

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

# L'alimentation des nappes d'eau par les rivières

## The Effect of Rivers on Groundwater Levels

par H. CAMBEFORT, ingénieur civil de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, professeur à l'Ecole Spéciale des Travaux Publics, Paris, France

### Sommaire

La réalisation, dans une cuve à analogie électrique, d'un modèle réduit de vallée alluviale, ne peut se faire correctement qu'en supprimant la rivière. La nappe s'écoule entre les berges étanches de la vallée comme si la rivière n'existait pas. L'influence de celle-ci ne se fait sentir que dans son voisinage immédiat, soit en drainant la nappe, soit en l'alimentant. L'épuisement d'une fouille profonde, même située à côté de la rivière, se fait avec un débit limité, mais il a pour effet de rabattre la nappe de part et d'autre du cours d'eau.

### Summary

Small scale models of alluvial valleys for tests in tanks by electrical analogy can only be correctly carried out by eliminating the river.

Groundwater flows between the impervious banks of the valley as if the river did not exist. The influence of the river is observed only in its immediate vicinity; it causes either drainage, or augmenting of the groundwater. Dewatering of a deep excavation, even near the river, can be carried out with a limited flow, but its effect is to drain the groundwater on both sides of the river.

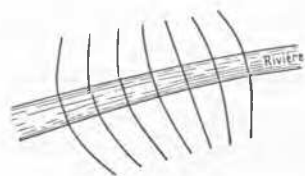


Fig. 1 Hypothèse à rejeter pour le tracé des lignes de niveau de la nappe  
False Theory for Drawing the Contour-Lines of the Phreatic Surface

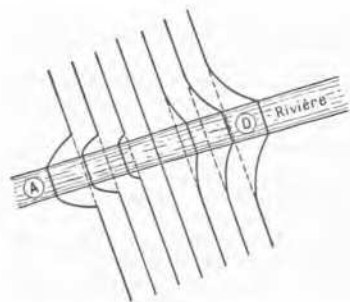


Fig. 2 Croquis montrant les différentes possibilités de raccordement entre les surfaces libres de la nappe et de la rivière (en A: la rivière alimente la nappe, en D: elle la draine)  
Sketch Showing the Different Possibilities of Transition between Water Table and River Level (A: river augments the groundwater; D: river drains the groundwater)

La réalisation dans une cuve à analogie électrique du modèle réduit d'une vallée alluviale d'environ 0,8 m de long sur 0,3 m de large traversée par une rivière à lit non colmaté, représentée par une électrode dont le potentiel varie linéairement de l'amont à l'aval, montre qu'il est impossible de retrouver la topographie de la surface libre de la nappe phréatique. Autrement dit les lignes de niveau de la nappe ne peuvent pas se raccorder progressivement à celles de la rivière (Fig. 1).

Pour supprimer cette impossibilité, il faut enlever l'électrode à potentiel variable représentant la rivière et déterminer simplement l'écoulement de la nappe avec des électrodes à l'amont et à l'aval de la vallée. Les lignes de niveau ainsi obtenues sont raccordées «à l'œil» sur le papier, avec celles de la rivière. Ce raccordement ne peut se faire qu'en faisant apparaître des points anguleux. Les considérations théoriques exposées plus loin conduisent au schéma de la Fig. 2. En A, la rivière au-dessus de la nappe alimente celle-ci, alors qu'en D elle la draine. L'observation in situ de ces anomalies est malheureusement très difficile à faire par suite de la faible étendue de la zone perturbée et de l'hétérogénéité des alluvions (Cambefort, 1951).

L'ajustement du modèle se fait par une modification des formes de ses parois isolantes latérales qui représentent la limite des alluvions perméables. Le changement de forme des électrodes situées à l'amont et à l'aval est pratiquement sans effet sur la forme et la position des lignes de niveau tant soit peu éloignées de celles-ci. Cette manière d'agir suppose évidemment

