Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Band: 96 (1973)

Artikel: Système d'écoulements et hydrochimie dans un aquifère morainique
Autor: Mathey, Bernard / Siméoni, Gianpietro
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89049

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: 14.12.2025

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

INSTITUT DE GÉOLOGIE, UNIVERSITÉ DE NEUCHATEL

CENTRE D'HYDROGÉOLOGIE

SYSTÈMES D'ÉCOULEMENTS ET HYDROCHIMIE DANS UN AQUIFÈRE MORAINIQUE

NAPPE DE PAULIÈRE / VAL-DE-RUZ / NE

par

BERNARD MATHEY et GIANPIETRO SIMÉONI

AVEC 7 FIGURES

Les systèmes d'écoulements

A la suite des travaux de TOTH (1963) et de FREEZE et WITHERSPOON (1968), des études théoriques ont montré qu'à l'intérieur d'un même bassin hydrogéologique, en des points souvent très voisins, les vecteurs de vitesse de filtration des eaux souterraines pouvaient avoir des intensités et des directions différentes, c'est-à-dire que deux filets liquides voisins pouvaient se séparer pour aboutir à des exutoires parfois très éloignés.

TOTH (*op. cit.*, p. 4806 et fig. 3) définit le système d'écoulement comme l'ensemble des lignes d'écoulements fictives dans lesquelles deux lignes d'écoulements restent voisines de la région alimentaire à la région d'exutoire. On pourra définir des systèmes locaux (la zone alimentaire et la zone d'exutoire sont très rapprochées), intermédiaires (séparés par un ou plusieurs systèmes locaux) et régionaux (les lignes d'écoulements passent au-dessous des systèmes locaux et intermédiaires).

Des études par modèle analogique (KIRALY 1970) ont démontré l'importance de l'hétérogénéité du champ des perméabilités sur la forme des systèmes d'écoulements. Le développement des modèles analogiques et mathématiques permet actuellement d'obtenir rapidement le champ des équipotentielles hydrauliques d'un bassin hydrogéologique et d'en délimiter ainsi les systèmes d'écoulements.

But de l'étude

L'examen des fluctuations saisonnières de quelques paramètres physico-chimiques des eaux d'un aquifère morainique met en évidence des écarts systématiques dans le comportement de deux exutoires

voisins. On peut vérifier l'hypothèse que ces écarts proviennent d'une différence dans le trajet des filets liquides, en déterminant la forme des lignes d'écoulements à l'intérieur de l'aquifère et en cherchant à définir les systèmes d'écoulements.

Situation

La nappe de Paulière est située au sud-ouest du Val-de-Ruz, entre Coffrane et Boudevilliers. La colline du Crêt-de-Paulière, actuellement fortement entamée par l'exploitation d'une gravière, est une moraine du glacier würmien, qui repose sur une forte épaisseur de moraine de fond imperméable, cette dernière recouvrant la molasse oligocène.

Des recherches hydrogéologiques (Frei 1943) et géoélectriques (Poldini 1964), ont permis de définir l'épaisseur et l'extension des graviers morainiques perméables formant la zone alimentaire de la nappe : 0,7 km². La décharge naturelle de la nappe est formée par une source sur son bord est (source des Favargettes) et de venues diffuses dans le lit de la Sorge au nord (fig. 1).

Le débit annuel moyen de la source est inférieur à 50 l/mn. L'ensemble des captages permet de soutirer 100 l/min de la nappe en année moyenne, dont les quatre cinquièmes pour le puits nord et le puits sud.

