alter bestimmt werden können. Ein Vergleich von  $^{39}\text{Ar}$ - und  $^{14}\text{C}$ -Modellaltern an Grundwässern führt jedoch zu enormen Diskrepanzen. Für ein Horizontalprofil eines abgeschlossenen Grundwasserleiters im Buntsandstein der Schwäbischen Alb steigen die  $^{14}\text{C}$ -«Alter» von etwa 500 Jahren bis über 25 000 Jahre, während für dieselben Proben  $^{39}\text{Ar}$ -«Alter» von <30 bis rund 700 Jahre gefunden werden. Mischung von Wässern verschiedenen Alters oder Gasdiffusion durch die Trennschicht des Grundwasserleiters allein scheinen die Diskrepanzen nicht erklären zu können. So müssen heute die beiden Möglichkeiten in Betracht gezogen werden, dass  $^{39}\text{Ar}$  unterirdisch erzeugt wird oder dass bei einigen Grundwässern die  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen durch Karbonataustausch mit der Matrix des Wasserleiters verändert werden.

Auf beide Erklärungsmöglichkeiten der  $^{14}\text{C}/^{39}\text{Ar}$ -Diskrepanz gibt es Hinweise. So haben wir z. B. im Thermalwasser von Zurzach eine  $^{39}\text{Ar}$ -Aktivität gefunden, die etwa viermal höher ist als die atmosphärische Konzentration, woraus auf unterirdi-



sche  $^{39}\text{Ar}$ -Produktion geschlossen werden muss. Bisher haben wir allerdings nur in diesem Thermalwasser aus dem Granit unterirdisch erzeugtes  $^{39}\text{Ar}$  nachgewiesen. Es gibt daneben aber auch Wässer, in denen eine allfällige unterirdische Produktion von  $^{39}\text{Ar}$  vernachlässigbar ist: Im Grundwasser aus dem Karst in der Nähe von Ingolstadt (BRD) haben wir an zwei Stellen kein  $^{39}\text{Ar}$  feststellen können ( $<7\%$  modern).

Auch die Grundlagen, auf welche sich die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungsmethode in der Hydrologie stützt, müssen kritisch untersucht werden. Aufgrund verschiedener Untersuchungen ( $^{14}\text{C}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ , z. T. in der Gesteinsmatrix gemessen) kann nicht ausgeschlossen werden, dass für gewisse Grundwässer ein Karbonataustausch zwischen Wasser und Grundwasserleiter die  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen stärker ändert, als man allgemein annimmt.

Zur Abklärung der  $^{14}\text{C}/^{39}\text{Ar}$ -Diskrepanz werden offenbar weitere Untersuchungen benötigt. Diese sind in drei Richtungen geplant: Weitere Multi-Isotopenstudien ( $^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ , Edelgase) sollen an ausgewählten Grundwässern unterschiedlicher Gesteinsformationen durchgeführt werden. Ferner sollen unterirdische Produktion von Isotopen und Austauschprozesse im Aquifer in Labor- und Feldversuchen untersucht und durch Berechnungen erfasst werden. Und schliesslich sind bei der Interpretation von Isotopendaten vermehrt chemische, hydrologische und geologische Resultate und Vorstellungen einzubeziehen.

### 3. Tritium- und $^{18}\text{O}$ -Variationen einiger Quellen im Schweizer Jura

U. Schotterer, Physikalisches Institut, Universität Bern

#### *Einleitung*

Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium ( $^3\text{H}$ , Halbwertszeit 12,3 Jahre) und das stabile Sauerstoffisotop  $^{18}\text{O}$  (Häufigkeit  $\sim 0,2\%$ ) sind in das Wassermolekül eingebaut und markieren den globalen Wasserkreislauf. Ihre zeitlichen und räumlichen Variationen in den Niederschlägen erlauben Rückschlüsse auf Alter, Herkunft und Mischungsverhältnisse von Grund- und Oberflächenwässern (SIEGENTHALER & SCHOTTERER 1977).

