

HYDROLOGIE. — *Traçage isotopique de l'infiltration sur lysimètre*. Note (\*) de MM. Bernard Blavoux et Erik Siwertz, présentée par M. Louis Glangeaud.

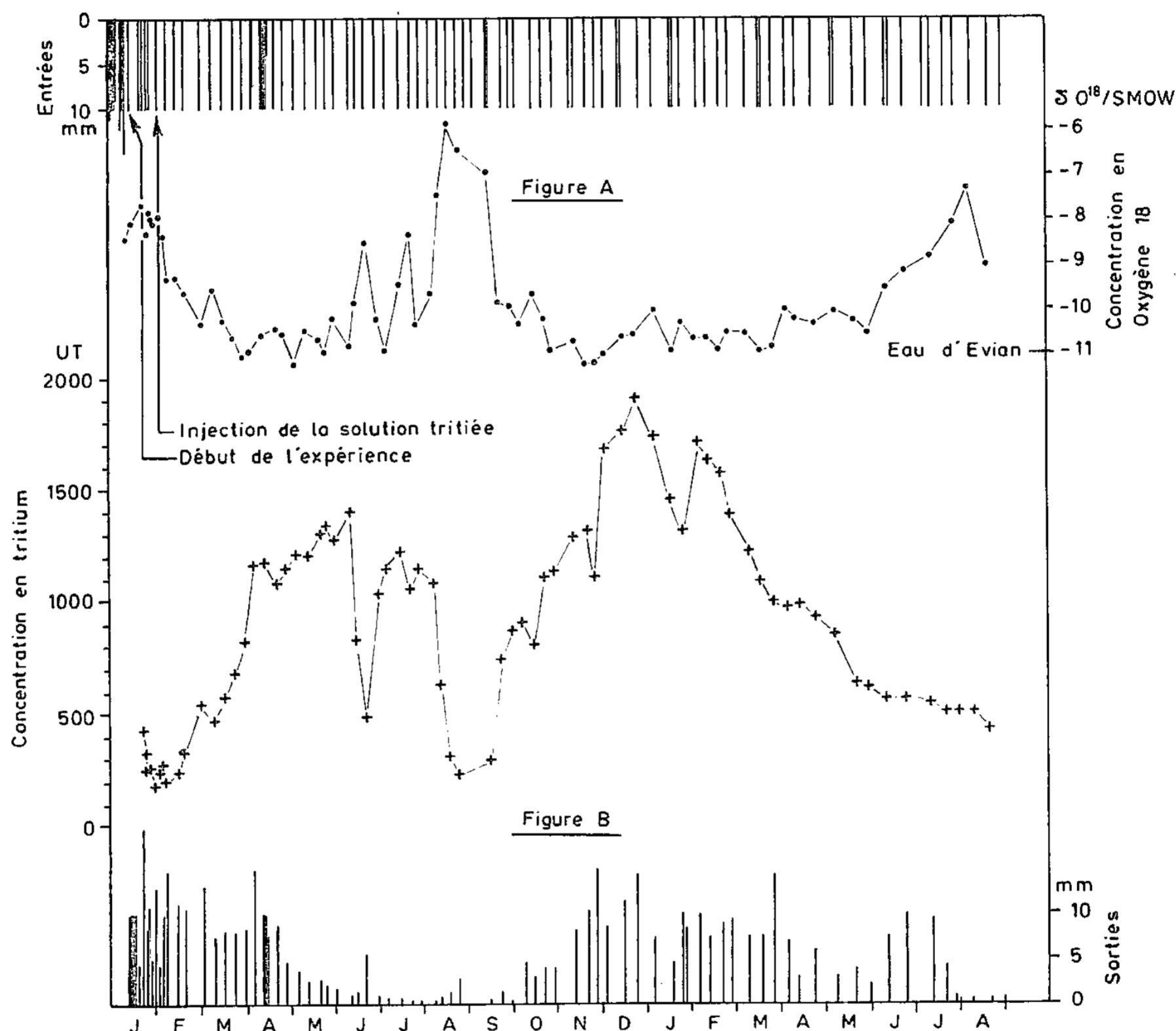
Un double traçage isotopique, l'un ponctuel avec du tritium et l'autre continu au moyen de l'oxygène 18 a mis en évidence deux processus d'infiltration en fonction de la teneur en eau du sol.