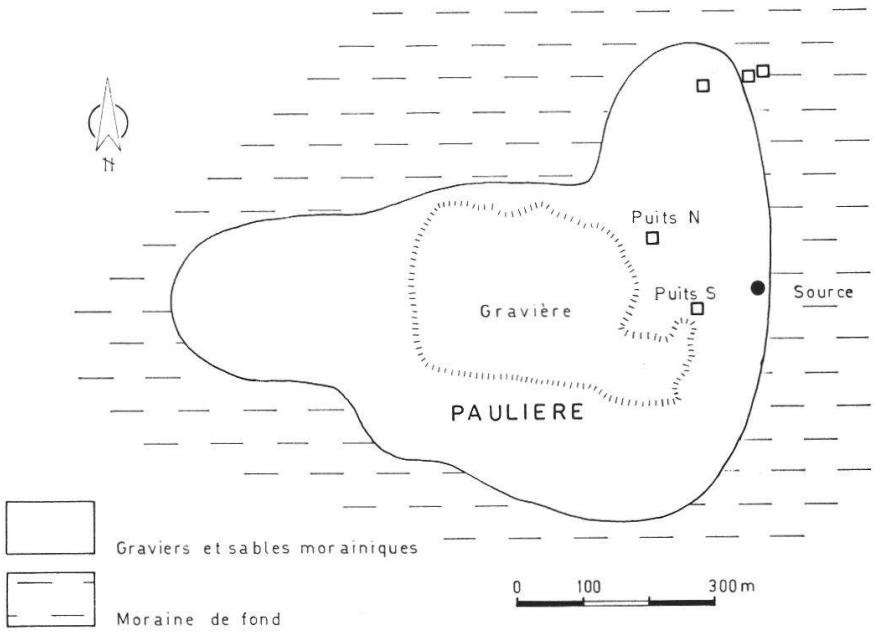

Fig. 1. Nappe de Paulière, plan de situation.

Hydrochimie

Fluctuations saisonnières

Les figures 2, 3, 4, 5 représentent l'évolution des températures, duretés, conductibilités électriques et pH des eaux de la source des Favargettes et du puits sud au cours de l'année hydrologique 1969-1970.

Comparons l'évolution des paramètres physico-chimiques :

— Les amplitudes des fluctuations de la température sont plus importantes dans le puits que dans la source ; maximum en décembre, la température est minimum en avril.

— Conductibilité électrique et dureté totale évoluent dans le même sens. Maximum en décembre, la minéralisation est minimum en juin.

— Conductibilité électrique et dureté totale sont plus élevées à la source des Favargettes. L'écart entre les deux est maximum en décembre et minimum au moment de la fonte des neiges (avril 1970), la composition chimique des deux points d'eau étant alors très voisine.

— L'évolution du pH est l'inverse de la dureté totale et de la minéralisation. Maximum en juin, le pH est minimum en décembre.

Ces considérations permettent de supposer l'existence d'au moins deux systèmes d'écoulements, liés l'un à la source des Favargettes, l'autre, plus proche de la surface, à la zone des puits.

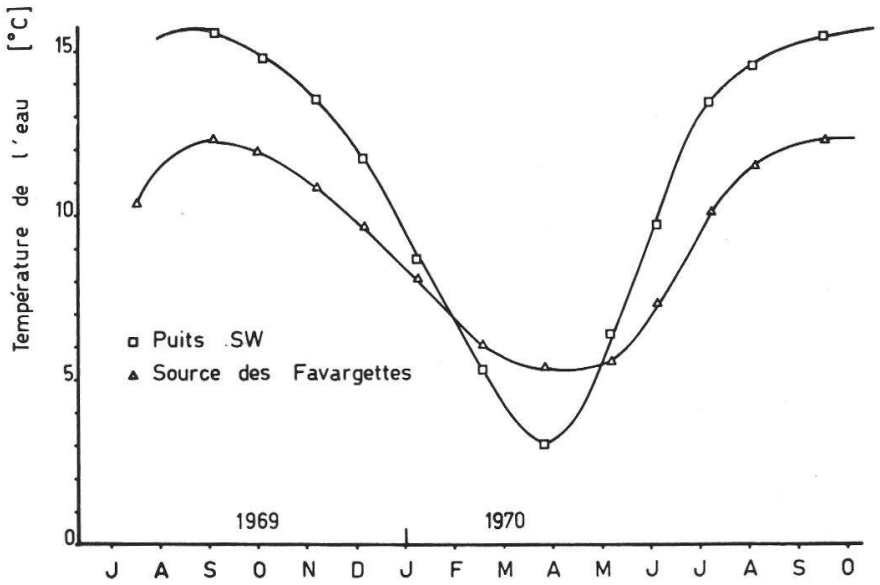

Fig. 2. Evolution de la température de l'eau de la source et du puits Sud durant l'année hydrologique 1969-1970.