Eine zentrale Frage der Grundwasserprospektion ist neben der Qualität die nach Alter und Herkunft, um eine vernünftige Bewirtschaftung des Grundwasserleiters zu gewährleisten und Schutzzonen festzulegen. Aus der Höhenabhängigkeit der  $\delta^{18}\text{O}$ -Konzentration in den Niederschlägen ergibt sich unter günstigen Voraussetzungen die mittlere Höhe des Einzugsgebietes einer Quelle. Die Altersangaben basieren auf Modellvorstellungen des Grundwasserleiters (OESCHGER & SIEGENTHALER 1972; SCHOTTERER et al. 1979) und beziehen sich immer auf ein mittleres Alter am Quellenaustritt. Das heisst, dass einzelne Wasserkomponenten je nach hydrodynamischer Situation verschiedene Verweilzeiten haben können, wobei es in den Fällen, in denen Niederschlag und Quellwasser grosse Unterschiede in den Isotopenkonzentrationen aufweisen, möglich ist, einzelne Komponenten zu unterscheiden. Die folgenden Beispiele von Isotopenmessungen an Karstquellen im Jura sollen dies, soweit es im gegebenen Rahmen möglich ist, dokumentieren.

*Quellen im Berner Jura und im Kanton Jura*

Zwischen 1973 und 1976 wurden zwölf Quellen untersucht. Die Proben wurden im Abstand von etwa einem Monat gewonnen (OESCHGER et al. 1977). Neben  $^3\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen wurden auch die wichtigsten chemischen Daten erfasst. Die Frage nach der mittleren Höhe der Einzugsgebiete ist im Jura aufgrund von  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen allein ziemlich schwierig zu beantworten. Die mittleren Höhenunterschiede sind im Vergleich zu der Genauigkeit der Methode (etwa  $\pm 150$  m) gering, daher wurden als Fixpunkte zwei Quellen gewählt, deren Einzugsgebiet aus geologischen Überlegungen am leichtesten festzulegen war. In Figur 1 wurden die mittleren Höhen dieser Einzugsgebiete planimetriert und gegen die entsprechenden  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufgetragen. Die Höhen der Einzugsgebiete der übrigen Quellen ergeben sich dann aus ihren mittleren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten während des Beobachtungszeitraumes, wobei vorausgesetzt wird, dass die Infiltrationsverhältnisse in allen Einzugsgebieten ähnlich sind. Wegen der jahreszeitlichen Variationen des  $\delta^{18}\text{O}$  der Niederschläge ergäben sich sonst Unterschiede in den Quellen, die beispielsweise nicht auf den Höheneffekt, sondern auf einen stärkeren Anteil an Winterniederschlägen zurückzuführen wären.

Die zeitliche Änderung der  $^3\text{H}$  und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Quellen im Vergleich zu den Niederschlägen im Berner Oberland (aus dem Untersuchungsgebiet standen keine Proben zu Verfügung) zeigt Figur 2. Die jahreszeitlichen Variationen sind stark gedämpft. Aus dieser Dämpfung lässt sich ein mittleres Alter von 12 bis 19 Monaten errechnen (OESCHGER & SIEGENTHALER 1972; OESCHGER et al. 1977). Ähnliche Werte (6–12 Monate) erhält man, wenn man die Reaktion der Quellen auf die ungewöhnlich hohen Niederschläge der Jahre 1974/75 berücksichtigt. 1½ Jahre

