

Etude de la chimie des eaux souterraines de la plaine du Grésivaudan

par A.-F. CHOUTEAU et J.-C. FOURNEAUX *

L'étude hydrogéologique de la plaine du Grésivaudan a permis de mettre en évidence l'existence d'une nappe alluviale très intéressante, tant du point de vue scientifique qu'économique. Cette nappe est alimentée d'une part par des infiltrations à partir du lit de l'Isère et, d'autre part, par les apports latéraux en provenance des versants, par l'intermédiaire des cônes de déjection, des éboulis de pente et des terrasses anciennes.

La chimie des eaux de cette nappe pose de nombreux problèmes que nous nous efforçons de préciser. Les sels minéraux qui existent dans une eau sous forme ionique ont été dissous par cette eau en un point quelconque de son trajet souterrain ou superficiel. La géologie des flancs de la vallée, pour les apports latéraux, celle du bassin versant de l'Isère, à l'amont de Pontcharra pour les eaux de l'Isère, permet de se faire une idée des éléments que l'on va trouver dans les eaux de la nappe. Pour ce qui est de l'Isère et de ses affluents à l'amont de Pontcharra ils recourent à peu près toutes les unités des Alpes occidentales et particulièrement de nombreux affleurements de gypse qui jalonnent les contacts entre ces différentes unités. Sur les flancs du Grésivaudan ce sont les calcaires francs ou marneux qui forment la plupart des affleurements si on excepte la partie supérieure de la rive gauche où affleurent les terrains cristallins de Belledonne. On doit tout de même signaler la présence de quelques affleurements de gypse, mais sans grande extension. Enfin il faut remarquer que de très nombreux placages

morainiques masquent en partie le substratum rocheux.

L'étude pétrographique des galets et graviers qui se sont déposés dans la plaine et qui forment, mêlés à des argiles et sablons, la partie supérieure du remplissage alluvial de cette plaine donne une proportion de 60 % de galets et graviers de calcaire et 40 % de galets cristallins au sens large. Ces formations grossières reposent sur des argiles lacustres dont le rôle dans la chimie des eaux de la nappe semble nul.

Méthodes d'étude.

Pour étudier la chimie des eaux de la nappe alluviale de la plaine du Grésivaudan, nous avons procédé à des prélèvements systématiques dans les puits, pompes et pieux existants. Nous nous sommes efforcés d'obtenir des échantillons comparables, tant du point de vue profondeur de prélèvement que du point de vue qualité des eaux. C'est ainsi que nous avons rejeté les puits inutilisés et où il n'était pas possible de renouveler l'eau avant de prélever.

Nous avons aussi effectué des prises d'échantillon sur les eaux de surface, dans l'Isère, dans les canaux, les étangs et les torrents affluents de l'Isère.

* A.-F. CHOUTEAU, Laboratoire d'étude et de surveillance des eaux, Université Scientifique et Médicale de Grenoble; J.-C. FOURNEAUX, U.E.R. des Sciences de la Terre, Institut Dolomieu.

Sur tous ces prélèvements, la résistivité et la température ont été mesurées.

Des analyses complètes ont été faites pour déterminer le pH, le Th, le TAC, ainsi que les teneurs en CO_3H^- , SO_4^{--} , Cl^- , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} , SiO_2 , CO_2 et oxygène dissous.

Ces mesures ont toutes été faites sur place, grâce au camion laboratoire du Service d'analyses des eaux de la Faculté de Médecine. Les résultats ainsi obtenus sont parfaitement comparables puisque dans tous les cas le temps écoulé entre le prélèvement et le début des mesures n'a jamais dépassé une heure. 98 analyses ont été ainsi effectuées en 5 jours, répartis sur deux semaines.

Les résultats obtenus ont été comparés à tous les résultats que nous possédions sur les analyses effectuées dans cette région pour le compte de collectivités (Domaine Universitaire, communes, usines, etc.).

Ces prélèvements ont été faits en période de basses eaux, avec un débit de l'Isère de l'ordre de $150 \text{ m}^3/\text{s}$ à Grenoble. Des précipitations peu importantes sont tombées pendant la période de prélèvement.

