

# Hydrogéologie en zone sahélienne Région de Ségou (Mali)

Autor(en): **Burri, Jean-Paul**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **110 (1984)**

Heft 17

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75338>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Hydrogéologie en zone sahélienne

## Région de Ségou (Mali)

par Jean-Paul Burri, Genève

### 1. Résumé

La région de Ségou est caractérisée par un climat particulièrement chaud et sec. La nappe du Continental Terminal, à mi-distance entre la rivière Bani et le Niger qui l'alimentent, est déprimée de 25 à 30 m. En l'absence d'exutoire possible, il faut admettre que cette dépression soit due à une évaporation sous 30 à 35 m de recouvrement.

Les puits pour l'alimentation rurale sont relativement nombreux et l'eau semble abondante, mais sept forages d'une campagne antérieure pour l'alimentation d'une station d'essais agricoles s'étaient révélés secs.

Une étude par sondages électriques sur une surface de 300 km<sup>2</sup> a confirmé le faible potentiel aquifère du substratum Précambrien et mis en évidence la grande

hétérogénéité des formations superficielles du Continental Terminal et du Récent.

L'interprétation géophysique a été guidée par un relevé piézométrique. Deux forages productifs ont été implantés dans des alluvions anciennes de la rivière Bani, de perméabilité élevée et protégées par un recouvrement argileux de 5 à 10 m d'épaisseur. Les graphiques de sondages électriques étaient semblables dans la zone productive à ceux obtenus sur des forages secs d'une recherche antérieure. La différence résidait dans la position du niveau piézométrique et la granulométrie des formations perméables qui produisaient des résistivités semblables: dans un cas l'eau se trouvait tout à la base de sables fins, secs, dans l'autre elle baignait une couche de sables grossiers.

### 2. Introduction

L'étude hydrogéologique a été effectuée pour subvenir aux besoins d'une station d'essais agricoles à Cinzana. Elle a fait l'objet d'un marché de gré à gré conclu à la suite d'une visite au Mali.

La station d'essais de Cinzana avait été réalisée dans le cadre d'un accord de coopération technique entre la Suisse et la République du Mali, par la fondation Ciba-Geigy pour la coopération avec les pays en voie de développement. Elle a pour but d'améliorer la production des cultures vivrières de mil et de sorgho.

### 3. La région étudiée

La région étudiée couvre une superficie d'environ 300 km<sup>2</sup> située au Mali, à 250 km à l'est de Bamako, à 40 km au sud-est de Ségou, sur la route de Mopti. Elle est limitée au sud par la rivière Bani. Le Niger coule à une trentaine de kilomètres au nord.

En bordure de la zone sahélienne, les pluies sont encore relativement abondantes avec une moyenne annuelle de 750 mm concentrées sur les mois de juin à septembre.

