

<i>Eiszeitalter u. Gegenwart</i>	29	123—133 7 fig.	<i>Hannover 1979</i>
----------------------------------	-----------	-------------------	----------------------

Les ressources en eau liées aux surcreusements glaciaires dans les Alpes Françaises

JEAN-CLAUDE FOURNEAUX *)

Water resources, glacial erosion (overdeepening), channel, valley, Isere (Drace plain),
Savoie (lower Arve).

R é s u m é : Dans toutes les grandes vallées des Alpes françaises l'existence de surcreusements a été mise en évidence depuis longtemps. L'érosion glaciaire a façonné des ombilics surcreusés et a imprimé dans les formations sur lesquelles elle a agit, des sillons plus ou moins profonds.

Le remplissage des ombilics surcreusés est constitué, en grande partie, par des sédiments lacustres fins, mais aussi par des formations plus grossières qui peuvent constituer des aquifères importants.

L'ampleur du phénomène de surcreusement est considérable et, dans certaines vallées, l'épaisseur du remplissage alluviale dépasse 400 m.

Les exemples de la plaine du Drac, au Sud de Grenoble, et de la basse vallée de l'Arve, en Haute-Savoie, illustrent l'intérêt offert par les aquifères que l'on peut rencontrer dans les vallées surcreusées. Les conditions d'alimentation sont, le plus souvent, très favorables mais les zones exploitables ne sont pas facilement détectées par une simple étude géologique.

[Wasservorräte im Zusammenhang mit den glazialen Übertiefungen in den französischen Alpen]

K u r z f a s s u n g : In allen großen Tälern der französischen Alpen ist die Existenz von Übertiefungen schon seit langem bewiesen worden. Die Glazialerosion hat übertiefte Ombilics gebildet und in den Schichtungen, auf die sie eingewirkt hat, mehr oder weniger tiefe Rinnen geprägt.

Die Anfüllung der übertiefen Ombilics besteht größtenteils aus feinen Seesedimenten aber auch aus gröberen Schichtungen, welche wichtige Wasserlager darstellen können.

Das Ausmaß der Vertiefungserscheinung ist bedeutend, und in manchen Tälern überschreitet die Stärke der alluvialen Anfüllung 400 m.

Die Beispiele der Dracebene im Süden von Grenoble und des unteren Arvetals in Hoch-Savoyen unterstreichen die Wichtigkeit der wasserhaltigen Schichten, die man in den übertiefen Tälern antreffen kann. Die Versorgungsbedingungen sind meistens sehr günstig; die nutzbaren Gebiete können jedoch durch eine einfache geologische Untersuchung nicht immer ausfindig gemacht werden.

[Water Resources in Connection with Glacial Overdeepening in the French Alps]

A b s t r a c t : Since a long time, the glacial valleys geology is known, in the french Alps. The morphology of these excavated valleys is characterised by the presence of furrows and ridges aligned parallel to the axe of the valley.

The excavated valleys are often filled up by fine lacustral deposits, but at times they may have thick alluvial deposits in which one can possibly find important water resources.

Under-cutting of the valleys is so important that the infillings can have at times 400 m of thickness.

The Drac plain, in the South of Grenoble, and the lower Arve valley are the good examples of this type of aquifer.

The alimention conditions are quite favorable, but the workable areas are often difficult to find by a simple geological study.

*) Adress de l'auteur: Dr. J.-C. F o u r n e a u x , Maître-Assistant à l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble — Institut Dolomieu — Géologie et Minéralogie, Rue Maurice Gignoux, 38031 - Grenoble - Cedex.

Dans toutes les vallées importantes des Alpes françaises, l'analyse du remplissage alluvial montre l'existence de sédiments très épais traduisant des comblements après d'importants surcreusements. Ceux-ci sont l'oeuvre des glaciers, qui, à plusieurs reprises au cours du Quaternaire, sont descendus des massifs et se sont avancés très loin dans les vallées.

Le surcreusement est une manifestation peut-être peu spectaculaire mais très importante de l'érosion glaciaire. En effet, l'épaisseur des sédiments récents peut dépasser plusieurs centaines de mètres dans certaines vallées.

Lorsque la nature de ces sédiments s'y prête, il peut y avoir là des aquifères très intéressants dont l'alimentation est en général bien assurée.

Mais le surcreusement d'une vallée n'est ni régulier ni continu; il varie de façon plus ou moins brusque tant selon un profil transversal que selon un profil longitudinal.