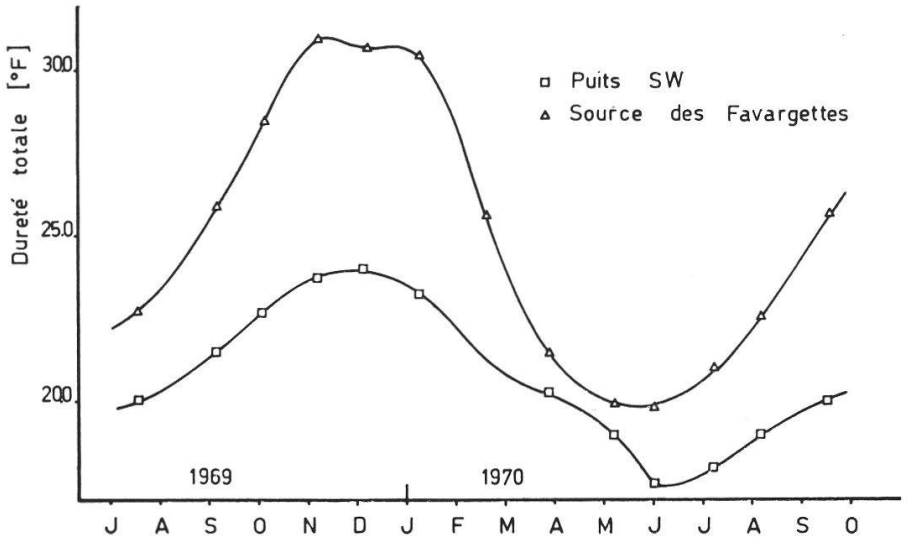

Fig. 3. Evolution de la dureté totale de l'eau de la source et du puits Sud.

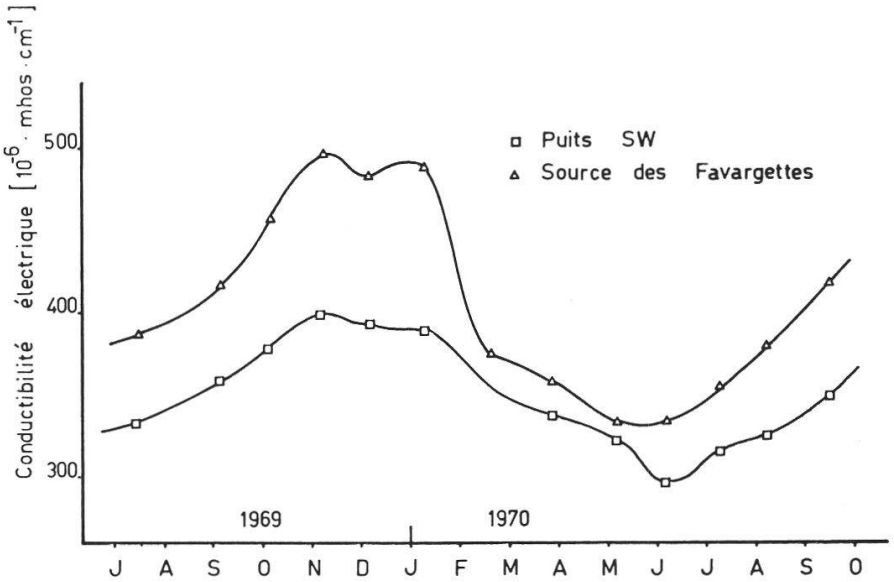

Fig. 4. Evolution de la conductibilité électrique de l'eau de la source et du puits Sud.

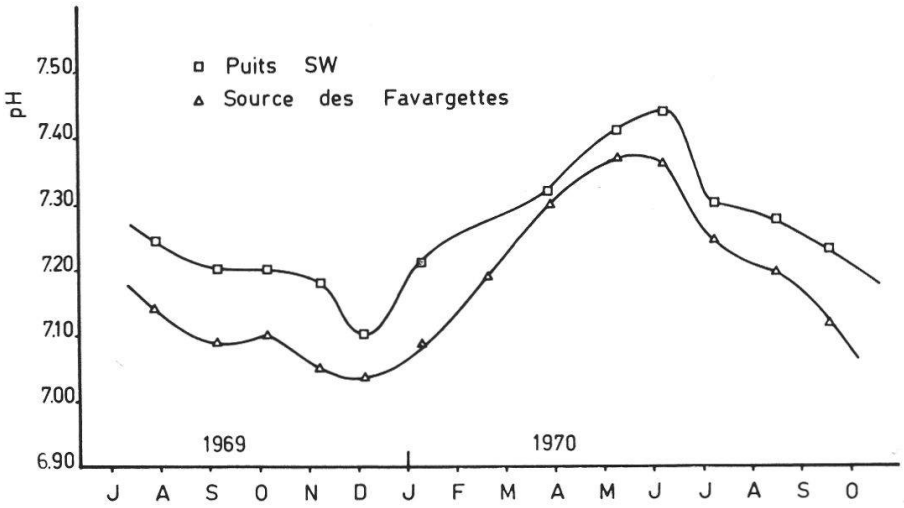

Fig. 5. Evolution du pH de l'eau de la source et du puits Sud.