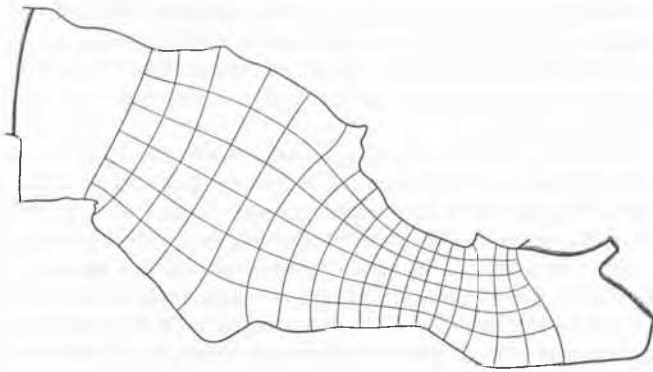


Fig. 3 Exemple d'écoulement d'une nappe, sans la rivière  
Example of Groundwater Flow without River

que l'alimentation de la nappe par les versants de la vallée est nulle. Par ailleurs, elle ne constitue qu'une toute première approximation mais celle-ci peut être suffisamment bonne pour les études ultérieures, étant donné l'hétérogénéité des alluvions et l'incertitude qui règne sur l'étendue des alluvions perméables (Figs. 3, 4, 5). Ces figures proviennent d'une étude faite par la Société «Solétanche» pour la Chute d'Isère-Arc (Electricité de France). Les observations faites en cours de travaux justifient a posteriori la conception du modèle.

Ce résultat, paradoxal à première vue, s'explique dès que l'on renonce à ne considérer que des écoulements situés dans le plan de la figure. On est en présence d'un écoulement dans l'espace. Celui-ci, dans certains cas (rivière alimentant la nappe), se décompose en deux écoulements plans dont les plans sont orthogonaux.

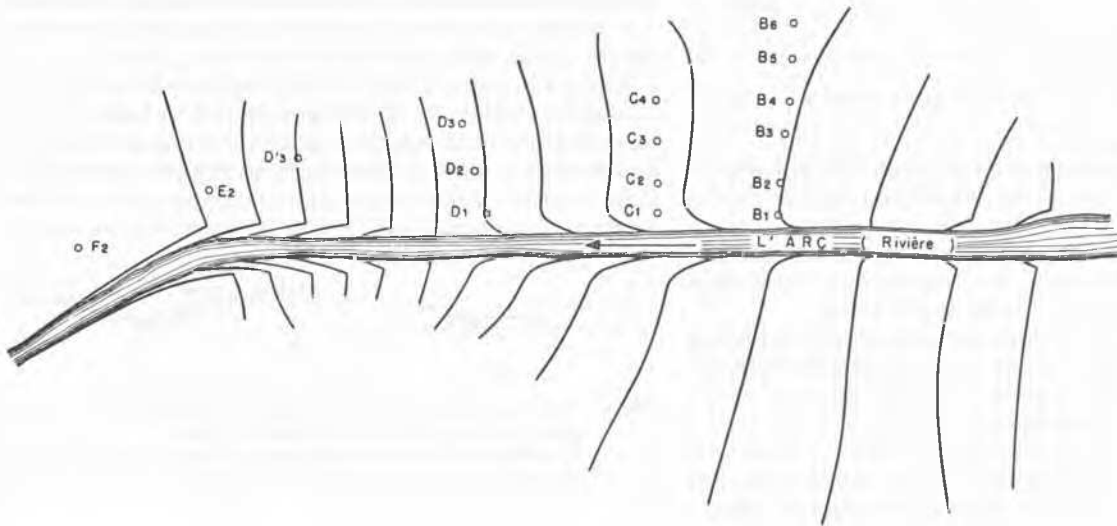
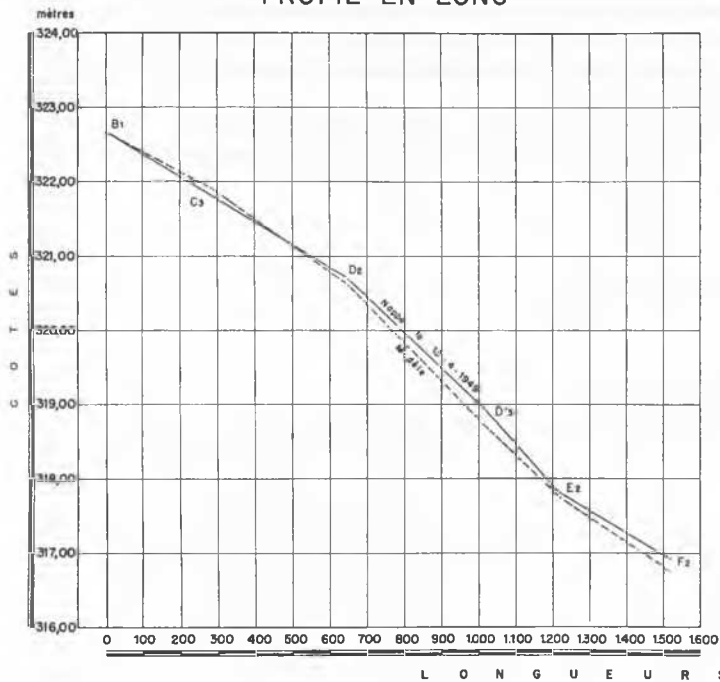