Morphologie du surcreusement

Les formes et l'importance du surcreusement ne sont pas connues dans toutes les vallées des Alpes françaises. Mais dans la vallée de l'Isère des sondages mécaniques et des prospections géophysiques en grand nombre permettent une analyse assez complète de la nature et de la géométrie du remplissage alluvial, ainsi que de la morphologie du surcreusement.

Le remplissage est constitué, à la base, par des moraines relativement minces et discontinues attribuées au Riss, puis par un épais niveau d'argiles lacustres représentant l'Eémien, un nouveau niveau morainique lui aussi peu épais et discontinu, daté du Würm II puis une séquence sableuse lacustre déposée à l'inter-stade Würm II/III et enfin des alluvions modernes. Sur les flancs de la vallée un troisième niveau morainique existe au-dessus des sables lacustres. La coupe de la figure montre la forme des surfaces qui séparent ces différentes séquences. Trois surfaces d'érosion glaciaire sont bien individualisées et elles présentent toutes les trois des ondulations dont les amplitudes peuvent dépasser 30 et même 50 m. De telles ondulations se retrouvent dans toute la vallée de l'Isère et pratiquement partout où l'influence de l'érosion glaciaire a pu être mise en évidence aussi bien dans les grandes vallées où l'épaisseur de la glace dépassait 1000 m que dans les hautes vallées et même sous les glaciers actuels.

Il s'agit, vu en coupe transversale, de sillons s'allongeant parallèlement à l'axe de la vallée. Certains sont entièrement fossilisés sous les dépôts plus récents d'autres sont visibles sur les flancs des vallées (fig. 1).

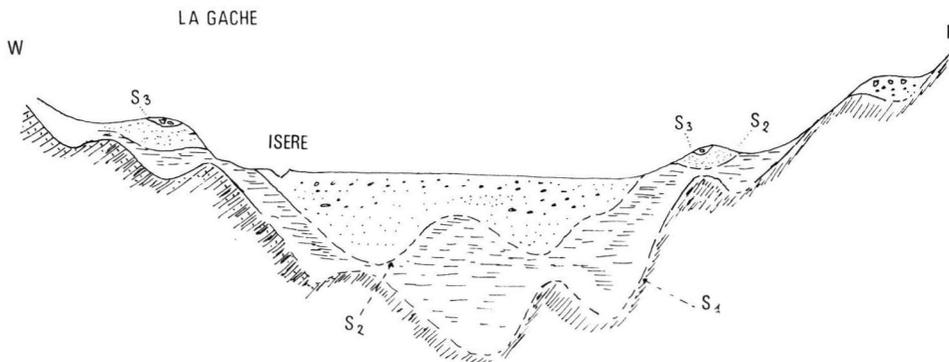


Fig. 1: Coupe transversale de la vallée de l'Isère au niveau de La Gâche. S₁ = surface d'érosion du Riss; S₂ = surface d'érosion du Würm II; S₃ = surface d'érosion du Würm III.

Selon un profil longitudinal des ondulations existent aussi. Une vallée glaciaire est une succession d'ombilics et de verrous. Ceux-ci peuvent être visibles ou fossilisés.

Cette morphologie des vallées glaciaires est connue depuis plus longtemps mais ce qu'il l'est moins, c'est la forme de ces ombilics. Dans la plupart des cas, la valeur du surcreusement augmente lentement de l'amont vers l'aval pour diminuer brutalement au niveau du verrou.

Le grand ombilic de Grenoble qui s'étend depuis Cevins en amont d'Albertville jusqu'à Rovon à l'aval de Tullins soit sur plus de 150 km de long, en recoupant ou longeant plusieurs unités structurales des Alpes, peut se subdiviser en 7 ombilics élémentaires séparés par des verrous peu ou pas visibles (fig. 2).

La genèse des ombilics est plus facile à saisir que celle des sillons. En effet, un obstacle résistant à l'érosion entraîne une augmentation de l'épaisseur de la glace en amont et donc un approfondissement. Vers l'aval, au contraire, la glace a tendance à décoller et son épaisseur est moindre, donc la force érosive est moins forte.