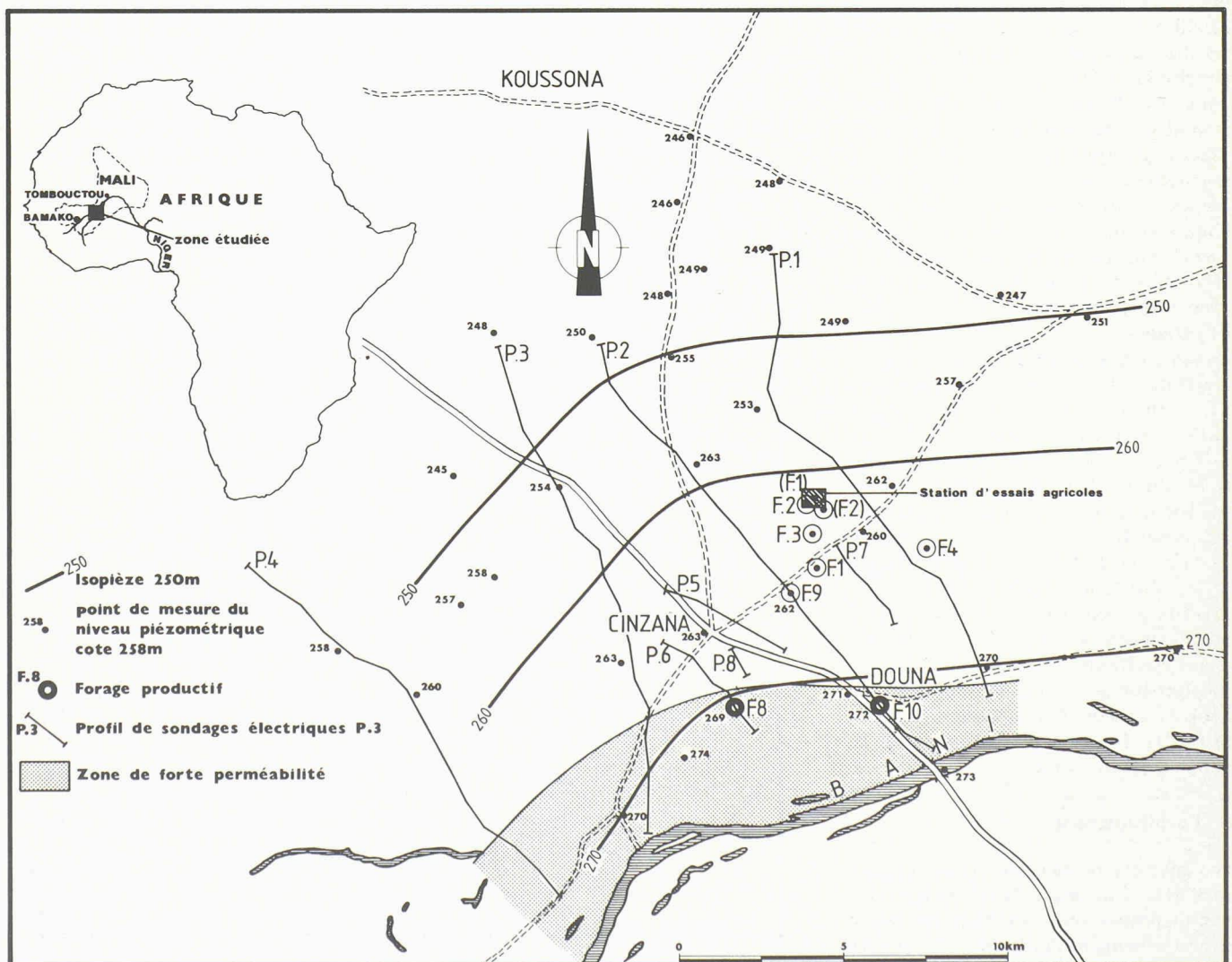


Fig. 1. — Plan de situation et carte piézométrique. Nota: la précision moyenne sur l'altimétrie est de  $\pm 2$  mètres.



La température moyenne annuelle de l'air est de 28°C et celle du sol, à 0,6 m de profondeur, de 30,6°C.

Les habitants s'alimentent en eau dans des puits creusés à la main, profonds de 5 m à plus de 35 m. Ils ne manquent pas d'eau, même en période de sécheresse. La température de l'eau dans les puits varie de 26°C à 31°C avec une exception à 24°C. (Les températures inférieures à 30°C sont anormales et locales. Elles sont dues à un refroidissement par évaporation dans des puits peu profonds.)

La région présente une topographie peu accusée. Elle est couverte d'une savane à arbustes épineux. Les terrains sont formés de sables, limons et argiles du Continental Terminal et d'alluvions récentes recouvrant des argilites et des grès du Précambrien. Des venues doléritiques recourent ces formations.

#### 4. Travaux exécutés

Dans un premier temps, la région étant réputée posséder des ressources importantes en eau, deux forages avaient été exécutés à proximité immédiate des bâtiments de la station d'essais, sans étude préalable. Ils se sont révélés secs.