Un premier examen de nos résultats permet quelques remarques :

1) Les eaux de la plaine du Grésivaudan ont une minéralisation totale moyenne élevée. Elles sont souvent dures (moyenne des degrés hydro-timétriques = 37,9 degrés français), essentiellement riches en bicarbonates et sulfates de calcium et magnésium. Elles ont des teneurs en nitrates faibles (de l'ordre du mg/l), peu de chlorures alcalins (14 analyses sur 98 révèlent une teneur en chlorures : 20 mg/l d'ion Cl^-). Une seule eau a un taux de chlorures supérieur à 100 mg/l. Elles sont parfois ferrugineuses dans la partie aval de la vallée.

2) Les eaux de surface (rivières : Isère et ses affluents, étangs directement liés à l'Isère, canaux) sont souvent séléniteuses et calcaires. Elles présentent une agressivité au calcaire très nette (agressivité étudiée grâce à la méthode de M. R. GIRARD [4]). L'eau agressive, en traversant les alluvions, dissout du carbonate de calcium, ce qui entraîne une augmentation du taux des bicarbonates et de la minéralisation totale, une diminution progressive de l'agressivité.

Là où nos prélèvements ont été effectués en une série de points s'éloignant de la rivière, on peut

enregistrer ce phénomène. Ainsi à Pontcharra, en s'éloignant du Bréda, on trouve successivement les puits dont les eaux présentent les % suivants :

	Bréda	1	2	3
CO_3H^-	27 %	49 %	62 %	67 %
N^-				
SO_4^{--}	69 %	47 %	34 %	30 %
N^-				
Résistivité	4 560	3 400	3 085	2 480
pH mesuré	7,2	7,1	7,4	7,2
pH de saturation.	8,3	7,8	7,65	7,27
	eau très agressive			peu agressive

CO_3H^- concentration en bicarbonates en mg/l.

SO_4^{--} concentration en sulfates en mg/l.

N^- concentration totale des anions en mg/l.

A Lancey, en s'éloignant de l'Isère :

	Isère	1	2
CO_3H^-	35 %	48 %	69 %
N^-			
SO_4^{--}	61 %	47 %	28 %
N^-			
pH mesuré	7,3	7,0	7,0
pH de saturation ..	7,67	7,57	7,29