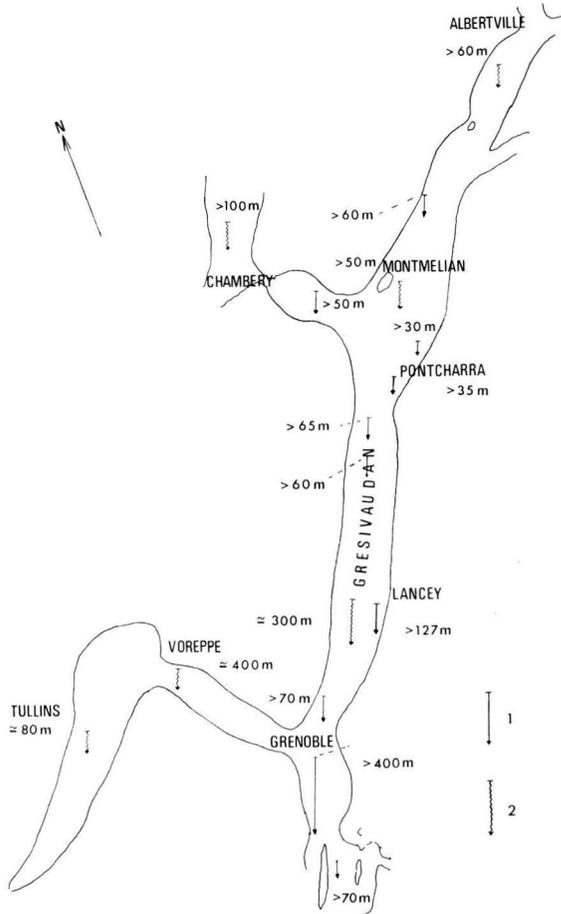


Figure 2: Le surcreusement de la vallée de l'Isère. 1 = sondage mécanique; 2 = sondage électrique.

La genèse des sillons est liée à l'existence des torrents sous-glaciaires. L'eau qui s'écoule sous le glacier se concentre dans les points bas et creuse un chenal. Mais par suite des mouvements du glacier, ce chenal peut se boucher et l'eau doit trouver un nouveau cheminement. Le glacier occupe alors le chenal abandonné par l'eau, l'élargit et l'approfondit.

De plus, à partir du moment où les chenaux existent, la dynamique du glacier va tendre à les conserver. Au contact d'une crête la glace a plus tendance à décoller et sa force érosive est plus faible, alors qu'elle augmente dans le chenal.

Il ne faut pas, non plus, négliger le rôle des versants. Plus celui-ci sera résistant, plus le sillon sera profond, et inversement lorsque la vallée s'élargit les crêtes s'abaissent.

L'importance de cette morphologie imprimée par l'érosion glaciaire qu'elle soit fossilisée ou non, est très grande lors de l'évaluation des ressources en eau. Deux sondages voisins peuvent atteindre la base de la formation aquifère, c'est-à-dire la surface d'érosion glaciaire à des cotes très différentes sur un même profil transversal.

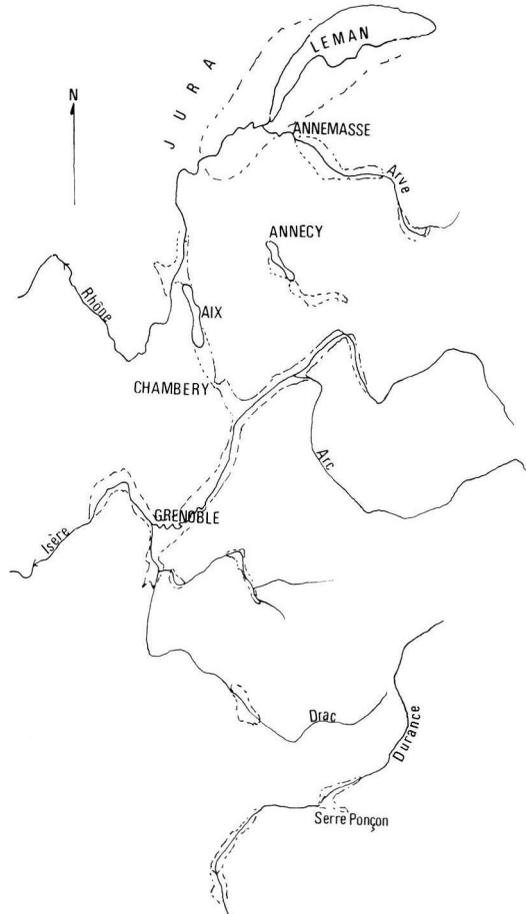


Figure 3: Les zones surcreusées des principales vallées des Alpes françaises.

