

**Venues d'eau turoniennes du tunnel de Braus.
De l'eau potable à 700 mètres de profondeur
(Sospel, L'Escarène, Alpes-Maritimes)**

**Braus tunnel turonian water sources. Drinking water at 700 meters below ground
(Sospel, L'Escarène, Alpes-Maritimes)**

ALEXANDRE EMILY¹ & GUILLAUME TENNEVIN¹

Résumé — Lors du creusement du tunnel de Braus pour la ligne ferroviaire Nice-Breil (1912-1922), d'abondantes venues d'eau ont été découvertes à la base des calcaires jurassiques et dans les calcaires turoniens, ayant entraîné de nombreuses difficultés dans l'avancée des travaux. La réalisation d'un imposant ouvrage souterrain, à plus de 700 mètres de profondeur, a permis de capter les eaux de l'aquifère fissuré du Turonien pour l'alimentation en eau potable des communes environnantes. Une synthèse géologique et hydrogéologique, menée entre juillet 2007 et début 2009, a permis de caractériser cette ressource. Les investigations réalisées montrent l'existence d'une réserve souterraine importante, qui restitue très progressivement les eaux météoriques, de sorte que le débit des venues d'eau est maximum durant l'été et la qualité des eaux excellente toute l'année.

Mots-clés — Tunnel de Braus, Sospel, L'Escarène, Alpes-Maritimes, Venues d'eau, Source, Aquifère fissuré, Turonien, Débit, Eau Potable.

Abstract — During the excavation of the Braus tunnel for the Nice-Breil railway line (1912-1922), abundant water sources were discovered at the base of Jurassic limestones and within Turonian limestones. The construction of an imposing subterranean system, more than 700 meters below ground, allowed the capture of water from the fissured Turonian aquifer to supply drinking water for neighboring communities. A geologic and hydrogeologic survey, carried out between July 2007 and the beginning of 2009, characterized this resource. Investigations show the existence of an important subterranean reserve that very gradually replenishes meteoric waters, resulting in a maximum discharge during the summer and in excellent water quality year-round.

Keywords — Braus tunnel, Sospel, L'Escarène, Maritime Alps, Water sources, Spring, Fissured aquifer, Turonian, Discharge, Drinking Water.

HISTORIQUE

Le tunnel ferroviaire de Braus traverse la montagne de Braus entre Touët de l'Escarène, au sud-ouest, et Sospel, au nord-est (Fig. 1). Ce tunnel est un ouvrage souterrain de la ligne Nice-Breil, qui présente une longueur de près de 6 kilomètres, à une altitude moyenne de 410 m NGF et sous une couverture rocheuse maximale de 700 mètres d'épaisseur. Il a été exécuté par la Compagnie des Chemins de fer PLM de 1912 à 1922, avec une interruption durant la guerre 14-18. La ligne, mise en service en 1928, est aujourd'hui exploitée par la SNCF.

Les travaux se sont heurtés à de grosses difficultés, liées à la nature géologique des terrains traversés et à des venues d'eau abondantes. Les arrivées d'eau se sont manifestées dans 3 secteurs distincts et concernent 2 réservoirs aquifères (Fig. 4) :

- le réservoir karstifié jurassique, aussi bien en partie occidentale au droit du Massif de la Graye, vers le km 1,0, qu'en partie orientale au droit du Massif de Pénas, vers le km 4,7,
- le réservoir fissuré turonien, principalement entre les km 3,32 et 3,34.

¹ Société H2EA, 29 Avenue Auguste Vérola, 06200, Nice.

D'après les archives consultées, le débit d'écoulement aurait atteint 200 l/s en pointe, avec une valeur résiduelle ultérieure variant de 20 à 80 l/s en fonction des saisons. Les débits produits par le massif turonien sont largement prédominants et ont donné lieu à un captage, objet de la présente publication.

Le drainage de la nappe turonienne par les travaux du tunnel a entraîné l'assèchement total et définitif en 1914 d'une importante source, localisée 1700 m au nord des venues d'eau principales, en bordure du vallon de Parais, à la cote NGF 730 m (Fig. 4 – source de Pastoris tarie). Le captage de cette émergence, dont le débit de base était compris entre 40 et 60 l/s durant une partie de l'année et le débit moyen annuel de 25 l/s, permettait initialement l'irrigation du plateau de la Vasta, sur la commune de Sospel, et son tarissement a causé un véritable drame à la cinquantaine d'exploitations agricoles touchées, ce qui a généré plusieurs contentieux dirigés contre le Maître d'Ouvrage du souterrain (affaire Pastoris-Allavena-Nicolet / Compagnie des Chemins de fer PLM).

Le captage des venues d'eau turoniennes du tunnel de Braus, qui se trouve approximativement au milieu du tunnel de Braus, se compose d'une chambre de captage, réalisée lors du percement du tunnel, et de drains situés sur les parois du tunnel ferroviaire (parois nord-ouest et sud-est). Ces drains ont été réalisés, par la SNCF, pendant les années 70, afin d'éviter des mises en charge derrière le parement du tunnel (Fig. 2 et 3).

Actuellement, ce captage alimente en eau potable les communes de Sospel et de l'Escarène (Fig. 2).

CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Voir les figures 4 et 5.

1. Contexte géologique

Le tunnel ferroviaire de Braus recoupe un synclinal à cœur nummulitique, auréolé par les formations jurassiques et crétacées, au centre des chaînes subalpines de l'Arc de Nice.

La série stratigraphique concernée est constituée des roches sédimentaires suivantes :

- **le Trias** : il constitue le niveau de décollement de la couverture sédimentaire. On y discerne des marnes, du gypse, de la cargneule et de la dolomie.
- **le Jurassique** : il est représenté par une épaisse série calcaire et dolomitique fracturée qui joue un rôle prépondérant dans l'armature des structures observées dans l'arc de Nice. L'ensemble de cette série a une épaisseur d'environ 400 mètres.
- **le Crétacé** : il comprend plusieurs niveaux bien différenciés, plus ou moins conservés dans la structure synclinale :
 - le Néocomien : alternance irrégulière de bancs calcaires et marno-calcaires, présentant des niveaux enrichis en oolithes ferrugineuses et des grès glauconieux. Cette série a une épaisseur d'environ 50 à 80 mètres,
 - le Cénomaniens : marne gris-noir, intercalée de lits et bancs calcaires. Cette formation a une épaisseur de l'ordre de 100 mètres,
 - le Turonien : calcaire gris en petits bancs, intercalé de lits marneux vers la base et le sommet. Cette formation a une épaisseur d'environ 400 mètres,
 - le Sénonien : alternance irrégulière de bancs calcaires, marno-calcaires et marneux. Cette série a une épaisseur de l'ordre de 200 mètres.

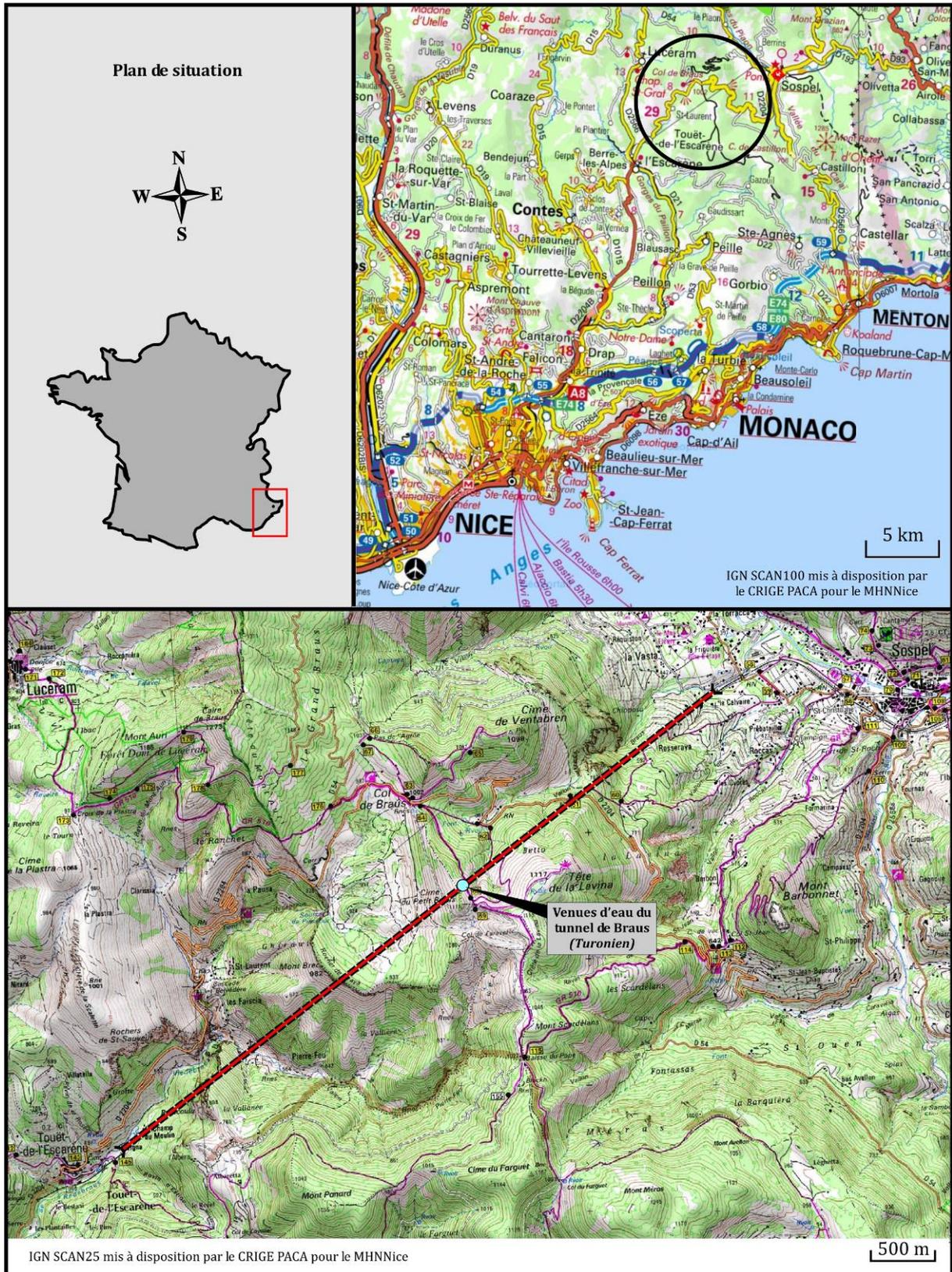


Figure 1 : Plan de situation.