Dans une seconde étape, les hydrogéologues d'Helvétas se trouvant sur place ont étudié les photos aériennes et une image satellite de la région. Les linéaments et les structures ont été repérés. Une étude géophysique d'une quinzaine de jours a comporté 20 km de traîné électrique, 8 sondages électriques, une carte d'anomalies gravimétriques et des profils magnétométriques pour mieux définir les structures précédemment localisées. Cinq sondages totalisant 553 m ont été forés principalement pour tester les structures profondes. Ils ont été négatifs avec une production inférieure à 500 litres/heure.

L'examen des graphiques de sondages électriques et quelques renseignements sur le niveau hydrostatique de la région nous ayant permis d'espérer qu'un aquifère puisse être localisé dans les formations du Continental Terminal et du Récent, nous avons proposé de reprendre les recherches.

Les travaux de terrain, terminés en un mois, ont comporté la mesure des niveaux piézométriques dans les puits, une campagne géophysique avec 92 sondages électriques et le levé à l'altimètre de précision de chaque point de mesure. Trois forages ont été implantés, suivis et testés, la direction d'écoulement de la nappe a été déterminée.

#### 5. La piézométrie

Les niveaux piézométriques se raccordent avec le niveau de la rivière Bani. Ils sont déprimés vers l'intérieur des terres avec une pente de l'ordre de 1,5‰ (fig. 1) jusque dans la région de Koussoua où ils se stabilisent 25 à 27 m plus bas que la

rivière et une vingtaine de mètres au-dessous de la confluence de la Bani et du Niger à Mopti (à environ 250 km à l'est). La pente de la nappe indique une alimentation à partir de la Bani (et probablement aussi du Niger).

La dépression de la nappe ne peut être expliquée, en l'absence d'exutoire possible, que par une évaporation supérieure à l'alimentation par les cours d'eau et l'infiltration des pluies. Cette évaporation serait encore sensible sous 35 m de couverture sablo-argileuse au sud-est de Koussoua.

#### 6. Les aquifères

Les aquifères potentiels ont été recherchés par sondages électriques disposés selon 8 profils longs d'une quinzaine de kilomètres pour les principaux d'entre eux, à raison d'un sondage électrique chaque kilomètre.

Les profils ont été orientés perpendiculairement aux structures repérées préalablement sur images satellites. Ils couvrent une vingtaine de kilomètres à l'amont de la station d'essais (fig. 1).

Des sondages électriques d'étalonnage ont été effectués sur les forages secs F1 à F4 exécutés lors des études précédentes. Un horizon de forte résistivité a été mis en évidence au sud des différents profils, jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur. La courbe de sondage électrique typique F10 (fig. 2) est très semblable à celle d'étalonnage obtenue sur le forage F3. La carte piézométrique démontre que l'horizon de forte résistivité est pour sa plus grande partie sous nappe en F10, alors qu'il est formé de sables fins secs en F3. On en a conclu que la granulométrie devait être nettement plus grossière en F10 et que l'on devait être en présence

d'un excellent aquifère, ce qui a été ensuite confirmé par forages. Cet aquifère, situé entre 10 et 20 m de profondeur, est parallèle à la rivière Bani (fig. 1, zone de forte perméabilité). Il est formé par les alluvions grossières d'un ancien cours de la rivière. Il s'étend, sur rive gauche, sur une largeur de 2 à 4 km et il a été suivi sur une quinzaine de kilomètres. Il est protégé, sur sa bordure nord, par une épaisseur de 5 à 10 m de terrains argileux.

Au-delà de cet ancien cours de la Bani, vers le nord, les résistivités, sur une trentaine de mètres de profondeur, sont très hétérogènes, aussi bien latéralement que verticalement.