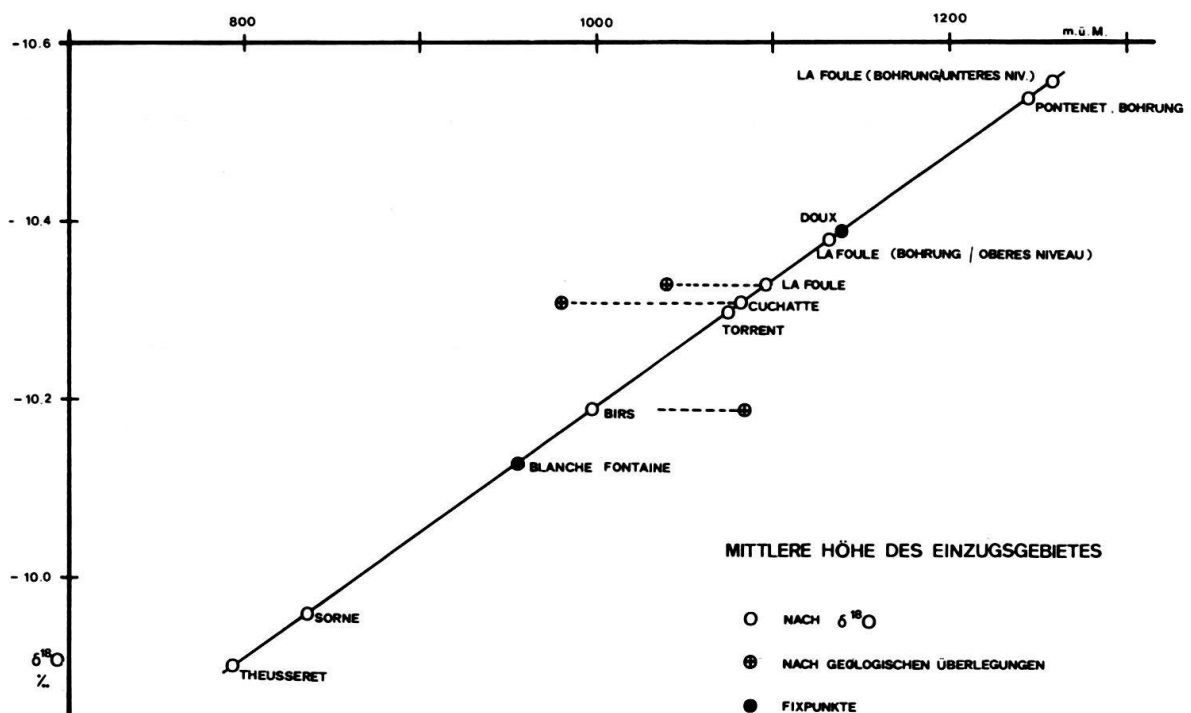


Fig. 1. Mittlere Höhe der Einzugsgebiete vs.  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte.

danach waren sie noch um etwa 25 TU höher als ihre vor dieser Periode gemessenen Mittelwerte. Eine Ausnahme bilden die beiden Bohrungen La Foule «tief» und Pontenet. Sie zeigen keine Erhöhung; diese Wässer müssen zu etwa  $\frac{1}{3}$  vor 1963, dem Tritiummaximum in den Niederschlägen, versickert sein. Eine Nachmessung scheint diese Überlegung bei Pontenet zu bestätigen (88 TU im Januar 1980).