*Venues d'eau turoniennes du tunnel de Braus.
De l'eau potable à 700 mètres de profondeur (Sospel, L'Escarène, Alpes-Maritimes)*

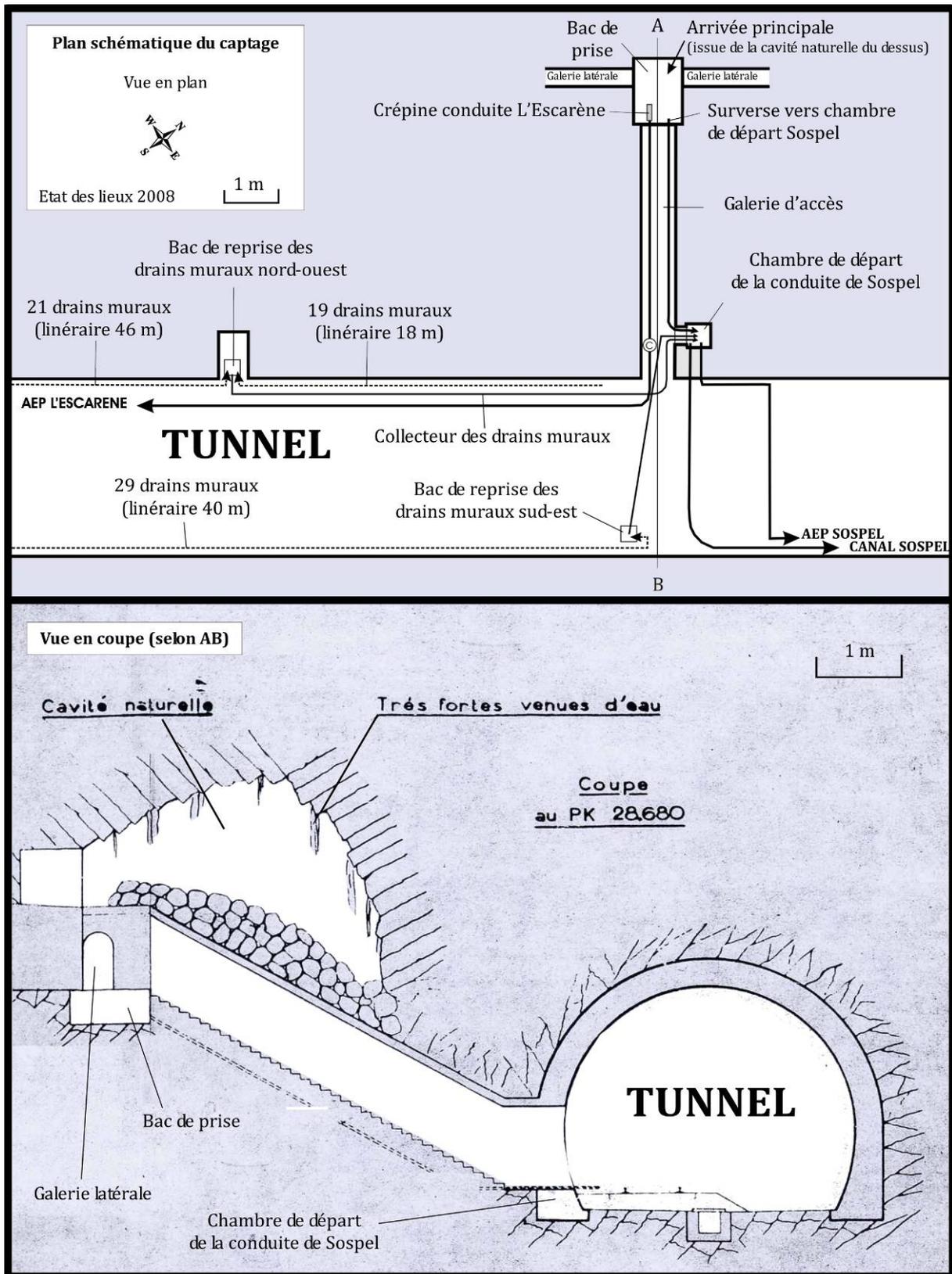


Figure 2 : Plan schématique du captage.

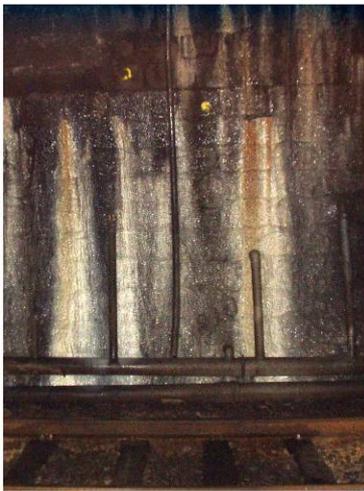
Le captage des venues d'eau dans le Turonien



Tête du tunnel de Braus, côté Touët de l'Escarène



Tête du tunnel de Braus, côté Sospel



Drains muraux



Entrée du captage



Galerie sud-ouest



Cavité naturelle, venues d'eau par les fractures de la roche, forte calcification



Figure 3 : Le captage des venues d'eau dans le Turonien.