Un des lysimètres du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie) est utilisé depuis janvier 1970 à des expériences de traçage isotopique de l'infiltration. Les isotopes employés sont le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène et l'oxygène 18 qui est un des isotopes stables de l'oxygène. Ils font tous deux partie intégrante de la molécule d'eau et la fixation de ces isotopes dans le sol ne peut se réaliser <sup>(1)</sup>. L'étude de la répartition du traceur à un instant donné sur un profil de terrain a fait l'objet d'essais assez récents <sup>(2)</sup>. Nous avons suivi personnellement l'évolution avec le temps des concentrations de l'eau à la sortie du lysimètre, régulièrement arrosé avec de l'eau d'Evian, après aspersion d'eau fortement tritiée. Dans cette Note, nous donnons les résultats de cette expérimentation ainsi que les premières conclusions. Toutefois, deux réserves peuvent être faites *a priori*. La première tient à la représentativité discutée du lysimètre pour l'étude des problèmes d'infiltration ; la deuxième à la nature hétérogène du remplissage de la case lysimétrique.

DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE. — Le lysimètre est un cube de 1 m d'arête, rempli de moraine remaniée et couvert de gazon. Le matériau utilisé pour le remplissage est une argile à blocs représentative de la région Thonon-Evian aux caractéristiques suivantes : 20 % fraction supérieure à 2 mm avec des galets de quelques centimètres, 45 % de fraction grossière comprise entre 2 mm et 40  $\mu$ , 35 % de fraction fine dont 20 % environ d'argile. Une mince couche de gravier à la base assure un drainage total. Cette case a servi à la mesure de l'évapotranspiration depuis août 1963. Elle est protégée des précipitations depuis janvier 1970 par un écran translucide surélevé qui permet la libre circulation de l'air. Elle est donc soumise à l'évapotranspiration.

Nous avons introduit le signal sous la forme de 10 litres d'eau à 83 900 UT, le 2 février 1970. A cette période de l'année et compte tenu des quantités d'eau versées, on peut considérer que la capacité de rétention en eau du lysimètre était satisfaite. Nous avons entraîné ce signal par des apports hebdomadaires de 10 litres d'eau d'Evian jusqu'à fin août 1970. L'eau d'Evian a en effet une composition isotopique particulière, teneur en tritium inférieure à 10 UT et concentration en oxygène 18 constante et égale à  $-11 \delta$  [Smow <sup>(3)</sup>]. Sur les échantillons hebdomadaires collectés à la sortie du drain, nous avons mesuré la concentration en tritium et en oxygène 18. Les résultats (*fig.*) sont exprimés en unité tritium (1 UT = 1 atome <sup>3</sup>H pour 10<sup>18</sup> atomes de <sup>1</sup>H) et en parts pour mille de différence par rapport au standard international Smow (unité  $\delta$  ou ‰). La déviation standard sur ces mesures est de 5 % pour le tritium, 0,2  $\delta$  pour l'oxygène 18.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION. — Au 31 août 1971, nous avons versé 902 litres d'eau et recueilli 518 litres, ce qui représente un déficit d'écoulement de 384 litres. Ce nombre est un minimum pour la valeur de l'évapotranspiration par suite des réserves plus faibles en août 1971 qu'en février 1970. A titre indicatif, entre 2 périodes de drainage équivalent, donc de réserves supposées égales (du 23 février 1970 au 26 février 1971), l'évapotranspiration a été de 273 mm pour un apport de 521 mm. Un lysimètre fonctionnant en régime naturel à proximité et durant la même période, a donné une évapotranspiration de 357 mm pour des précipitations de 988 mm.



Au moment de l'injection le 2 février 1970, la teneur en  $^3\text{H}$  était de l'ordre de 200 UT et le  $\delta^{18}\text{O}$  égal à  $-8$ . Dès le 23 février on constate une augmentation significative de la concentration en tritium (*fig. B*) et simultanément une baisse de la teneur en  $^{18}\text{O}$  qui se rapproche de celle de l'eau d'Evian (*fig. A*). La sortie du traceur s'amorce donc assez vite et fait penser à l'existence de « drains préférentiels ».

— Le passage du tritium se poursuit pendant au moins 18 mois avec des concentrations qui ne dépassent jamais 2,3 % de celles de l'injection. La durée du passage et les concentrations en tritium observées excluent un modèle de circulation classique de type « piston flow ».