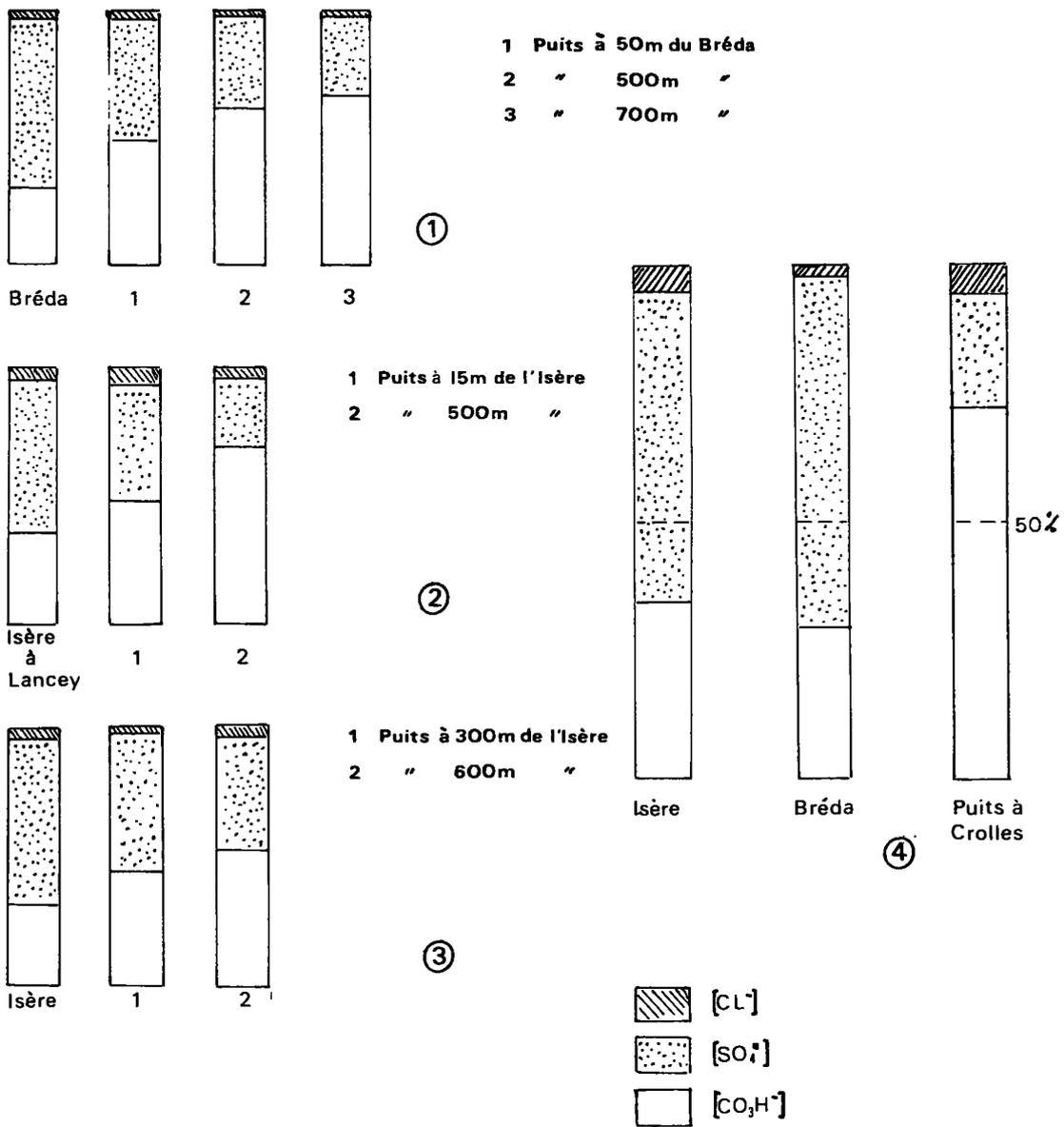
Voir diagrammes de LESCEUR (1) et (2).

Il existe donc une apparente opposition entre les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine du Grésivaudan qui se traduit par des diagrammes différents [voir diagrammes de Lescœur (4)].

Exemples :

Eaux de surface :

	Isère à Lancey	Bréda à Pontcharra	Etang au Touvet	Etang à La Terrasse	Etang à Lancey	Canal à Tencin
CO_3H^- ..	35 %	27 %	34 %	33 %	44 %	43 %
N^-						
SO_4^{--} = ...	61 %	69 %	65 %	64 %	53 %	51 %
N^-						



Diagrammes verticaux de Lescœur.

- Les diagrammes 1, 2 et 3 montrent l'évolution du rapport entre la teneur en Sulfates et celle en Carbonates le long d'une ligne de courant.
- Le diagramme 4 montre la différence entre une eau souterraine moyenne et les eaux de l'Isère et du Bréda.

Eaux souterraines :

	La Conche au Touvet	Crolles	Lumbin	Jamet à Pontcharra	La Gare à Tencin	Pontcharra	Tencin
CO ₃ H ⁻ ... } N ⁻ }	74 %	72 %	67 %	66 %	69 %	67 %	67 %
SO ₄ ⁼ ... } N ⁻ }	13 %	23 %	24 %	26 %	28 %	34 %	30 %

En fait les eaux des puits les plus proches de l'Isère présentent une minéralisation comparable à celle des eaux de surface :

	Les Bauchies à Tencin	Pont de la Batie aux Eymes	Champ d'Enfer à Lancey
CO ₃ H ⁻ ... } N ⁻ }	35 %	32 %	44 %
SO ₄ ⁼ ... } N ⁻ }	61 %	64 %	53 %
Résistiv. .	2 210	2 120	1 900