Fig. 4 Introduction de la rivière dans l'écoulement défini par la Fig. 3  
Effect of the River on the Groundwater Flow Illustrated in Fig. 3

PROFIL EN LONG



PROFILS EN TRAVERS

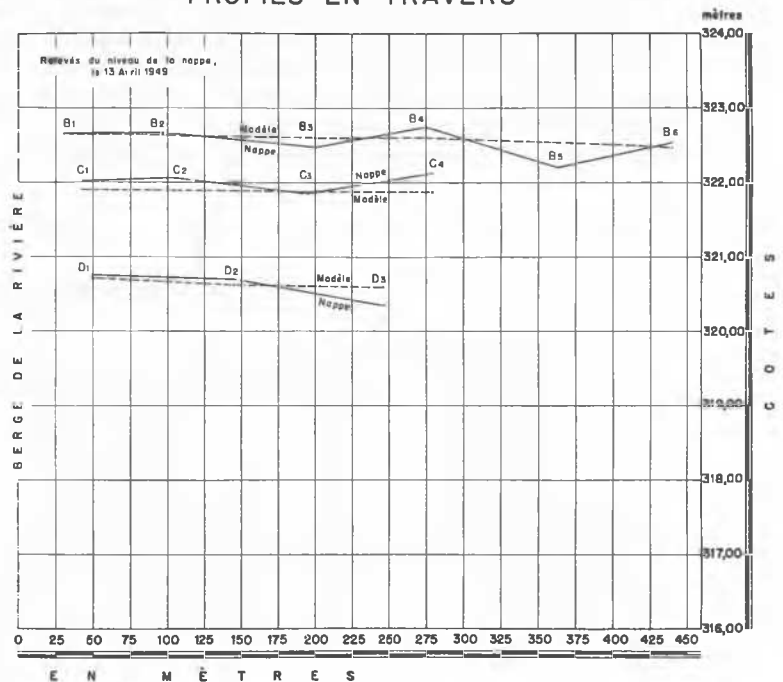


Fig. 5 Comparaison de profils en long et en travers de la nappe réelle et de la nappe de la Fig. 3  
Comparison of Longitudinal and Cross Sections of the Real Water Table and Water Table Illustrated in Fig. 3

Considérons tout d'abord le cas très simple d'une vallée alluvionnaire à profil rectangulaire (Fig. 6a) et supposons qu'initialement il n'y ait de l'eau que dans la rivière. Cette eau s'infiltre dans les alluvions et tous les filets d'eau *RN* se trouvent dans le plan de la figure (Dachler, 1946; Muskat, 1946). Une accumulation se fait dans le fond de la pente de la vallée l'eau *NE* s'écoule perpendiculairement au plan de la figure.

Le débit d'infiltration de la rivière, par unité de longueur, étant constant de l'amont vers l'aval (largeur du lit constante)

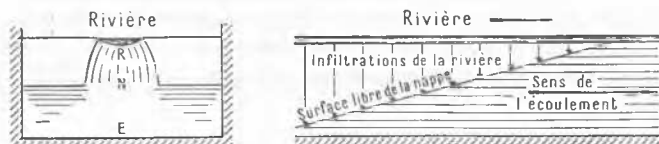


Fig. 6 Écoulement schématique dans une vallée alluvionnaire à profil rectangulaire  
Schematic Flow in a Rectangular Alluvial Valley

le volume de la nappe augmente vers l'aval et la surface libre de celle-ci monte de l'amont vers l'aval pour atteindre finalement le niveau de la rivière (Fig. 6b).