Cette image des vallées façonnées par l'érosion glaciaire est assez éloignée de la vallée en U décrite comme preuve du passage des glaciers; la vallée à fond plat, à partir de laquelle a été définie la notion de vallée en U n'est que le résultat du remblaiement des ombilics surcreusés par des apports fluviaux ou lacustres. Ce remplissage masque évidemment la surface d'érosion glaciaire et, de ce fait, les ondulations qui sont la vraie marque de ce type d'érosion.

L'importance du surcreusement

L'importance d'un surcreusement se mesure par rapport à la surface topographique actuelle; elle correspond donc à l'épaisseur du remplissage alluvial. Pas plus que la forme exacte, elle ne peut être connue avec précision. Elle a pu varier au cours des différentes glaciations. Dans les Alpes françaises, le maximum de surcreusement est l'oeuvre des glaciers rissiens (FOURNEAUX 1976).

Les éléments connus concernant les surcreusements des différentes vallées ne sont pas nombreux sauf dans certaines zones qui, pour une raison ou une autre, ont fait l'objet de recherches plus poussées.

Du Nord vers le Sud, la première vallée qui offre des exemples de surcreusements conséquents est celle de l'Arve. L'épaisseur du remplissage alluvial dépasse cent mètres en aval de Bonneville. La remontée du substratum se fait un peu au Sud d'Annemasse où de très beaux sillons ont été mis en évidence au travers d'un verrou fossil. Nous verrons plus loin que des volumes d'eau considérables sont pompés dans ces sillons.

En amont de Bonneville plusieurs ombilics contiennent eux aussi des remplissages alluviaux dont l'épaisseur dépasse cent mètres mais les informations précises sont absentes.

Le lac d'Annecy et la Cluse qui le prolonge vers le Sud-Est constituent aussi un très bel exemple de vallée surcreusée par le passage des glaciers. Le surcreusement maximum correspond à la zone du petit lac mais le comblement est déjà très avancé. Il n'est pas possible de fixer une valeur même approximative de la valeur atteinte par le surcreusement dans les différents ombilics élémentaires qui constituent la Cluse d'Annecy. Mais il s'agit ici d'une zone d'affrontement entre une langue glaciaire issue du glacier de l'Arve et les glaciers du Beaufortin. Dans un tel cas le surcreusement est toujours moins marqué.

Il en est de même dans la cluse de Chambéry. Les valeurs maximales de surcreusement se trouve au niveau du lac du Bourget alors qu'à Chambéry, même le substratum affleure car c'est là que se faisait la rencontre entre les langues des glaciers du Rhône et de l'Isère. Vers le lac du Bourget, le substratum s'enfonce rapidement et le remplissage alluvial atteint probablement 200 m d'épaisseur. Dans la cluse, la couche de sédiments récents dépasse 70 m sans qu'il soit possible d'en dire plus.

Dans la vallée de l'Isère le surcreusement maximum dû aux glaciers rissiens est mal connu; mais il atteint des valeurs très élevées. Il est de l'ordre de 400 m à Voreppe selon une prospection géophysique. Sous la ville de Grenoble un sondage a traversé 400 m d'alluvions récentes sans atteindre le substratum (GIGNOUX & MORET 1952). Toujours d'après la géophysique, il serait vers 350 m à Lancey dans le Grésivaudan. Il est encore de plus de 100 m dans la plaine de Montmélian et en aval d'Albertville.

Plus au Sud, dans la vallée de la Durance, des surcreusements importants ont été découverts lors des travaux de reconnaissance du barrage de Serre-Ponçon. L'épaisseur des alluvions sous le site du barrage atteint 120 m dont 50 dans un canyon très étroit (BARBIER & GIGNOUX 1955).

Il existe aussi un ombilic très développé au Nord de Sisteron mais l'importance du remplissage alluvial n'est pas connue avec précision. L'exploitation des eaux souterraines

se fait uniquement dans la tranche supérieure où l'on rencontre de très fortes perméabilités au sein des alluvions modernes et il n'a jamais été réalisés de travaux pour reconnaître l'importance exacte des aquifères.

Si la surface d'érosion imprimée par les glaciers rissiens est mal connue, il n'en est pas de même de celle des glaciers du Würm. Elle a, dans toute la vallée de l'Isère, était creusée dans des argiles lacustres.