Les sondages électriques F3, F1 et F9, en sont un exemple typique. Ils ont été effectués à 1 km de distance (fig. 1). Au-delà du premier terrain de surface, les limites des couches sont sensiblement à même profondeur et F1 ne peut s'interpréter qu'en imposant une résistivité de l'ordre de cinq fois plus faible qu'en F3 et F9 à la formation intermédiaire résistante, ce qui induit une baisse parallèle de la transmissivité.

L'étude piézométrique a déterminé que le niveau hydrostatique coïncidait avec la base de la partie perméable de cette formation.

Au-dessous de ces premiers terrains de perméabilités très variables, une zone de basse résistivité, imperméable, épaisse de 100 à 200 m, a été reconnue sur pratiquement toute la région étudiée. Elle est suivie en profondeur par une alternance d'horizons de résistivité contrastée suggérant une alternance de couches argilo-schisteuses et plus ou moins gréseuses, présentant un pendage de l'ordre de quelques pour-cent vers le nord. Ces horizons profonds ne semblent pas, de par le contexte, pouvoir fournir un aquifère inté-

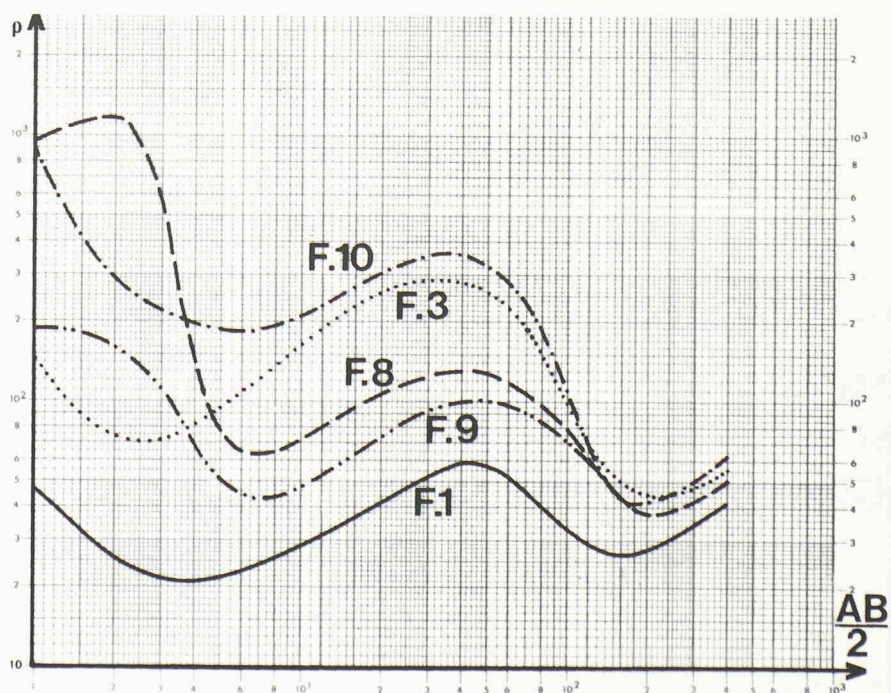


Fig. 2. — Sondages électriques d'étalonnage à l'emplacement des forages.



ressant. Ils n'ont pas été testés lors de notre étude. Il est probable que les sondages secs des études précédentes aient traversé leur partie supérieure.

## 7. Les forages

Trois forages (F8, F9, F10) ont été implantés sur la base des résultats conjugués de l'étude piézométrique et de l'étude géophysique, F8 et F10 pour exploiter les alluvions anciennes de la Bani, F9 pour tester l'emplacement le plus proche de la station d'essais encore susceptible d'être productif.

Ils ont été forés au marteau fond de trou dans les terrains secs, à la boue et au tricone dans les terrains sableux sous nappe.