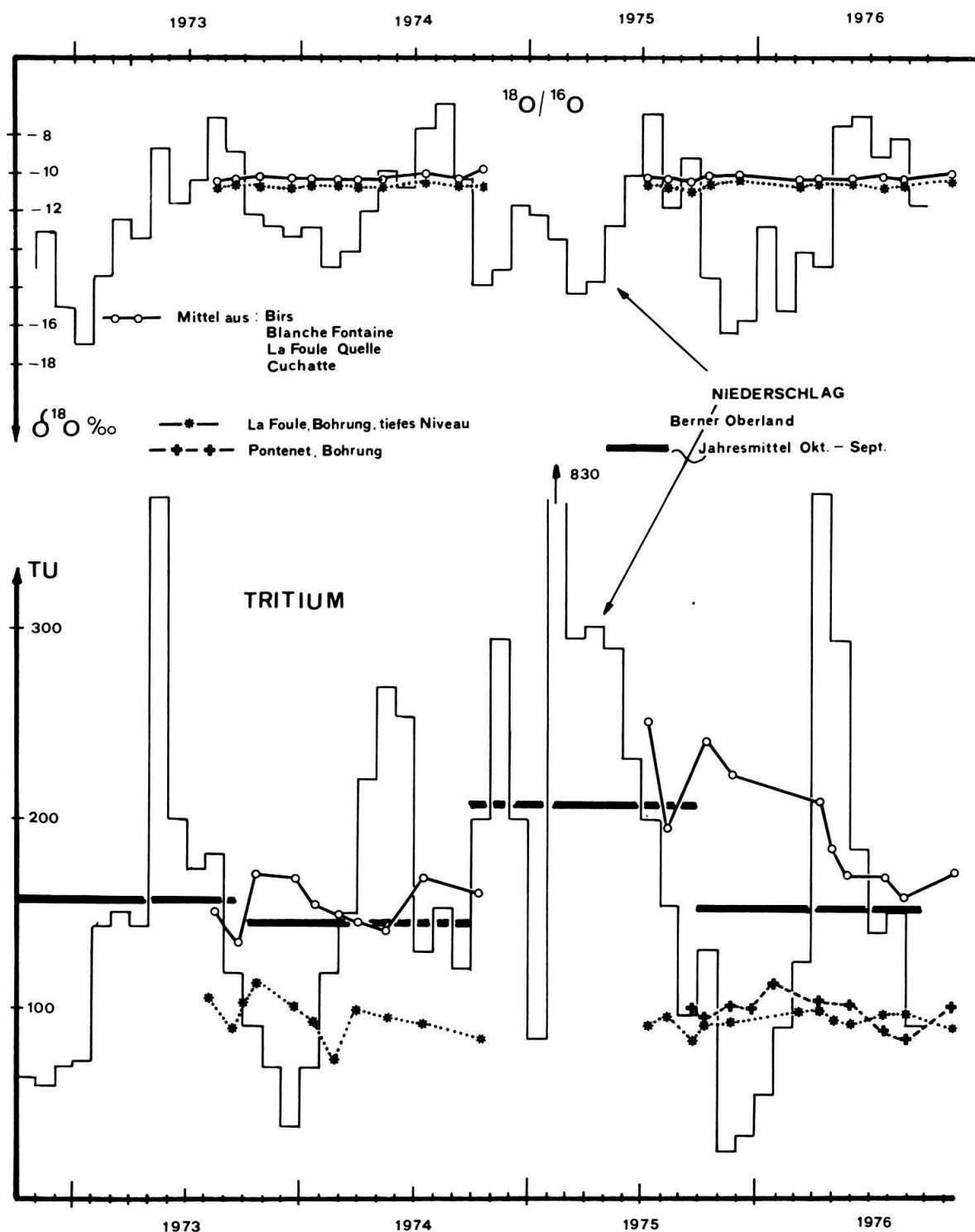


Fig. 2. Zeitliche Änderung der  $^3\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte verschiedener Grund- und Quellwässer im Vergleich zu den Werten der Niederschläge im Berner Oberland.