De ce fait, elle s'identifie aisément aussi bien en sondage qu'en géophysique. Les valeurs du surcreusement sont beaucoup plus faibles qu'au Riss. L'épaisseur des dépôts récents dépasse rarement 60 m au-dessus du toit des argiles lacustres. Les sillons évoqués plus haut se retrouvent partout avec des profondeurs de 10 à 30 m et des largeurs de 150 à 200 m.

On peut se demander pourquoi les glaciers du Würm II ont beaucoup moins approfondi les vallées, et en particulier celle de l'Isère, que ceux du Riss. Cela ne tient pas à la moindre épaisseur des glaces qui ont dépassé 1200 m à Grenoble mais très probablement au rôle des argiles lacustres qui ont constitué un tapis très lubrifiant. Elles représentent une masse beaucoup plus homogène que les autres formations géologiques de la région et ne se délitent pas lorsqu'elles sont humides. Il n'y a ni fissuration ni point de faiblesse. La structure même des argiles s'oppose à l'érosion par arrachement. Seules les eaux des torrents sous-glaciaires entaillent les argiles mais les gorges qu'elles peuvent y creuser se referment rapidement lorsque les torrents changent de lit.

Les glaciers du Würm III se sont avancés beaucoup moins loin que leur prédécesseur. Il n'est pas possible de mettre en évidence des surcreusements dont ils seraient responsables, bien que la surface d'érosion liée cet épisode glaciaire soit bien visible en certains points (FOURNEAUX 1976).

Le remplissage des surcreusements

L'analyse du remplissage alluviale montre la superposition de sédiments liés, pour la plupart aux épisodes interglaciaires, en raison justement du phénomène de surcreusement. Après le retrait des glaces, les vallées très approfondies sont occupées par des lacs. De tels lacs subsistent d'ailleurs en plusieurs endroits dans les Alpes.

Les phases glaciaires correspondent à des périodes d'érosion alors que les phases interglaciaires ou interstadias correspondent à des périodes de sédimentation.

Les sédiments les plus anciens connus dans le remplissage des grandes vallées des Alpes françaises ont des moraines attribuées au Riss. Elles sont toujours peu épaisses, discontinues et souvent très indurées. Elles ne peuvent pas constituer des aquifères intéressants car elles sont très difficiles à localiser depuis la surface.

Après le retrait des glaciers du Riss, de vastes lacs ont occupés les principales vallées et y sont restés pendant une période de plus de 70 000 ans (FOURNEAUX 1976). La sédimentation pendant toute cette période, est essentiellement argileuse. Ce sont ces argiles qui ont résisté à l'érosion lors du retour des glaces au Würm II.

Ces formations n'offrent pas de possibilités pour l'exploitation des eaux souterraines sauf là où existaient des cônes de déjection. La sédimentation argileuse fait alors place à des dépôts grossiers mais ceux-ci sont très difficile à séparer des formations identiques plus récentes.

Le stade glaciaire du Würm I ne s'est traduit, dans les Alpes françaises que par un net refroidissement et un changement de sédimentation mais les glaces ne semblent pas avoir envahi les grandes vallées. Les dépôts attribués à cette période sont très rares et ne présentent aucun intérêt pour l'exploitation des eaux souterraines.

Lors de l'avancée des glaces, au Würm II, un nouvel épisode de surcreusement intervient. Les moraines laissées par ces glaciers, comme celles du Riss ne sont jamais continues. Il s'agit, le plus souvent, d'argiles à galets qui sont difficiles à différencier des argiles lacustres sous-jacentes en prospection géophysique.

Le remplissage de surcreusement au cours de l'interstade Würm II/III est lui beaucoup plus intéressant; il s'agit le plus souvent d'alluvions grossières ou de sables. Il est ainsi possible de trouver des aquifères de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur car le plus souvent ce remplissage passe en continuité vers le haut aux alluvions récentes déposées par les rivières actuelles.

Nous allons voir sur deux exemples les possibilités offertes par de tels aquifères.

La plaine du Drac

La plaine du Drac au Sud de Grenoble est une ancienne dépression d'origine glaciaire comblée par les alluvions du Drac déposées soit directement soit par l'intermédiaire d'un delta lacustre.