Le sondage F8 a traversé, sur 8,5 m des terrains argileux imperméables qui offrent une bonne protection contre une éventuelle pollution superficielle, puis des sables fins à grossiers entre 8,5 m et 18,2 m. Ces sables sont perméables et au-dessous de 12,06 m (niveau hydrostatique) ils sont aquifères sur 6,14 m. Entre 18,2 m et 21,8 m, un niveau de gravier limoneux avec passées argileuses est peut-être encore perméable. Enfin, au-dessous de 21,8 m, les terrains appartenant au Continental Terminal sont imperméables. Les argilites du Précambrien ont été touchées vers 23 m.

Le sondage F9 a traversé des terrains imperméables jusqu'à 12 m de profondeur, puis une alternance de sables propres de bonne perméabilité et de sables limoneux de perméabilité médiocre jusqu'à 19,5 m. Le niveau hydrostatique est situé à 18,14 m, soit tout à la base de cette formation, dans un horizon de faible perméabilité.

Au-dessous de 19,5 m, le Continental Terminal contient encore des niveaux graveleux, jusqu'à sa base que nous situons à 34 m avec l'apparition d'argilites vertes et lie-de-vin du Précambrien. Les niveaux graveleux traversés au-dessous de 19,5 m ne se sont pas révélés perméables aux essais. Ils sont toujours limoneux et parfois argileux.

Le sondage F10 a traversé des limons argileux imperméables jusqu'à 6 m de profondeur, offrant une bonne protection, puis entre 6 m et 19 m, des sables grossiers graveleux et des sables plus fins, présentant une très forte perméabilité. Ils sont aquifères au-dessous de 9,28 m de profondeur (niveau hydrostatique) sur 9,72 m. Leur perméabilité diminue probablement au-dessous de 16,5 m de profondeur car ils deviennent un peu limoneux.

Au-dessous de 19 m et jusqu'à 21,3 m, fin du forage, les sables deviennent franchement argileux et imperméables.

Après installation des crépines, le débouillage du forage a été conduit par soufflage à l'air, puis des essais de pompage ont été effectués par paliers enchaînés sur F8 et F10. A F8, au débit de

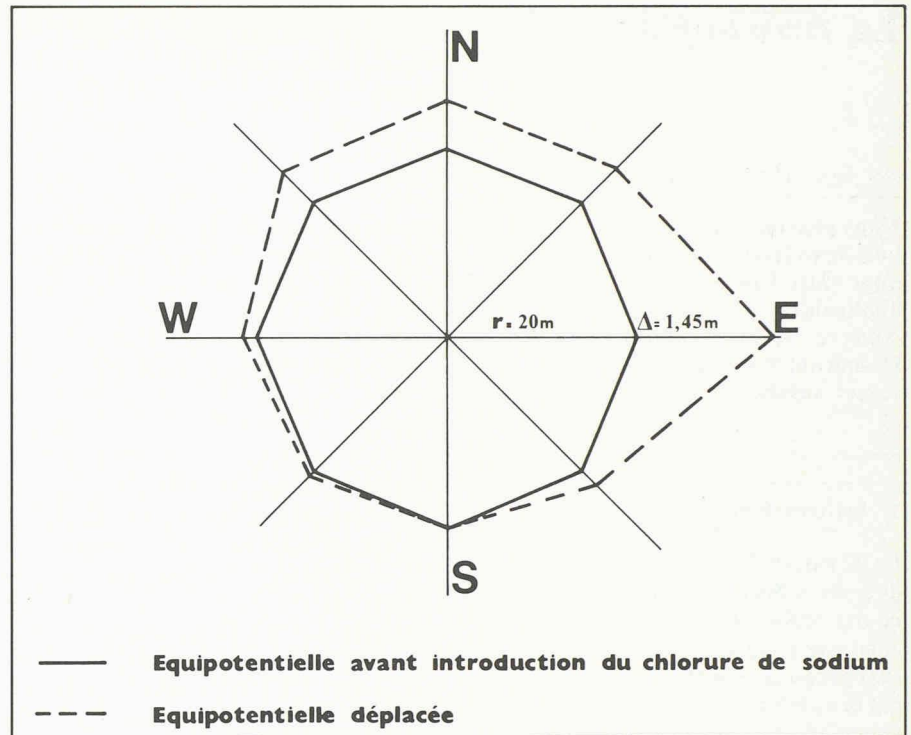


Fig. 3. — Sondage F10. Mesures du déplacement de la nappe par « mise à la masse ».