Cette surface libre n'est pas une ligne de courant. Elle peut donc effectivement remonter, en cotes absolues, de l'amont vers l'aval si les conditions locales le permettent.

A l'aval de son point de rencontre avec la surface libre de la rivière, les infiltrations de celle-ci cessent et si l'écoulement souterrain peut évacuer la totalité des débits infiltrés à l'amont, l'équilibre de niveaux nappe-rivière est fait.

Dans le cas contraire, le pont à partir duquel la surface libre de la nappe a rattrapé le niveau de la rivière, remonte vers l'amont jusqu'à ce que la condition précédente soit remplie.

Dans la nature le profil transversal de la vallée limitant la nappe est variable, alors que celui du lit de la rivière l'est peu. L'égalité des niveaux rivière-nappe ne peut pas se maintenir par suite des «remous» de la nappe produits par l'écoulement dans un canal à profil très rapidement variable à cause des rétrécissements et des élargissements successifs de la vallée.

La surface libre de la nappe se trouve tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la rivière. Quand elle est au-dessus la rivière forme drain et quand elle est au-dessous elle est alimentée par celle-ci. Il s'établit ainsi un équilibre entre les débits

d'alimentation (rivière au-dessus de la nappe) et de drainage (rivière au-dessous de la nappe), mais le débit de la nappe est variable d'un profil à l'autre. Quoique aucune mesure ne puisse être faite il est probable que ces variations de débit sont très faibles.

La Fig. 7 montre un profil en long relevé sur la Durance à Serre-Ponçon. Il confirme pleinement ces vues. Le décrochement de la nappe est produit par un resserrement du bed-rock suivi d'un approfondissement et d'un élargissement. Les observations montrent qu'au moment des crues de la Durance la surface libre de la nappe s'élève par rapport à la rivière tout en conservant une pente descendante vers l'aval. Les crues ayant pour effet de faire déborder la rivière, les infiltrations de celle-ci augmentent et la nappe ne peut que grossir pour évacuer ces eaux supplémentaires (l'observation de ces faits a été gênée par la présence de lentilles d'alluvions peu perméables qui maintenaient par endroits une nappe suspendue au même niveau que la rivière).

Lorsque la surface libre de la nappe est à un niveau supérieur à celui du fond du lit de la rivière (Fig. 8) on retrouve toute la complexité des écoulements dans l'espace avec une corrélation entre les débits d'alimentation ou de drainage et la différence de niveau nappe-rivière, contrairement au cas de la nappe située au-dessous du fond du lit de la rivière. Seul un modèle



Fig. 8 Profils en travers possibles lorsque la surface libre de la nappe passe au-dessus du fond du lit de la rivière  
Possibilities of Cross Section when the Water Table Grows over the Bottom of the River Bed

peut permettre de résoudre convenablement le problème. Mais le plus difficile est sans aucun doute l'établissement correct de ce modèle. La suppression pure et simple de la rivière ne constitue qu'une approximation, justifiée par le fait que les débits d'alimentation ou de drainage sont faibles lorsque les niveaux de la nappe et de la rivière sont voisins l'un de l'autre (Fig. 8).

L'analyse de ces phénomènes conduit néanmoins aux conclusions suivantes:

L'équilibre des niveaux nappe-rivière est différent pour chaque régime de la rivière. Le débit d'alimentation de la nappe