Les études géophysiques ont montré l'existence de plusieurs sillons parallèles séparés par des crêtes dont certaines sont entièrement masquées sous les dépôts plus récents (fig. 4). Ces crêtes sont elles-mêmes affectées d'ondulations longitudinales.

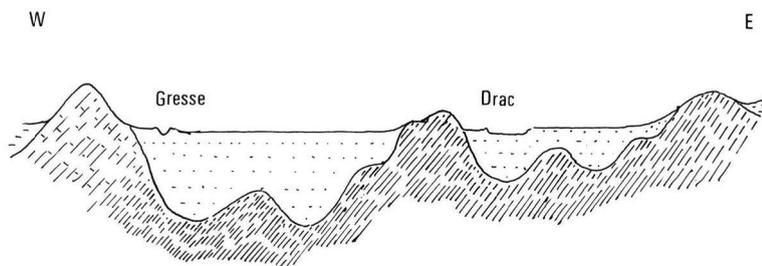


Figure 4: Coupe transversale de la plaine du Drac, au Sud de Grenoble.

Le remplissage alluvial des sillons est grossier pour certains, alors qu'il est beaucoup plus fin ailleurs. D'une manière générale, les apports grossiers sont le fait du Drac alors que la Gresse et le Lavanchon déposent surtout des éléments fins.

L'épaisseur maximum du remplissage alluvial est estimée à plus de 100 m mais aucun sondage mécanique n'a atteint le substratum dans les zones les plus surcreusées.

Le Drac actuel serpente au-dessus de deux sillons distincts séparés par une crête entièrement fossilisée.

L'écoulement des eaux superficielles et souterraines se fait obliquement par rapport aux directions structurales alors que l'érosion glaciaire s'est moulée sur ces structures. Les crêtes qui séparent les sillons sont aujourd'hui des obstacles à l'écoulement particulièrement pour les eaux souterraines. D'autant plus que les argiles lacustres émiennes font un barrage vers le Nord. Il est très probable qu'elles étaient beaucoup moins homogènes au niveau de la plaine du Drac ce qui explique qu'elles aient été beaucoup plus surcreusées par les glaciers du Würm II.

La nappe qui existe dans les alluvions grossières est barrée vers le Nord par les argiles lacustres (Éémien), vers le Nord-Ouest par des sédiments fins (lacustres post Würm III ?) et vers l'Ouest par la crête de Rochefort (fig. 5) formé par les calcaires du Jurassique Supérieur.

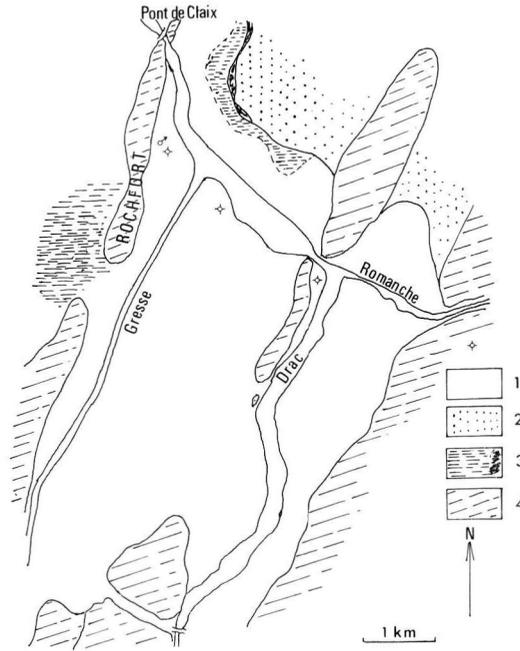


Figure 5: Carte géologique schématique de la plaine du Drac. 1 = alluvions modernes; 2 = alluvions anciennes et moraines; 3 = argiles lacustres; 4 = substratum secondaire.

Il existait une vaste zone marécageuse où serpentait le Drac au Sud-Est du village de Pont de Claix. Après canalisation du Drac et drainage (au XIV^e siècle) des sources importantes sont apparues vers les rochers de Rochefort: c'était l'exutoire de la nappe. Ces sources ont constitué la première alimentation en eau potable de la ville de Grenoble au siècle dernier. Mais rapidement leur débit a baissé, en raison surtout de l'enfoncement du lit du Drac qui servait alors de drain à la nappe. Il a fallu remplacer les captages gravitaires par des puits.