# AREUSE

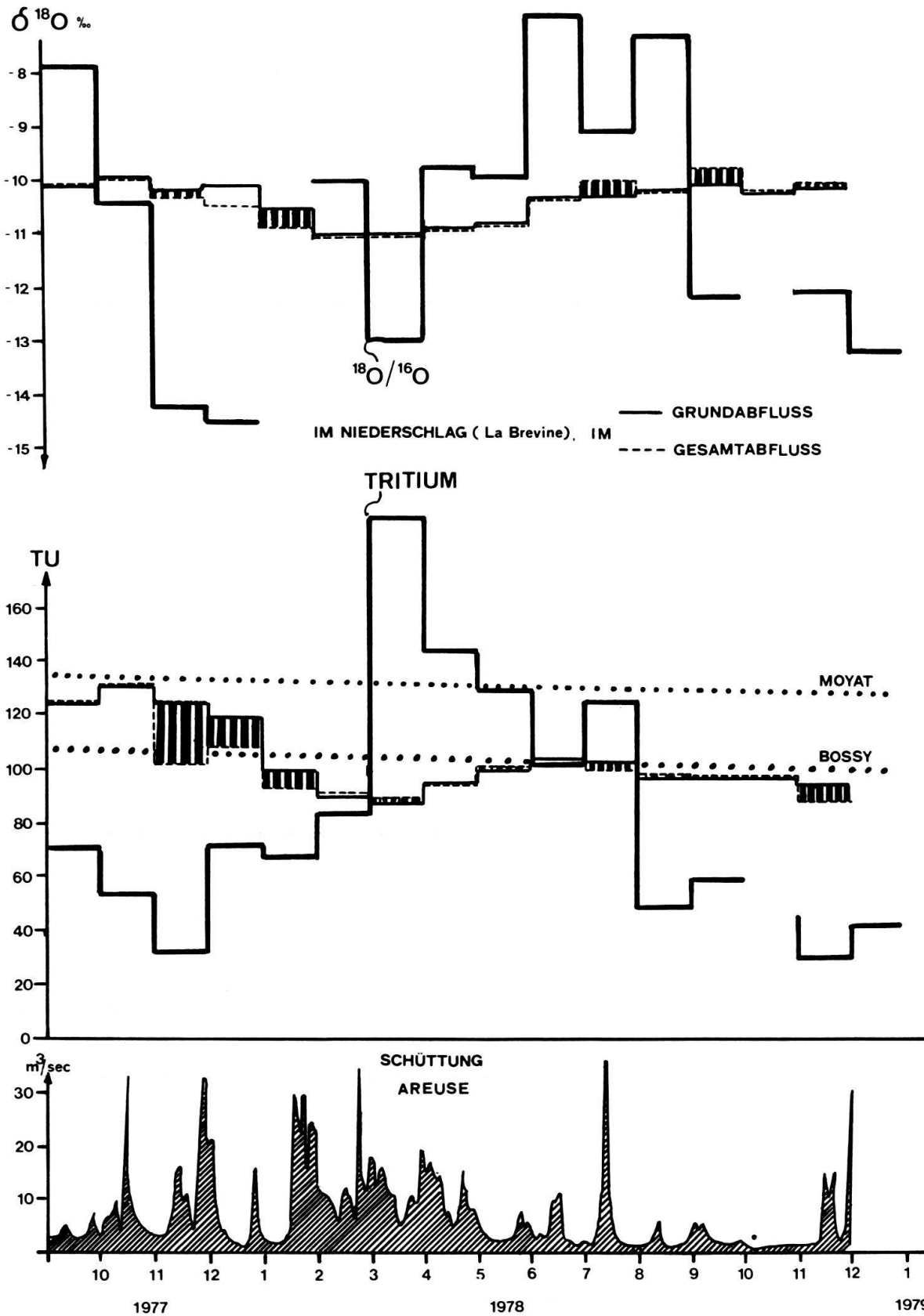


Fig. 3.  $^3\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Areuse im Vergleich zu den Werten der Niederschläge im Einzugsgebiet.

### *Quellen im Neuenburger Jura*

Zwischen 1977 und 1979 wurden im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Wasserhaushalt» in Zusammenarbeit mit dem Centre d'Hydrogéologie der Universität Neuenburg  $^3\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen an ausgewählten Quellen durchgeführt. Die Probenfrequenz richtete sich im wesentlichen nach der jeweiligen hydrologischen Situation, um zusammen mit den chemischen und hydrodynamischen Daten eine optimale Auswertung zu ermöglichen.

Einen ersten Überblick gibt Figur 3. Die  $^3\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Areuse sind, wiederum verglichen mit dem Niederschlag im Einzugsgebiet, stark gedämpft. Daraus ergibt sich je nach betrachtetem Isotop ein mittleres Alter von 9 bis 16 Monaten.

Bossy und Moyat, zwei Quellen aus dem Dogger, verändern ihre  $^3\text{H}$ -Konzentration im Beobachtungszeitraum kaum. Ihre jährliche Erneuerung ist unter Berücksichtigung von radioaktivem Zerfall und Messfehlern kleiner als 10%. Die höheren  $^3\text{H}$ -Werte der Moyat sind wahrscheinlich auf grössere Anteile aus den Jahren 1963/64 zurückzuführen, während Bossy ähnlich wie Pontenet oder La Foule «tief» Wasseranteile aufweist, die vor dieser Periode infiltriert sind.

In keinem Fall wurde während der Schüttungsspitzen reines Infiltrat am Quellenaustritt beobachtet. Der Anteil von älterem Grundwasser war je nach hydrodynamischer Situation meist deutlich über 50%. Während der Schneeschmelze zeigt die Areuse, bedingt durch die tiefen Winterwerte im Niederschlag, deutliche Unterschiede der Isotopenkonzentration von Grund- und Gesamtabfluss. Die schrittweise Erniedrigung der  $^3\text{H}$ -Werte im Grundabfluss ist ein Mass für die Erneuerung des Reservoirwassers, und eine erste Abschätzung ergibt für den Zeitraum November 1977 bis April 1978 eine Erneuerung von etwa 60%. Diese ermittelten Verweilzeiten stehen nun aber offensichtlich im Widerspruch zu bisher publizierten Markierungsversuchen (SCHADT in BURGER 1959) aus diesem Gebiet. Tracerdurchgangszeiten von einigen Tagen und mittlere Verweilzeiten von etwa einem Jahr könnten aber durchaus widerspruchsfrei erklärt werden, wenn man annimmt, dass der Tracer auf seinem Weg zur Quelle auch älteres Wasser markiert, das aus dem Reservoir in den Hauptabzugsbahnen abfließt. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Wasserhaushalt» wird diese Frage eingehend untersucht.

Der Verfasser dankt Herrn K. Hänni für die sorgfältigen  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen, Dres. L. Kiraly, I. Müller und U. Siegenthaler für viele wertvolle Diskussionen. Die Arbeit wurde vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützt.

## **4. Excursion vallée de Tavannes et environs**

B. Schindler, Prêles

Itinéraire: Bienne-Péry-Sonceboz-Pierre-Pertuis-Tavannes-Le Fuet-Reconvilier-Pontenet-Bienne

### *1. Cadre géologique*

La région visitée appartient à l'arc interne du Jura plissé et les unités tectoniques suivantes ont été touchées, de Bienne à Tavannes:

- Anticlinale de la «Chaîne du Lac», coupé par la cluse des gorges du Taubenloch.
- Synclinal d'Orvin-Vauffelin.
- Anticlinale de Chasseral, traversé par la cluse de Reuchenette.
- Synclinal de la Heutte-Péry dont l'axe s'élève vers l'ouest entre La Heutte et Péry, le pli s'intégrant alors au flanc nord, complexe, de la chaîne du Chasseral.
- Anticlinaux de Châtillon et du Brahon, replis de la chaîne du Montoz dont les axes plongent vers l'ouest et se fondent dans l'unité suivante.
- Synclinal du vallon de St-Imier, qui disparaît à l'est de Sonceboz dans le flanc sud du Montoz.
- Anticlinale de la Montagne du Droit, bien développé à l'ouest de Pierre-Pertuis, relayé par la chaîne du Montoz à l'est. Le col de Pierre-Pertuis, cluse inachevée, correspond à une zone d'ensellements axiaux alignés sur le linéament secondaire LS2 (MONBARON 1975).