- **l'Eocène** : il forme le cœur du large synclinal de Braus et se présente sous deux faciès distincts :
 - le Lutétien : calcaire gris-bleu en gros bancs, parfois marneux ou gréseux, pouvant débiter par un poudingue de base. Cette série a une épaisseur d'environ 60 à 80 mètres,
 - le Priabonien : marne grise, débutant par un marno-calcaire sableux. Cette formation a une épaisseur d'environ 150 à 200 mètres.

La mise en place des reliefs de l'arc de Nice résulte du glissement et du plissement vers le Sud de la couverture sédimentaire sur une « couche savon » (argiles et évaporites du Trias) lors du soulèvement des Alpes (orogénèse alpine).

La géométrie du synclinal de Braus est particulièrement simple et se caractérise par une cuvette à large rayon de courbure et à symétrie presque parfaite. Cette simplicité contraste avec la complexité structurale des bordures du synclinal :

- d'une part, en partie occidentale, les plissements et écaillages vers le sud-ouest affectent sa périphérie : fronts chevauchants des unités jurassiques sur le Crétacé (Massif de la Graye, Roccaniéra),
- d'autre part, en partie orientale, sa périphérie est affectée par des écaillages en bordure de la cuvette de Sospel, au front des argiles gypseuses triasiques (Cime de Pénas, Resseraya),
- enfin, le réseau plus ou moins dense de failles verticales découpe ce synclinal suivant quatre directions principales : N 0, N 45, N 100, N 135.

2. Contexte hydrogéologique

2.1. Principaux aquifères de la montagne de Braus

Dans le secteur du synclinal de Braus, il existe 3 aquifères principaux superposés, séparés par des niveaux imperméables :

- **l'aquifère karstique** contenu dans les calcaires jurassiques et néocomiens. Il est limité en profondeur par les argiles et les évaporites du Trias et au sommet par les marnes cénomaniennes. Ce réservoir, intensément découpé par la tectonique alpine, concerne localement deux massifs distincts :
 - le Massif de Pénas au nord-est, drainé sur la rive droite de la Bévéra par les sources de Piaon (450 m NGF),
 - le Massif de la Graye au sud-ouest. Les exutoires locaux offrent des débits très réduits et son drainage s'effectue probablement en profondeur en direction des sources sous-marines de Cabbé à Roquebrune-Cap-Martin (C. Mangan, H2EA et E. Gilli, 2007).
- **l'aquifère fissuré** du Crétacé supérieur (Turonien et Sénonien), limité en profondeur par les marnes imperméables du Cénomaniens. Ce réservoir aquifère, très cloisonné, est largement développé sur les flancs du synclinal de Braus, où les exutoires locaux offrent des débits limités (Fig. 4 : sources du col de Braus, source de Redebraus, source de Couous, source de Pont de Fountan, source de Fountan, source de la Vallière, sources du Rivet, source de Pierrefeu,....). Depuis le percement du tunnel de Braus, ce réservoir est en partie drainé en profondeur au niveau des venues d'eau turoniennes.
- **l'aquifère de type fissural à karstique** des calcaires du Lutétien (Eocène inférieur à moyen), où les circulations sont bloquées par les marno-calcaires sénoniens peu perméables.

Dans le synclinal de Braus, le drainage souterrain de ce réservoir est collecté par la gouttière axiale jusqu'à deux échancrures topographiques du massif, établies à ses points de contact altitudinalement les plus bas avec le marno-calcaire sénonien :

- la source de Pissaour (850 m NGF) qui naît en tête du vallon de Redebras sur la commune de Lucéram,
- les sources du Parais (800 à 825 m NGF) qui émergent sur le territoire de Sospel, après un relais hydraulique au sein d'une masse éboulée sur le versant.

2.2. Les venues d'eau du tunnel de Braus

Les venues d'eau du tunnel de Braus se situent au cœur du synclinal de Braus, dans les calcaires du Turonien, à une altitude de 410 m NGF environ. Les débits de cet exutoire jaillissent au toit du souterrain dans une véritable cavité ouverte sur une fracture de direction N 135 (Fig. 2 et 3).

L'impluvium de cette ressource concerne une partie de la montagne de Braus, dénuée d'exutoire important. Par exclusion, il est possible d'en délimiter l'extension maximale en se basant sur l'existence des émergences principales issues du même aquifère :

- au nord, dans le vallon de Guiou, les sources du Pont de Foutan et de Foutan,
- au sud-est, dans le ravin de Saint Jean, les sources du Rivet et de Roccas, auxquelles il convient d'adjoindre la source proche Millon de Vereillon,
- au sud-ouest, dans les vallons de Redebras et de Pierrefeu, les sources de Redebras, de Pierrefeu et de Vallière.