Les cartes isopièzes montrent que l'alimentation de la nappe se fait à partir des infiltrations du Drac par la trouée entre le rocher du Petit Brion au Sud et celui des Momots au Nord. Il existe une relation directe entre les variations du débit du Drac et celles des hauteurs piézométriques. Tout cela confirme qu'il y a continuité entre les alluvions récentes du Drac et le remplissage du surcreusement. La base de celui-ci étant beaucoup plus basse que le seuil actuel (à Rovon) de l'ombilic de Grenoble, il ne peut être question d'envisager une sédimentation uniquement fluviale pour expliquer ce remplissage.

Par contre, la Gresse dont les alluvions récentes sont très argileuses ne concourt pas à l'alimentation de la nappe.

Les débits pompés pour l'alimentation en eau potable de la ville de Grenoble dépassent 2m³/seconde. Plusieurs usines ont des stations de pompage réparties à l'Est et au Nord de la plaine; les débits pompés atteignent près d'un mètre-cube par seconde. Ces chiffres montrent l'intérêt de cet aquifère. De tels débits ne peuvent être obtenus qu'en raison de l'épaisseur des formations perméables, c'est-à-dire de la pré-existence d'un surcreusement.

La basse vallée de l'Arve (Haute-Savoie)

Entre Bonneville et Annemasse, l'Arve coule dans une vaste dépression de près de 20 km de long sur 5 à 6 m de large. Toute la partie amont de cette dépression forme une vaste plaine alluviale alors que la partie aval est entaillée par les cours actuels de l'Arve, de la Menoge et de leurs affluents. Il s'agit d'un vaste ombilic fermé au Sud d'Annemasse par un verrou (Salève, colline de Monthoux, Voiron).

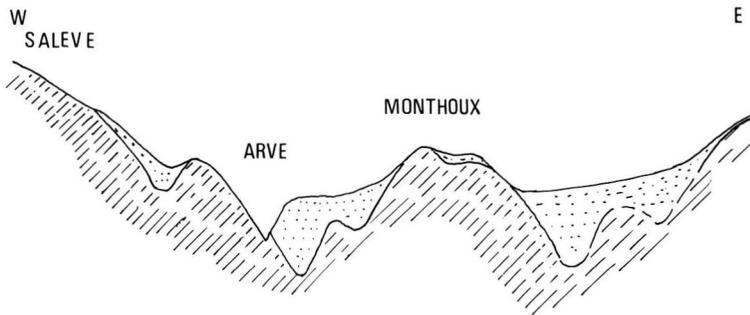


Figure 6: Coupe transversale de la basse vallée de l'Arve.

Cet ombilic est profondément surcreusé mais la forme et la position de substratum ne sont connues que dans la partie Nord, là où des travaux de recherche d'eau ont été menés. Ils ont mis en évidence la présence de sillons profonds comportant un remplissage grossier. Ces sillons sont recoupés par les cours de l'Arve et de la Menoge.

Ici, comme dans la vallée de l'Isère, le surcreusement maximum est daté du Riss (ARMAND & FOURNEAUX 1977). Mais dans la partie amont de l'ombilic, les sédiments émiens ont été érodés par les glaciers du Würm car il s'agit là d'une zone où le substratum remonte assez rapidement et donc une zone d'érosion intense. Par ailleurs, l'existence de verrous durs (le Salève et les Voiron) provoquait un resserrement des sillons et leur approfondissement relatif.

Il est très probable qu'une partie importante du remplissage de ces sillons est constituée par des moraines de fond qui ont été «lavées» par des circulations d'eau sous-glaciaire sous pression. En effet, les sondages ont montré l'existence de sédiments grossiers très propres mais à granulométrie très hétérogène.

La carte de la figure donne une représentation schématique du tracé des différents sillons ainsi que la position de la principale exploitation qui fournit de l'eau potable à la ville d'Annemasse. Les débits pompés dans ce sillon dépassent 200 l/seconde et sont loin de représenter toutes les ressources exploitables d'un seul sillon.