La série stratigraphique commence au «Bathonien», Oberer Hauptrogenstein, dans la cluse de Reuchenette (THALMANN 1966). Le Dogger et surtout le Malm affleurent largement dans les anticlinaux. Le cœur des synclinaux renferme des dépôts oligocènes, miocènes et quaternaires. La glaciation rissienne a recouvert l'ensemble de la région, alors que le Würm a épargné l'essentiel de la vallée de Tavannes en aval de Tramelan (HANTKE 1978).

## 2. Hydrogéologie

### 2.1 De Bienne au col de Pierre-Pertuis

La caractéristique dominante est l'activité karstique développée dans les calcaires du Dogger, du Malm et de l'Oligocène (faciès «delémontien» du Stampien supérieur.).

A Frinvilier jaillit la source Merlin. M. W. Schiess, chef du Service des eaux de la Ville de Bienne, nous donne quelques indications sur l'exploitation de la source dont

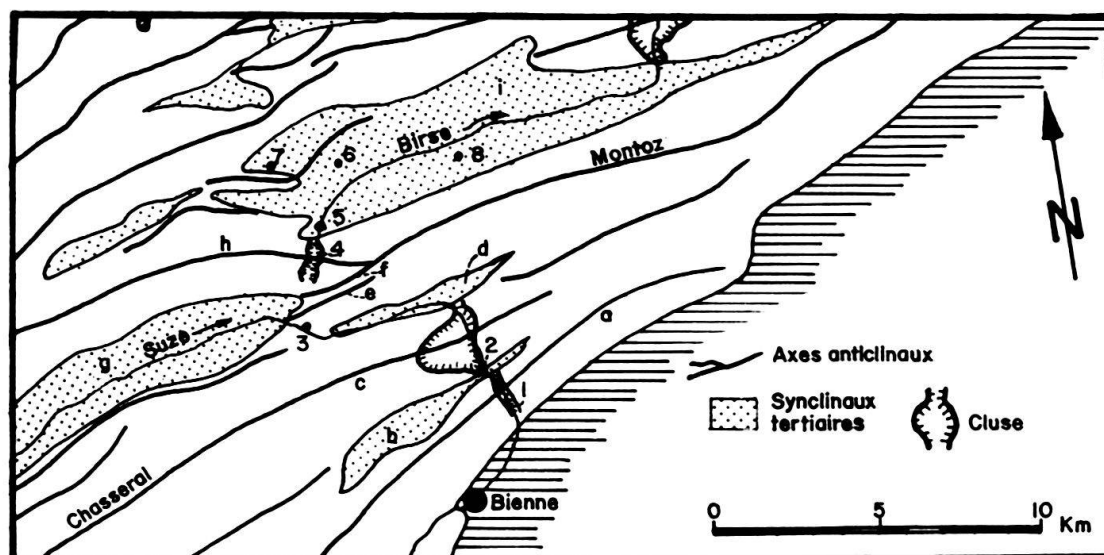


Fig. 4. Esquisse géologique et tectonique.

- a* = anticlinale de la Chaîne du Lac; *b* = synclinal d'Orvin-Vauffelin; *c* = anti-cl. de Chasseral; *d* = syncl. de Péry-La Heutte; *e* = anti-cl. de Châtillon; *f* = anti-cl. du Brahon; *g* = syncl. du vallon de St-Imier; *h* = anti-cl. de la Montagne du droit; *i* = syncl. de la vallée de Tavannes.
- l* = gorges du Taubenloch; 2 = source Merlin, cluse de Reuchenette; 3 = source de la Cuchatte-Tournedos; 4 = Pierre-Pertuis; 5 = source de la Birse; 6 = décharge Celtor; 7 = forage du Fuet; 8 = forage des Rosiers-Pontenet.

le débit varie de 3000 à 300 000 l/min. Notre collègue H.-K. Thalmann nous décrit la situation géologique, point bas du Malm supérieur du flanc sud de l'anticlinal de Chasseral, rive droite de la cluse de Reuchenette. Par essais de traçage, il a été démontré que le bassin versant s'étend dans le Malm calcaire aussi bien à l'ouest qu'à l'est de la cluse.