Cet impluvium, qui se développe sur les deux flancs du synclinal, a une superficie globale de l'ordre de 3,5 à 4,0 km² (Fig. 5).

ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA VENUE D'EAU

1. Recueil des données

Un suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau a été réalisé entre le 15 octobre 2007 et le 21 décembre 2008. Dans le tunnel de Braus, les appareils de mesure suivants ont été installés :

- un compteur volumétrique, muni d'un boîtier d'enregistrement des données, sur la conduite d'adduction de la commune de Sospel. Ce compteur a été installé à la sortie du tunnel de Braus,
- un compteur volumétrique, muni d'un boîtier d'enregistrement des données, sur la conduite d'adduction de la commune de l'Escarène. Ce compteur a été installé dans le captage de la venue d'eau,
- un limnimètre sur le canal de surverse des venues d'eau du tunnel de Braus. Cet appareil a été installé en amont des apports provenant des venues d'eau jurassiques du tunnel de Braus.

Afin de mesurer en continu la conductivité de l'eau des venues d'eau du tunnel de Braus, un conductimètre a été installé dans le réservoir Saint-Roch (réservoir d'alimentation en eau potable du chef-lieu de la commune de Sospel). Ce suivi a été complété par 7 analyses des cations/anions majeurs des eaux brutes.

2. Examen des débits de la venue d'eau du tunnel de Braus

Les débits mesurés par les appareils installés dans le tunnel ont permis de reconstituer le débit total des venues d'eau du tunnel de Braus entre le 15 octobre 2007 et la 21 décembre 2008 (Fig. 6).

Venues d'eau turoniennes du tunnel de Braus.
De l'eau potable à 700 mètres de profondeur (Sospel, L'Escarène, Alpes-Maritimes)

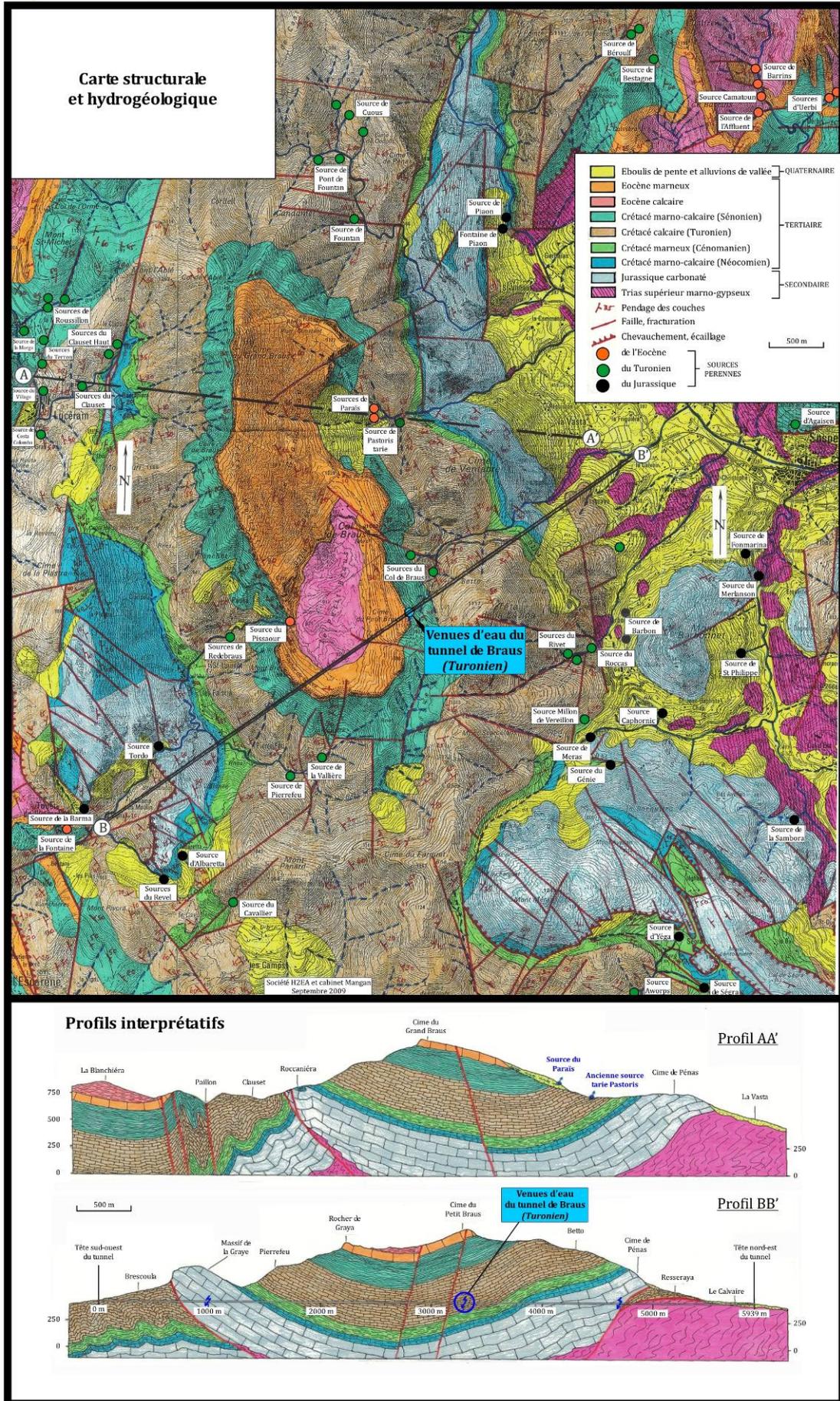


Figure 4 : Carte structurale et hydrogéologique.