Les taux des sulfates dans les eaux de surface varie très rapidement et dans des proportions considérables. Ainsi, une série d'analyses de l'Isère effectuées à Goncelin, au cours de l'année 1966-1967, ont donné les résultats suivants :

SO ₄ en mg/l.	195	128	100	210	88
TAC en F ..	11,8	12,0	12,5	13,0	9,7
DHT	32,2	25,4	29,2	35,0	22,0

Ces variations liées à la géologie des versants de la vallée et à la grande solubilité du gypse ne nous permettent que rarement de suivre l'évolution des sulfates des eaux souterraines : cependant une diminution du taux des sulfates parallèle à l'augmentation du taux des bicarbonates pourrait s'expliquer par une dilution progressive par des eaux de ruissellement.

En résumé :

Pour les eaux de surface : $r\text{CO}_3\text{H}^- < r\text{SO}_4^=$
 Pour les eaux souterraines : $r\text{CO}_3\text{H}^- > r\text{SO}_4^=$
 (voir diagramme de Lescœur).

3) Les eaux agressives vis-à-vis du calcaire, qui pénètrent dans les alluvions, le sont également vis-à-vis du fer. En effet, la présence de CO₂ libre détermine également cette agressivité : mais les autres facteurs déterminant cette attaque sont nombreux. Les phénomènes d'inhibition et de stimulation interfèrent et il semble que seules quelques zones bien définies soient concernées par ce problème, bien que rien dans la nature du remplissage alluvial ou dans la forme de l'écoulement ne distingue ces zones.

Les eaux de surface, très oxygénées, se desserrent lentement en pénétrant dans les alluvions (taux de sursaturation en O₂ dans l'Isère et le Bréda, taux faible dans les eaux souterraines : de 0 à 5 mg/l). Dans ces conditions le fer ferreux Fe⁺⁺ passe en solution avec libération de H₂ aux dépens des ions H⁺ : le pH augmente jusqu'à ce que l'équilibre :

$$\log \text{Fe}^{++} = 15,1 - 2 \text{pH}$$

soit atteint. L'évolution du phénomène modifie la constitution de l'eau : elle a tendance à déposer du carbonate ferreux et reste (ou non) agressive vis-à-vis du calcaire. En fait, pour les exemples examinés on enregistre même une légère incrustation :

	Puits proche de l'Isère à Lancey	1	2
CO ₃ H ⁻ ... } N ⁻ ... }	34 %	44 %	54 %
SO ₄ ⁼ ... } N ⁻ ... }	58 %	55 %	47 %
Résistivité ..	2 210	1 900	1 750
p ^H mesuré	7,4	7,4	7,15
p ^H de saturation ..	7,25	4,47	7,27
Fe+++ en mg/l ..	0,53	6,0	2,1

1 = puits à 300 m de l'Isère.

2 = puits à 600 m de l'Isère.

Voir diagramme de Lescœur (3).

Précipitation
du fer

Plusieurs cas de mise en solution du fer peuvent être invoqués :

— le lessivage des galets ferrugineux par les eaux de la nappe que nous avons pu observer dans une gravière où le niveau d'eau était rabattu par pompage. Autour de ces galets, on pouvait

très bien voir une tache de rouille laissée par les eaux qui s'infiltraient. Des analyses faites sur deux eaux prélevées à des points différents de cette gravière donnaient des résultats très différents en ce qui concerne le fer ;

- l'attaque des pyrites existant dans les alluvions ou même dans le substratum rocheux (calcaires marneux du Jurassique moyen). Il faut toute fois dire que rien jusqu'à présent ne vient confirmer cette solution dans les observations que nous avons pu faire ;
- l'existence de nombreuses tourbières fossiles dans toute la vallée : l'acidité qu'elles créent peut entraîner la mise en solution du fer, en présence de certaines bactéries. Cette hypothèse pourrait s'appliquer à la zone de Crolles où les sondages ont mis en évidence de telles tourbières. Cependant aucune analyse bactériologique n'a permis de révéler la présence de bactéries du fer.