Vers l'amont des dépôts fins lacustres ont été mis en évidence par forage dans la cluse à Reuchenette et dans le vallon de Péry-La Heutte. En amont de Péry le fond de la vallée comprend aussi des aquifères graveleux, complexes, dont les plus profonds sont certainement en contact avec le karst du Malm supérieur.

Entre La Heutte et Sonceboz, le franchissement par la Suze des terminaisons anticlinales du Montoz (Châtillon et Brahon) se marque par une zone d'émergence. Les sources de la Cuchatte-Tournedos traversant le remblai de la route et de la voie CFF, sont en partie captées ou se déversent directement dans la rivière.

Au Pierre-Pertuis, les traces de corrosion karstique abondent, visibles dans le front d'attaque de plusieurs carrières. L'ancienne route franchit une barre rocheuse par un orifice karstique(?) aménagé dès l'époque romaine. Sous le col, le percement du tunnel ferroviaire a créé un nouvel écoulement pérenne vers le sud, vraisemblablement au détriment de la source de la Birse.

## 2.2 Vallée de Tavannes

*Source de la Birse:* Dès le col, nous touchons la vallée de Tavannes dont l'hydrogéologie a été explorée par un programme d'étude, dans le cadre de la carte hydrogéologique du canton de Berne.

Au pied nord du Pierre-Pertuis, la source de la Birse issue du Malm correspond à une position «anormale»: le toit de l'Argovien, imperméable présumé des anticlinaux de la Montagne du Droit et Montoz, est à une altitude inférieure à celle de la source, sous la dépression axiale du col. Le débit varie en ordre de grandeur de 10 000 à 60 000 l/min, la moyenne étant de 19 500 l/min. Les crues et décrues lentes ainsi que les faibles variations de température ( $8^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ ) donne l'image d'un réseau karstique «amortissant» bien les fluctuations de toute nature. Les teneurs en tritium et oxygène 18 (OESCHGER et al. 1977) ne varient pratiquement pas lors des crues, on admet que cette source ne reçoit que des eaux bien mélangées, excluant d'importants écoulements libres temporaires livrant l'eau de la dernière averse.

Le bassin versant reconnu par essais de traçage s'étend principalement à l'ouest dans le flanc nord de l'anticlinal de la Montagne du Droit. Tous les essais de traçage ont ici démontré une difflueuse souterraine généralisée, la réapparition étant constatée également aux sources du tunnel CFF de Pierre-Pertuis (→ Sonceboz) et de la Cuchatte-Tournedos.

*Décharge contrôlée Celtor:* Notre collègue M. Wüthrich nous présente le site de la décharge contrôlée «Celtor», dans la forêt de Chaindon au nord de Tavannes, sur des dépôts molassiques burdigaliens au cœur du synclinal. Des forages ont montré la présence d'une eau souterraine artésienne, le niveau de pression étant, en ordre de grandeur, de 1 m au-dessus du sol. Un drainage efficace a été établi sous la décharge et sur ses flancs.

*Forage profond du Fuet (579.675/231.700)*: Ce forage de 401 m était destiné à une première exploration de l'aquifère karstique du Malm. Sa situation a été définie notamment à l'aide d'une campagne de sondages électriques profonds, *AB* max. 2000 m, qui a permis de préciser la géométrie du contact Tertiaire-Malm sous l'ensemble de la vallée. Le profil a révélé 70 m de Stampien, faciès «delémontien», avec manifestations karstiques artésiennes mineures, et 331 m de Malm calcaire, aquifère et légèrement artésien. Le Stampien a été isolé par un tube aveugle cimenté. L'Argovien n'a pas été touché. Les essais de pompage ont donné des perméabilités de l'ordre de  $10^{-7}$  m/s, avec une tendance encore non stabilisée au décolmatage des fissures et chenaux.

*Forage profond des Rosiers-Pontenet (585.890/231.610)*: Les travaux et résultats sont présentés par notre collègue J. Bertrand. Ce forage de 485 m a été placé sur un bombement d'axe N-S qui n'est pas sans rappeler les «plis transversaux» du bassin de Delémont.

Le profil montre environ 130 m de Tertiaire, avec artésianisme, et 355 m de Malm calcaire. Le Tertiaire a également été isolé par un tube aveugle cimenté.