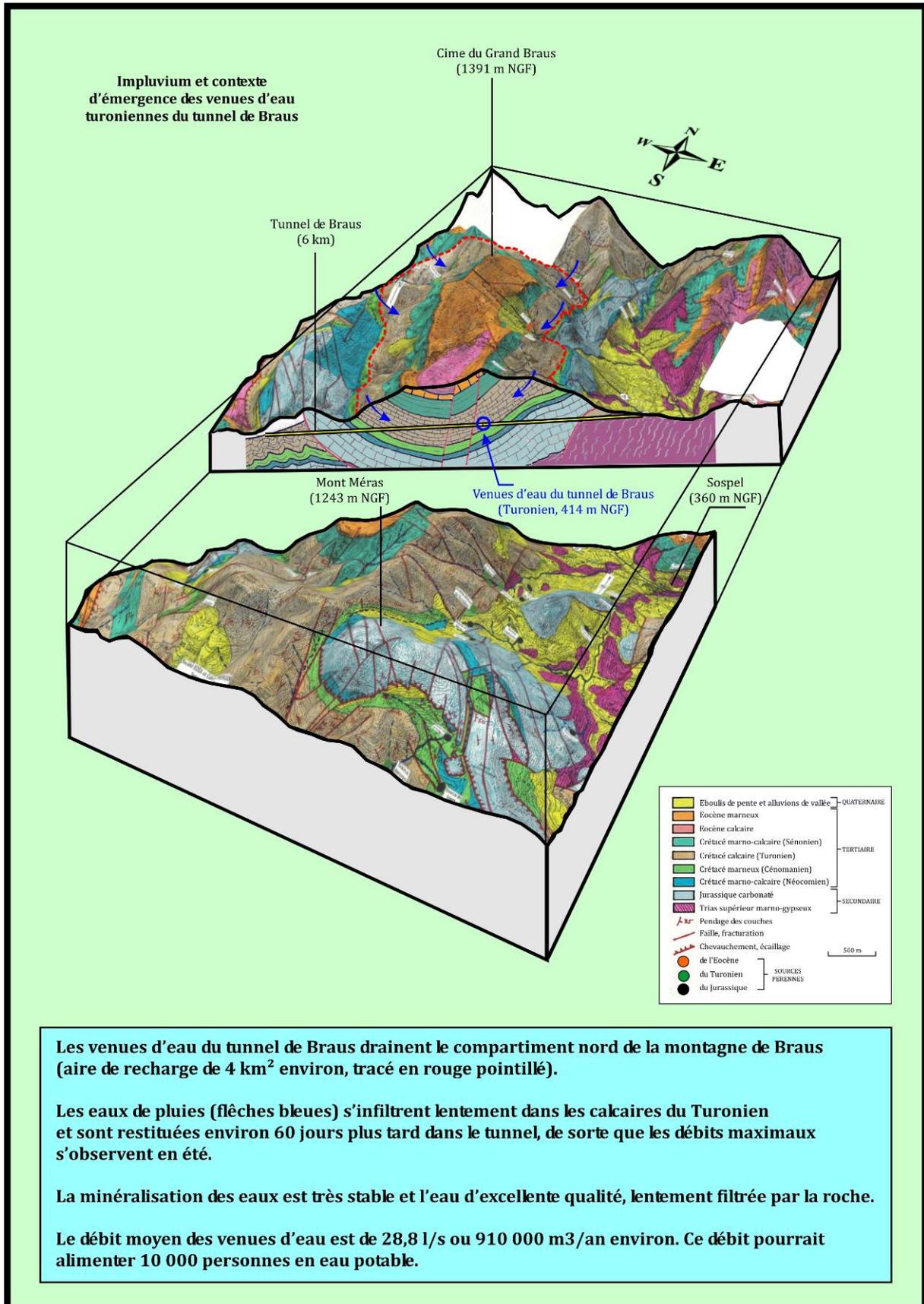


Figure 5 : Impluvium et contexte d'émergence des venues d'eau turoniennes du tunnel de Braus.

Pendant cette période, le débit des venues d'eau a évolué entre 17,8 l/s (le 11/12/2007) et 43,8 l/s (le 15/12/2008) avec une moyenne de 28,8 l/s. De tels débits ne sont pas courants en sortie de l'aquifère turonien, qui est généralement très cloisonné et le plus souvent drainé par des émergences nombreuses, étagées et de débit moindre. Ces débits mettent ainsi en évidence l'existence d'un important réservoir fissuré alimentant les venues d'eau.