Dureté totale et pH

Ces deux paramètres évoluent en opposition de phase, ce qui est en accord avec les lois d'équilibres des eaux carbonatées calciques.

L'activité biochimique au niveau du sol est déterminante pour son enrichissement en CO_2. Les eaux qui s'infiltrent vers la nappe au travers de la terre végétale vont donc acquérir une teneur en CO_2, par conséquent une agressivité, maximum durant les mois où la production de CO_2 est la plus forte, c'est-à-dire lorsque le sol est chaud et humide (BURGER 1972).

Le pH des eaux de Paulière étant minimum en décembre, on doit envisager un décalage de plusieurs mois entre le moment où les eaux en s'infiltrant se sont chargées en CO_2, et leur réapparition aux sources. L'évolution des teneurs en CO_2 du sol n'ayant pas été mesurée, le décalage exact ne peut être qu'estimé. Il est probablement de quatre à cinq mois.

Recherches des systèmes d'écoulements

Modèle mathématique

La recherche des équipotentielles hydrauliques a été réalisée à partir d'un programme de calcul par éléments finis (FLOW6) établi au Centre d'hydrogéologie par L. Kiraly. Le traitement numérique a été effectué sur l'ordinateur IBM 1130 du Centre de calcul de l'Université de Neuchâtel.

L'ensemble du domaine étudié a été divisé en 113 éléments triangulaires, de dimensions variables, dont on a augmenté la densité au voisinage des régions d'exutoire, afin d'augmenter la précision dans la détermination des systèmes d'écoulements dans les zones critiques.

Hypothèses sur les conditions aux limites

Certaines hypothèses restrictives ont dû être envisagées, à savoir :

— le modèle est bidimensionnel ;

— la simulation est effectuée en régime permanent ;

— l'aquifère est homogène et isotrope ;

— le substratum de l'aquifère (moraine de fond) est totalement imperméable.

Les conditions aux limites imposées comprenaient également la surface piézométrique.

Après calage du modèle, la valeur de la perméabilité retenue valait $K = 10^{-4}$ m/s.

Pratiquement le modèle représente une coupe est-ouest à travers l'aquifère, c'est-à-dire à peu près parallèlement à la ligne de plus grande pente de la surface piézométrique.