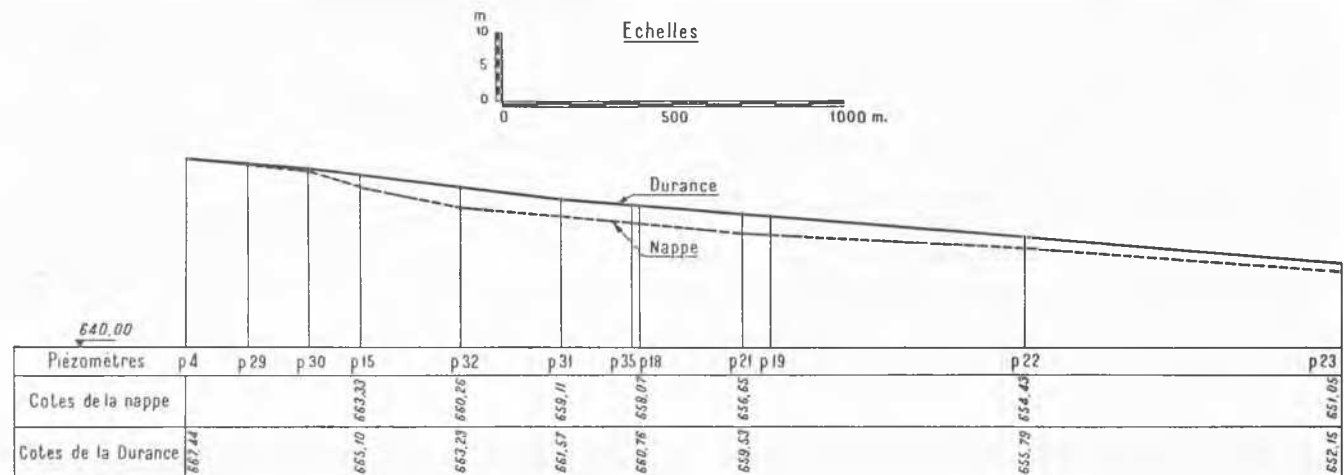


Fig. 7 Profil en long de la nappe et de la Durance en crue à Serre-Ponçon  
Longitudinal Section of the Water Table and the Flood of the Durance River

est en effet proportionnel à la largeur du plan d'eau de la rivière, alors que le débit de drainage dépend essentiellement de la différence de niveau entre la nappe et la rivière, et ces deux quantités ne varient pas de la même manière quand le régime de la rivière se modifie.

L'épuisement d'une fouille située dans le voisinage immédiat d'une rivière n'est pas directement influencée par celle-ci. Dès que le niveau de la nappe rabattue passe au-dessous du fond du lit de la rivière, l'apport d'eau dû à celle-ci reste constant quel que soit le rabattement. On ne «pompera pas la rivière» comme on aurait pu le croire à première vue et le rabattement de la nappe se manifestera des deux côtés du cours d'eau.

Les eaux de la nappe, initialement les mêmes que celles de la rivière, peuvent cependant, à un instant donné, en être nettement différentes par suite des possibilités de dissolution de certains sels par les eaux souterraines et des vitesses d'écoulement très dissemblables en surface et en profondeur.

L'expérience de plusieurs fouilles réalisées dans le voisinage immédiat de cours d'eau à Kembs et Ottmarsheim sur le Rhin, à Donzère sur le Rhône, à Serre-Ponçon sur la Durance, à Aiguebelle sur l'Arc, pour ne citer que les plus importants, montre bien que leur épuisement se fait avec des débits limites

malgré la proximité de la rivière. Cependant, l'analyse chimique des eaux pompées à Ottmarsheim par exemple montre que celles-ci sont un mélange des eaux du fleuve et de la nappe. Le lit du Rhin n'est donc pas colmaté contrairement à ce que l'on a cru pendant longtemps.

Pour terminer rappelons que l'alimentation de la nappe, par les berges de la vallée, peut, lorsqu'elle est forte, modifier complètement les phénomènes indiqués ci-dessus. La rivière joue alors uniquement le rôle de drain. Enfin, il existe des rivières dont le lit est effectivement colmaté. C'est par exemple le cas de la Seine à Paris. Son colmatage enlevé par dragage par exemple se rétablit avec une vitesse déconcertante: quelques heures suffisent. Mais, comme on vient de le voir, il n'est pas nécessaire de supposer que tous les lits des cours d'eau sont colmatés, pour expliquer des phénomènes souvent surprenants.

#### Références

- Cambefort, H.* (1951): Les alluvions graveleuses feuilletées et à structure ouverte. IV<sup>e</sup> Congrès des Grands Barrages, New Delhi.  
*Dachler, R.* (1946): Grundwasserströmung. Julius Springer, Wien.  
*Muskat, M.* (1946): The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media (Ann Arbor, Michigan). J. W. Edwards.