On rencontre des cas comparables dans la même formation au niveau de la Haute Roya, sur la commune de Breil-sur-Roya (sources de Ciavondola, de la Maglia et de Cereigea). Il est probable dans de tels cas que les conditions structurales jouent un rôle prépondérant, et/ou que les massifs concernés soient partiellement karstifiés, ce qui expliquerait la collecte préférentielle des eaux infiltrées le long d'axes fracturés, plus ou moins élargis par la dissolution. Le contexte des venues d'eau du Braus irait dans ce sens, puisque les débits jaillissent au toit du souterrain dans une véritable cavité ouverte sur une fracture de direction N 135.

La courbe de la figure 6, qui présente l'évolution des débits journaliers des venues d'eau entre octobre 2007 et décembre 2008, permet d'observer les 3 phénomènes suivants :

- l'étiage estival de l'année 2007 avec une courbe de tarissement se prolongeant jusqu'au mois de décembre 2007,
- l'augmentation très rapide du débit de la venue d'eau lors d'épisodes pluvieux (en moins d'une journée),
- l'augmentation progressive du débit de la venue d'eau en période d'étiage, sans l'influence directe d'un épisode pluvieux significatif.

L'augmentation rapide du débit, lors d'épisodes pluvieux, met en évidence des transferts de pression rapide jusqu'à l'exutoire entraînant une augmentation du débit des venues d'eau. L'augmentation progressive du débit des venues d'eau en période non influencée semble indiquer qu'une partie de l'eau s'infiltrant dans l'impluvium de la ressource, transite lentement par des petites fissures avant d'atteindre le réservoir fissuré noyé alimentant les venues d'eau du tunnel de Braus. On observe ainsi une réponse retardée aux épisodes pluvieux, caractérisée par un temps de transfert moyen d'environ 60 jours.

Cette analyse souligne la complexité du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère fissuré turonien, caractérisé par 2 types de transferts de pression distincts.

3. Examen des paramètres physico-chimiques de la venue d'eau du tunnel de Braus

L'étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques des venues d'eau du tunnel de Braus a été effectuée à partir du suivi de la conductivité de l'eau et de 7 analyses chimiques sur les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et anions majeurs (HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-). Les courbes de la figure 6 présentent l'évolution des paramètres physico-chimiques entre octobre 2007 et décembre 2008.

Sur l'ensemble de la période de suivi, on observe une faible variation de la conductivité et des teneurs en cations et anions majeurs.

La conductivité montre une très légère augmentation pendant la période d'étiage estivale 2008. Cette très faible hausse peut être interprétée comme l'arrivée à l'exutoire d'une eau plus ancienne et donc légèrement plus minéralisée, caractérisant la vidange du réservoir alimentant les venues d'eau, en période non influencée.

Les hydrogrammes relativement plats obtenus avec les paramètres physico-chimiques des eaux montrent que l'important réservoir fissuré alimentant les venues d'eau joue un rôle régulateur important lors d'épisodes pluvieux.

Cet important réservoir fissuré favorise un bon mélange entre les eaux récentes et les eaux anciennes pour obtenir en permanence un signal pratiquement identique à l'exutoire. Cette interprétation implique un temps de transfert moyen jusqu'à l'exutoire assez long, qui pourrait