7,2 m<sup>3</sup>/h, maximum de la pompe, le rabattement était de 3,18 m.

Pour un débit de 10 m<sup>3</sup>/h, le rabattement, calculé par extrapolation de la courbe débits-rabattements, est compris entre 4,6 m et 6,4 m. Les valeurs obtenues par la droite de rabattement spécifique en fonction des logarithmes du temps donnent des valeurs comparables : 4,5 m de rabattement après une heure et 5,4 m après une dizaine de jours.

Des considérations géologiques (enrichissement en éléments fins, granulométrie plus étendue des sables au-dessous de 15,5 m de profondeur) nous font recommander de ne pas dépasser un rabattement de 3,2 m et de limiter les débits à 5 m<sup>3</sup>/heure. La transmissivité, calculée par la formule de l'approximation logarithmique de Jacob est de  $T = 8 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s et  $T = 5 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s calculée selon la méthode de Pouchan. Sur le forage F10, les débits ont atteint 45 m<sup>3</sup>/h (maximum de la pompe) pour un rabattement de 4,65 m.

Par une extrapolation identique à celle pratiquée en F8, on a calculé un rabattement de 4,7 m après un an de pompage à 40 m<sup>3</sup>/h, 6 m après quelques heures à 60 m<sup>3</sup>/h et 7 m après un an au même débit. La transmissivité est de  $T = 1,7 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

## 8. Direction d'écoulement de la nappe

La direction d'écoulement de la nappe a été déterminée dans les forages F8 et F10 par « mise à la masse » d'un sac de chlorure de sodium descendu dans l'aquifère. Le déplacement des équipotentielles tracées en surface du sol après introduction du sel est le reflet du déplacement avec la nappe de la masse conductrice créée par dissolution du sel.

### Bibliographie

- ARCHAMBAULT J., *Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale*. Paris 1960.
- BALDÉ O. ET HAARPAINTER R., *Etude géophysique pour la station de Cinzana*. Bougouni. Rapport inédit Helvétas. Avril 1981.
- PALAUSI G., *Hydrogéologie du delta central nigérien*. Rapport inédit de la DFMG. 1953.
- ROULLIER J.-D., *Etude préliminaire d'implantation de site de forage hydraulique pour la station d'essai agricole de Cinzana*. Rapport inédit Helvétas. Bamako 1980.
- STANUDIN B., *Essai électrique par la méthode de « mise à l'eau » pour déterminer la direction de la vitesse de la nappe de Balloy (Seine-et-Marne)*. Rapport inédit BRGM. Paris 1965. In Castany G. *Prospection et exploitation des eaux souterraines*. Dunod, Paris 1968.

Au sondage F10, le déplacement se fait en direction de l'est et du nord-est, ce qui confirme un écoulement vers l'aval et une alimentation depuis la Bani de la nappe située vers le nord (fig. 3).

Au forage F8, le déplacement de l'équipotentielle indique un courant venant du nord-ouest et allant vers le sud-est. Le forage F8 est près de la limite de la zone de bonne perméabilité et à un changement de direction de celle-ci (fig. 1). L'écoulement se fait principalement vers l'aval.

### Adresse de l'auteur :

Jean-Paul Burri  
Ingénieur géologue  
Géologie-Géophysique  
Route des Acacias 25  
1227 Genève

Exposé présenté à la « Journée de printemps » du Groupe suisse des hydrogéologues (GSH) à La Neuveville, le 22 avril 1983.