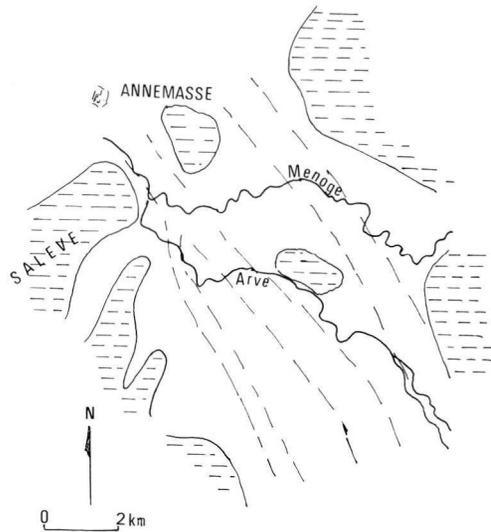


Figure 7: Carte schématique des sillons de la basse vallée de l'Arve.

Il n'existe pas ici d'émergence de la nappe visible même avant la mise en place des pompages; l'Arve qui recoupe le tracé des sillons sert de drain à ces eaux souterraines et les venues d'eau se font de façon occulte au sein des alluvions grossières du lit de la rivière.

L'alimentation de la nappe se fait par les infiltrations de l'Arve, mais surtout de ses affluents dans la partie Sud de l'ombilic et sur ses bordures ainsi que par les précipitations qui tombent sur la plaine. Il existe presque partout de petites nappes superficielles alimentées exclusivement par les précipitations d'où l'eau gagne la nappe profonde des sillons par percolation au travers de sédiments plus fins.

Des travaux actuellement en cours doivent permettre de mieux connaître le mécanisme de la circulation des eaux souterraines dans cette zone d'ici peu.

Conclusions

L'importance de surcreusements n'est pas toujours connue avec une grande précision, car les travaux profonds sont rares; elle est souvent mésestimée, voir même méconnue. De plus, les ressources en eau souterraine qui y sont puisées sont beaucoup moins grandes que celles qui sont tirées des alluvions modernes.

En effet, le remplissage des surcreusements comporte toujours une phase lacustre et une grande partie au moins des sédiments est constituée par des argiles ou des sables très fins. Seules les zones de cônes de déjection ou de delta lacustres présentent des perméabilités suffisantes pour que l'exploitation des eaux souterraines puisse être envisagée. C'est le cas de la plaine du Drac.

L'exemple de la basse vallée de l'Arve montre que les zones de remontée et de resserrement du substratum peuvent aussi comporter des aquifères intéressants mais elles sont souvent plus difficiles à déterminer car les sillons étroits ne se détectent pas en prospection géophysique.

D'une manière plus générale, la recherche des ressources liées aux surcreusements implique d'abord des études paléogéographiques ainsi que la mise en oeuvre de moyens conséquents. La prospection géophysique par sondage électrique permet ensuite de localiser les zones les plus favorables mais seuls les sondages mécaniques peuvent apporter la confirmation des hypothèses émises à partir des premières phases de travaux.

Partout où existent des formations offrant une bonne perméabilité, les ressources peuvent être dégagées car les possibilités d'alimentation de ces nappes profondes sont considérables.

Cette alimentation peut se faire soit à partir des aquifères superficiels et en particulier ceux liés aux alluvions modernes, soit à partir des infiltrations qui se produisent sur les cônes de déjection car ceux-ci sont souvent superposés à des structures identiques plus anciennes.

Le phénomène de surcreusement n'est pas localisé dans les grandes vallées. Les travaux de reconnaissance pour la construction de barrage ont montré l'existence de surcreusements importants dans des vallées à très haute altitude ainsi que sous des glaciers actuels avec là aussi des sillons très marqués qui ne manquent pas de poser des problèmes lors de la réalisation de captages sous-glaciaires.

Bibliographie

- ARMAND, C. & FOURNEAUX, J.-C. (1977): Les formations quaternaires de la basse vallée de l'Arve. — Arch. Sciences Genève, **30**, 3: 399—413, 9 fig.; Genève.
- BARBIER, R. & GIGNOUX, M. (1955): Géologie des barrages. — 333 p., 174 fig.; Paris (Masson).
- DEBELMAS, J. & MORET, L. (1959): Structure géologique et hydrogéologie du bassin de Vif et Pont-de-Claix (vallée du Drac) — Trav. Lab. Géol. Grenoble, **35**: 137—160, 7 fig.; Grenoble.
- FOURNEAUX, J.-C. (1976): Les formations quaternaires de la vallée de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble. — Géologie Alpine, **52**: 31—72, 1 tab., 29 fig.; Grenoble.
- GIGNOUX, M. & MORET, L. (1952): Géologie dauphinoise. — 2ème éd., 391 p., 91 fig., 3 pl.; Paris (Masson).