Dans la partie supérieure de la nappe (zone de battement) une réaération de l'eau est possible : il peut se déposer des particules d'oxydes ferriques formant une sorte de « chapeau de fer ». Lors d'un pompage, ces particules remises en mouvement permettent d'expliquer les variations du taux du fer en cours de pompage.

Liaison de la chimie des eaux avec l'alimentation de la nappe.

L'étude de la chimie des eaux de la nappe confirme les idées émises sur l'alimentation de cette nappe, après construction de cartes isopièzes : on retrouve une zone en relation avec l'Isère et des zones latérales qui mettent en évidence les apports des versants.

L'évolution des sulfates se trouve perturbée dans les parties latérales de la vallée par les apports des versants. Ces eaux peuvent avoir une composition chimique quelconque, surtout en rive gauche. L'observation de ce phénomène permet de se faire une idée sur la façon dont la nappe est alimentée, en chaque point.

Si dans certaines zones cette alimentation latérale est facile à mettre en évidence à cause de différences très sensibles dans la minéralisation, comme à Pontcharra avec les eaux du Bréda, dans

d'autres, seule une étude détaillée peut permettre de trancher.

A Domène, par exemple, dans le cône de déjection du Domeynon les eaux ont une minéralisation totale qui diffère peu de celles de la plaine ; mais l'absence de sulfates donne un caractère différent. En effet, les eaux qui s'infiltrent dans le cône et qui sont agressives se chargent en CO_3H en dissolvant le CO_3Ca existant dans les éléments du cône de déjection. Le même phénomène se voit à Frogès, au Cheylas et en certains points de la rive droite (Lumbin).

Il est bien entendu que les zones d'influence de chacun des modes d'alimentation de la nappe évoluent avec le débit de l'Isère d'une part, et avec l'importance des précipitations sur les versants d'autre part. Les infiltrations à partir de la surface après de fortes pluies peuvent venir perturber les observations.

Toujours dans les parties latérales de la vallée, certains points apparaissent comme aberrants à cause d'une minéralisation totale plus faible, sans qu'il soit possible de les mettre en rapport avec des eaux de surface. On peut donc penser à un apport par faille, donnant une source enfouie sous les alluvions, à proximité du point d'observation. A Champ, près Frogès, nous avons ainsi trouvé un point présentant un Th de 18, à 150 m du flanc de la vallée, constitué là de calcaires marneux du Jurassique moyen.

Conclusion.

Cette étude de la chimie des eaux de la nappe aquifère de la plaine du Grésivaudan a permis de confirmer les éléments de l'alimentation de cette nappe, obtenus par l'observation des cartes piézométriques. Elle a en outre permis de mieux comprendre les teneurs assez élevées en CO_3H^- et Ca^{++} que l'on y trouve, comparées à celles que l'on trouve dans les eaux superficielles qui vont alimenter cette nappe. Enfin elle apporte quelques idées assez précises sur la présence du fer dans ces eaux. Les études ultérieures devraient permettre de résoudre ce problème de façon plus complète.

Il nous est agréable de présenter ici les premiers résultats d'une collaboration entre chimiste et géologue qui promet beaucoup.

BIBLIOGRAPHIE

- DUBUS (J.) et FOURNEAUX (J. C.) (1967). — Les ressources en eaux souterraines du Grésivaudan, 1967 (C.R.E.F., Grenoble).
- FOURNEAUX (J. C.) (1968). — Résultats préliminaires de l'étude hydrogéologique de la plaine du Grésivaudan entre Pontcharra et Grenoble (C.R.A.S., 8-1-1968).
- GIGNOUX (M.) et MORET (L.). — Géologie Dauphinoise. Masson, Paris.
- GIRARD (R.) (1967). — Méthode d'étude d'une eau naturelle (Bibliographie intéressante citée dans cet article) (*Revue de l'eau*, mai-juin).

Service d'Hydrogéologie.
Institut Dolomieu

(Laboratoire de Géologie
de l'Université de Grenoble).

Manuscrit déposé le 20 octobre 1971.