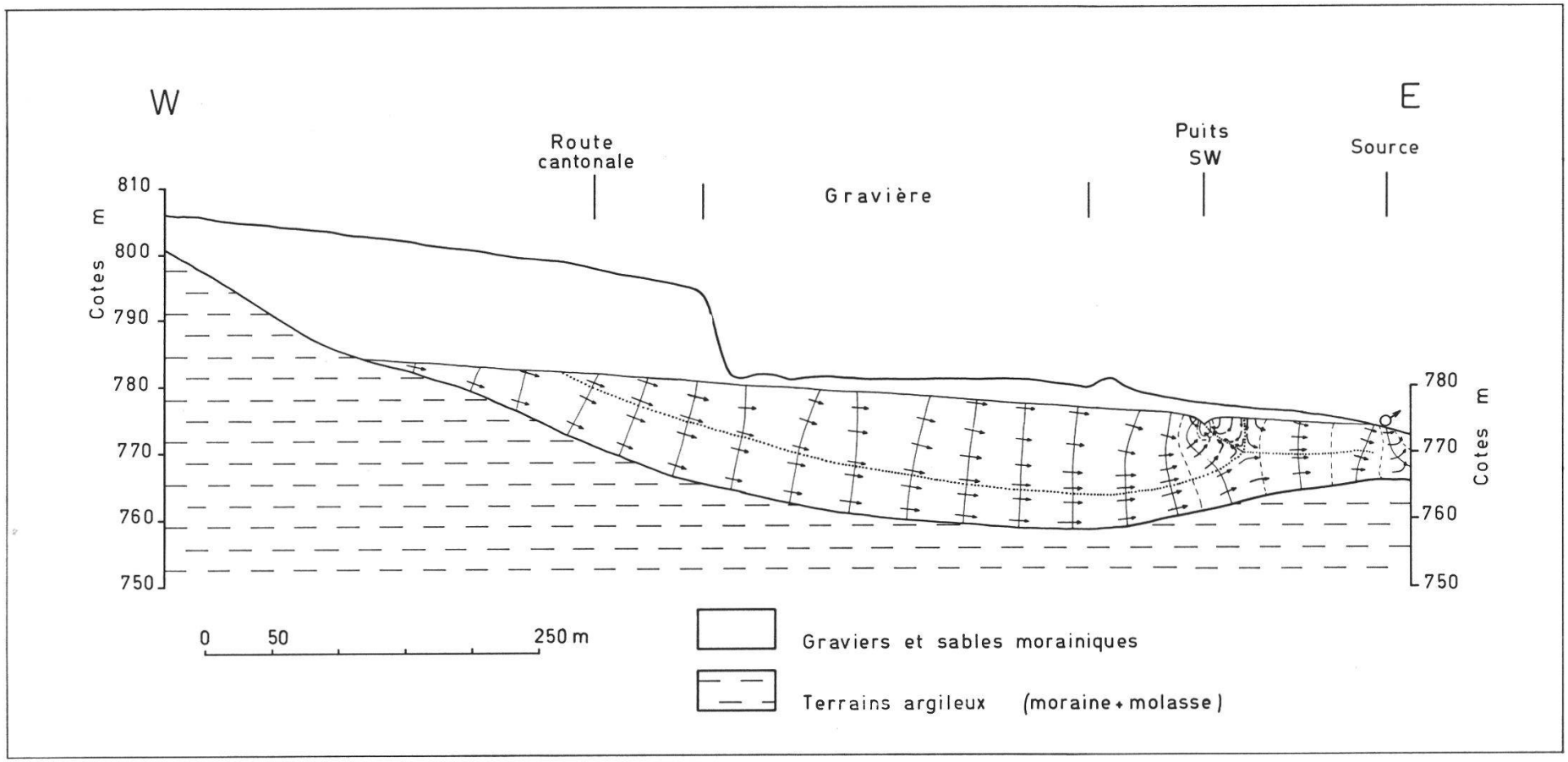

Fig. 6. Répartition des équipotentielles et des lignes d'écoulements dans la nappe de Paulière. En pointillé, limite des systèmes d'écoulements. (N. B. Les flèches représentent la direction des filets liquides. Leur longueur et leur densité ne sont pas proportionnelles au débit.)

Les résultats

La figure 6 montre les équipotentielles, l'orientation des vecteurs vitesses et les systèmes d'écoulements dans la nappe de Paulière. La dépression de la surface piézométrique au voisinage du puits engendre un écoulement de la nappe vers ce dernier dans la zone limitrophe de l'ouvrage. En dehors de la zone d'influence du puits, la nappe s'écoule librement vers son exutoire naturel.

Dans l'hypothèse d'un écoulement bidimensionnel on doit distinguer trois systèmes d'écoulements locaux, deux convergeant vers le puits et le troisième vers la source, ainsi qu'un système régional profond dont le périmètre alimentaire est situé dans la partie amont de la nappe et dont la source représente la décharge.

Cette disposition des systèmes d'écoulements, en trois dimensions, correspondrait à une situation où le puits serait remplacé par une tranchée drainante incomplète et la source par un cours d'eau (fig. 6).

Le puits et la source étant ponctuels, il devient évident que dans un espace tridimensionnel, il ne subsiste que deux systèmes d'écoulements, l'un local où les filets liquides convergent vers le puits, l'autre régional entourant le système du puits et se poursuivant au-dessous (fig. 7).

On est donc en présence de deux systèmes d'écoulements et non de quatre comme pourrait le laisser supposer l'étude dans un espace bidimensionnel.

Notons également que, en régime transitoire, les limites séparant les deux systèmes d'écoulements seraient déplacées, mais le schéma général de l'écoulement resterait identique et concorderait avec l'évolution des paramètres physico-chimiques de la nappe.