L'aquifère karstique du Malm s'est révélé fortement artésien, la pression hydrostatique au sol étant de l'ordre de 4 bars et les débits spontanés de 1550 l/min en 1975 et de 750 l/min en 1979.

### 3. Conclusions

L'étude de la Vallée de Tavannes a révélé, grâce aux forages profonds, la présence d'un important aquifère dans les calcaires du Malm. Il est artésien et contient une eau d'excellente qualité, potable et exploitable. Les autres travaux, en particulier les analyses isotopiques à la source de la Birse et les essais de traçage, ont mis en évidence la complexité de l'hydraulique souterraine karstique. Le schéma général le mieux approprié à la compréhension des faits observés est celui d'un réseau à interconnexions multiples, à chenaux karstiques d'ordre de grandeur différents, décrits notamment par KIRALY (1977). En particulier, les phénomènes très fréquents de diffuence des écoulements souterrains karstiques reçoivent une explication cohérente.

### LITERATURVERZEICHNIS

- BURGER, A. (1959): *Hydrogéologie du bassin de l'Areuse*. – Thèse, Neuchâtel.
- DINÇER, T., PAYNE, B. R., FLORKOWSKI, T., MARTINEC, J., & TONGIORGI, E. (1970): *Snowmelt Runoff from Measurements of Tritium and Oxygen-18* – Water Resour. Res. Amer. geophys. Union 6/1, 110-124.
- EPPLE, P. (1947): *Geologische Beschreibung der Umgebung von Sonceboz im Berner Jura*. – Mitt. natf. Ges. Bern [N.F.] 4.
- HANTKE, R. (1978): *Eiszeitalter* (Bd. 1) – Ott, Thun.
- HERRMANN, A., MARTINEC, J., & STICHLER, W. (1978): *Study of snowmelt-runoff components using isotope measurements*. In: COLBECK, S. C., & RAY, M. (Ed.): *Modeling of Snow Cover Runoff* (p. 288-296). – CRREL, Hannover, USA.
- KIRALY, L. (1977): *La notion d'unité hydrogéologique*. – Bull. Cent. Hydrogéol. Neuchâtel 2, 83-216.
- LOOSLI, H. H., & OESCHGER, H. (1979): *Argon-39, Carbon-14 and Krypton-85 measurements in groundwater samples*. – Isotope Hydrol. II, IAEA (Vienna 1978), p. 931-947.

- (1979): *Use of  $^{39}\text{Ar}$  and  $^{14}\text{C}$  for groundwater dating* - Proc. Xth Int. Radiocarbon Conf., Bern and Heidelberg (im Druck).
- MARTINEC, J. (1976): *Snow and Ice*. In: RODDA, J.C. (Ed.): *Facets of Hydrology* (p. 85-118). - Wiley, London.
- MARTINEC, J., SIEGENTHALER, U., OESCHGER, H., & TONGIORGI, E. (1974): *New insights into the runoff mechanism by environmental isotopes*. - Isotope Techniques in Groundwater Hydrol. I, IAEA (Vienna 1974), p. 129-143.
- MONBARON, M. (1975): *Contribution à l'étude des cluses du Jura septentrional*. - Thèse, Neuchâtel.
- OESCHGER, H., SCHOTTERER, U., & SIEGENTHALER, U. (1977): *Mesures de tritium et d'oxygène-18 dans les sources jurassiennes, 1973-1976*. - Rapport à l'office de l'économie hydraulique du canton de Berne (inédit).
- OESCHGER, H., & SIEGENTHALER, U. (1972): *Umgebungsisotope im Dienste der Hydrologie und Ausblick auf neue Methoden*. - Gas, Wasser, Abwasser 113/11, 501-508.
- SCHINDLER, B. (1979): *Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes*. - Berne (Office cantonal de l'économie hydraulique).
- SCHOTTERER, U., WILDBERGER, A., SIEGENTHALER, U., NABHOLZ, W., & OESCHGER, H. (1979): *Isotope study in the alpine karst region of Rawil, Switzerland*. In: Isotope Hydrol. I, IAEA (Vienna 1978), p. 351-366.
- SIEGENTHALER, U., & SCHOTTERER, U. (1977): *Hydrologische Anwendungen von Isotopenmessungen in der Schweiz*. - Gas, Wasser, Abwasser 57/7, 501-506.
- THALMANN, H.-K. (1966): *Zur Stratigraphie des oberen Malm im südlichen Berner und Solothurner Jura*. - Mitt. natf. Ges. Solothurn 22.