— L'évolution des teneurs en  $^{18}\text{O}$  montre que l'eau versée se mélange progressivement à de l'eau préexistante. Nous pensons que c'est l'eau des conduits préférentiels qui a été totalement remplacée quand l'eau de drainage présente la teneur en  $^{18}\text{O}$  de l'eau d'Evian 3 mois après le début de l'expérience. Il est impossible de concevoir un mélange homogène de l'eau du lysimètre à ce moment-là. En effet, pour expliquer les dilutions du tritium des sorties il faudrait faire intervenir un volume d'eau de 700 litres dans le lysimètre, ce qui paraît difficile dans  $1\text{ m}^3$  de ce terrain. La quantité de tritium alors récupéré ne dépassant pas 10 % de la totalité des apports, implique que de l'eau fortement tritiée est stockée dans le lysimètre. Le tarissement de l'été 1970 nous permet d'affirmer que cette eau tritiée est emmagasinée dans les petits interstices du terrain sous forme d'eau de rétention. En effet, il réapparaît des quantités importantes de tritium après la reprise de l'écoulement alors que les drains préférentiels ont été vidés auparavant de toute l'eau gravifique.

— Chaque fois que se produit une baisse notable du drainage (*fig. A et B*) et surtout après un tarissement, nous observons une chute brutale des concentrations en tritium et parallèlement une augmentation importante des teneurs en  $^{18}\text{O}$  des sorties. Ce sont donc des eaux qui percolent rapidement sans rester en contact prolongé avec l'eau de rétention riche en tritium. Le fractionnement par évaporation important pour l'oxygène explique l'enrichissement en  $^{18}\text{O}$  de ces mêmes eaux dont une fraction seulement atteint la base du lysimètre en période estivale.

— Deux processus d'infiltration sont ainsi mis en évidence. En période humide quand les entrées et les sorties s'équilibrent sur le lysimètre et que la capacité au champ du terrain est satisfaite, le phénomène qui prédomine est la dispersion hydrodynamique des molécules d'eau. Le mélange avec l'eau de rétention est important. La courbe de distribution des concentrations d'un traceur à la sortie reflétera une répartition bimodale à composantes sensiblement gaussiennes (<sup>4</sup>). En période sèche alors que le stock d'eau de rétention est entamé, des apports artificiels suffisamment importants pour être excédentaires sur l'évapotranspiration traversent plus vite la zone non saturée sans être dilués. Ils ne participent que partiellement à la reconstitution des réserves du sol contrairement au schéma classique qui veut que l'eau ne percole qu'une fois le sol saturé.

CONCLUSIONS. — Cette expérience du lysimètre a montré que : 1. Une eau marquée dans sa molécule est décelable en moins d'un mois, après avoir traversé 1 m de terrain morainique ; 2. Par des chenaux d'écoulement préférentiels, on assiste en 3 mois au remplacement de l'eau contenue dans les gros interstices (probablement eau gravifique) par de l'eau injectée ; 3. L'eau préexistante contenue dans les pores de petite dimension (eau de rétention) n'a pas un rôle passif. Elle se mélange avec l'eau qui percole si le sol est saturé. Elle acquiert ainsi au début de l'expérience de fortes concentrations en tritium qu'elle restitue sur plus d'un an et demi au contact de l'eau gravifique. Notre schéma de circulation montre par contre que des apports survenant en période sèche peuvent traverser le terrain rapidement en étant peu dilués et sans participer complètement à la reconstitution des réserves. C'est un fait dont il faut tenir compte pour les problèmes de pollution des nappes aquifères, bien

qu'il faille prendre les plus grandes précautions pour passer de l'échelle du lysimètre à celle de la parcelle du terrain et surtout du bassin versant.

Nous poursuivons nos expériences sur d'autres terrains avec d'autres paramètres. Il apparaît d'ores et déjà que les isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène contribueront grandement à préciser les mécanismes intimes de l'infiltration, car ils permettent de distinguer une molécule d'eau marquée artificiellement ou naturellement et de préciser sa provenance et son histoire.

(\*) Séance du 15 novembre 1971.

(1) S. SAVIN et S. EPSTEIN, *Geoch. and Cosmo. Acta*, 34, 1970, p. 25-42.

(2) U. ZIMMERMANN, D. EHHALTD et K. O. MUNNICH, *Isotopes in Hydrology*, A. I. E. A., Vienne, 1967, p. 567-586.

(3) J. C. FONTES, R. LETOLLE, Ph. OLIVE et B. BLAVOUX, *Isotopes in Hydrology*, A. I. E. A., Vienne, 1967, p. 401-416.

(4) H. SCHOLLER, *Les eaux souterraines*, Masson, 1962.

B. B., *Laboratoire de Géologie Dynamique, 75-Paris, 6<sup>e</sup> ;*  
E. S., *Centre de Recherches Géodynamiques,*  
*74-Thonon-les-Bains, Haute-Savoie.*