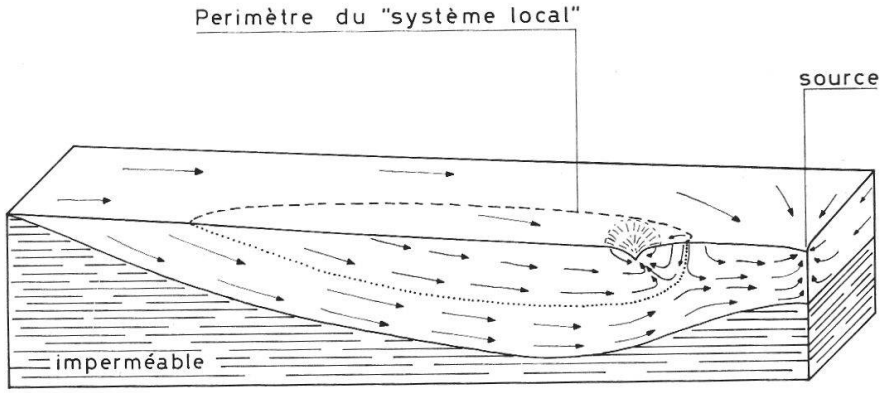

Fig. 7. Bloc diagramme schématique représentant l'extension des systèmes alimentaires de la source et du puits.

Hydrochimie et systèmes d'écoulements

Le régime thermique et le régime chimique de la nappe de Paulière concordent parfaitement avec les systèmes d'écoulements. On pouvait déjà supposer intuitivement que, si l'amplitude des fluctuations de la température était plus élevée pour les eaux du puits, le périmètre alimentaire de ce dernier était moins profond que celui de la source, cette différence étant encore accentuée par l'affleurement de la nappe au fond de la gravière. Ces constatations peuvent être étendues aux paramètres chimiques dont elles expliquent l'écart systématique des valeurs entre les eaux de la source et du puits, mais pas le déphasage de la minéralisation par rapport aux teneurs en CO_2 dans le sol.

Conclusions

La recherche des systèmes d'écoulements à l'intérieur d'un aquifère en définissant le trajet des lignes d'écoulements, permet d'interpréter les différences qui apparaissent dans le régime physico-chimique de deux exutoires très voisins.

Ces considérations présentent un intérêt tout particulier pour la recherche des régions alimentaires des ouvrages de captage et pour la délimitation des périmètres de protection.

La détermination des systèmes d'écoulements dans un espace bidimensionnel représente une solution simplifiée qui peut conduire à des erreurs d'interprétation si elle n'est pas intégrée au système tridimensionnel qu'elle schématise.

Résumé

La détermination des systèmes d'écoulements à l'intérieur d'un aquifère morainique à partir d'un modèle mathématique par éléments finis permet d'expliquer les différences de composition chimique de deux exutoires voisins.

Summary

The use of a finished element mathematical model in the determination of flow systems within a moraine aquifer, permits the explication of the differences in chemical composition of two neighboring outlets.

BIBLIOGRAPHIE

BURGER, A. — (1972). Chimie de la dissolution des roches carbonatées. *Cours d'hydrogéologie karstique, Centre d'hydrogéologie.* 118 pp.

FREEZE, A. R. et WITHERSPOON, P. A. — (1968). Theoretical analysis of regional ground water flow: 3. Quantitative interpretation. *Water Resources Res.* 4 (3) : 581-590.

FREI, E. — (1943). Expertise géologique et hydrologique concernant le captage d'eau potable pour les communes de Coffrane, des Geneveys-sur-Coffrane et de Montmollin. Rapport inédit, 18 pp. + 1 carte, *Zurich.*

KIRALY, L. — (1970). Influence de l'hétérogénéité et de l'anisotropie de la perméabilité sur les systèmes d'écoulement. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. u. -Ing.* 37 (91) : 50-57.

— (1971). Ground water flow in heterogeneous, anisotropic, fractured media : A simple two-dimensional electric analog. *Journal of Hydrology* 12 : 255-261.

POLDINI, E. — (1964). Rapport sur les mesures géoélectriques exécutées dans la région du Val-de-Ruz (entre Valangin et Montmollin). Laboratoire de géophysique de l'Université de Lausanne, rapport inédit, 9 pp.

TOTH, J. — (1963). A theoretical analysis of ground water flow in small drainage basins. *Journ. of Geophysical Res.* 68 (16) : 4795-4812.