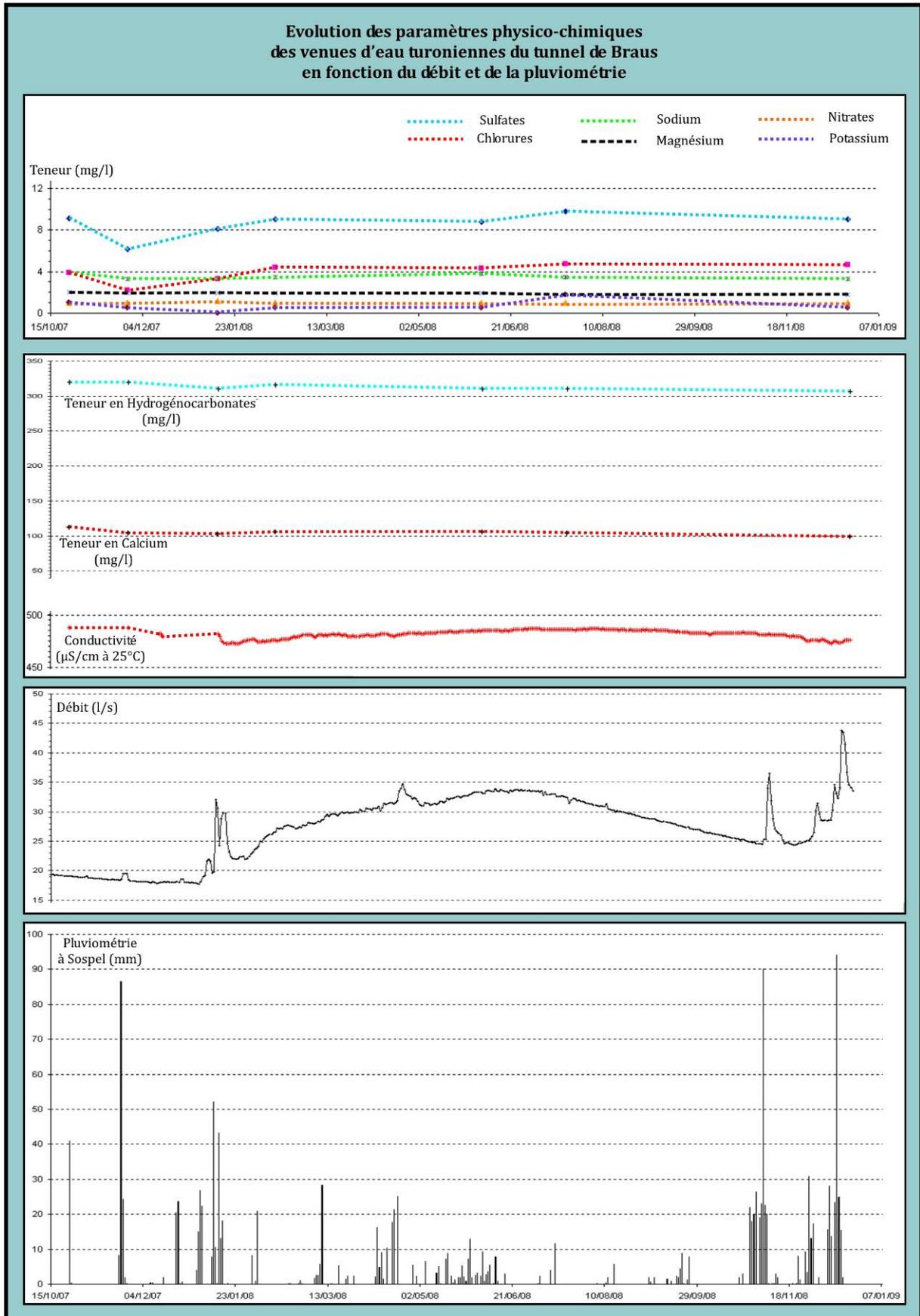


Figure 6 : Evolution des paramètres physico-chimiques des venues d'eau turoniennes du tunnel de Braus en fonction du débit et de la pluviométrie.

être comparable à celui qui a été évalué dans l'analyse de l'hydrogramme des débits des venues d'eau, c'est-à-dire environ 60 jours.

Les hydrogrammes relativement plats obtenus avec les paramètres physico-chimiques contrastent avec les variations rapides du débit, lors d'épisodes pluvieux (Fig. 6). Cette différence de comportement s'explique par un transfert de pression non accompagné d'un transfert de masse.

4. Conclusion

Les venues d'eau du tunnel de Braus drainent la partie nord de la montagne de Braus (aire d'alimentation de l'ordre de 4 km²).

Les eaux de pluies s'infiltrent lentement dans les calcaires du Turonien et sont restituées environ 60 jours plus tard dans le tunnel, de sorte que les débits maximaux s'observent en été. La minéralisation des eaux est très stable et l'eau d'excellente qualité, lentement filtrée par la roche.

Le débit moyen des venues d'eau est de 28,8 l/s ou 910000 m³/an environ. Ce débit pourrait alimenter 10000 personnes en eau potable.

REFLEXIONS ET PERSPECTIVES

Le percement de tunnels routiers ou ferroviaires est l'occasion de recouper des réserves en eau souterraines parfois importantes et directement utiles à l'homme. Au-delà de l'exemple du tunnel de Braus, on peut citer les venues d'eau du tunnel ferroviaire de Berghe, qui servent à l'alimentation en eau potable de Fontan. A Nice, le tunnel autoroutier de Las Planas a dévié les eaux de la source historique des Mourailles, et les eaux récupérées servent aujourd'hui à l'arrosage de la ville de Nice (Gilli, Mangan, Mudry, 2006). Parfois, les eaux captées sont simplement déversées au milieu naturel, à l'exemple du tunnel ferroviaire du Col de Tende qui rejette près de 100 l/s en étiage dans la Roya.

Pour de nouveaux projets d'ouvrages souterrains, il convient de bien prendre en compte la problématique « eaux souterraines ». D'une part pour éviter des retards de chantier lors de la phase travaux, mais aussi pour pérenniser la vie des ouvrages. L'expérience accumulée par l'homme depuis deux siècles dans ce type de projet montre en effet qu'un traitement insuffisant de l'évacuation des eaux est à l'origine de nombreux désordres nécessitant quelques années plus tard des travaux coûteux de confortement.

Il convient également de bien évaluer les impacts que pourrait avoir le creusement d'un tunnel sur les écoulements périphériques. Il n'est pas rare, en effet, que les travaux court-circuitent le passage des eaux souterraines. Ainsi, le tunnel de Braus a causé le tarissement définitif de la source Pastoris à Sospel. Le tunnel ferroviaire de Monte-Carlo a provoqué le tarissement de la source Ingram, utilisée pour l'alimentation en eau potable de Monaco, avant que la circulation souterraine ne soit rétablie de manière artificielle.

Ainsi, le creusement d'un tunnel constitue un système de captage très performant, pour peu qu'il rencontre des venues d'eau et qu'il ait peu ou pas d'impact sur les ressources en eau environnantes. Il procède donc d'un double intérêt de bien capter les venues d'eau rencontrées lors du percement des tunnels, d'une part pour assurer la sécurité à long terme de l'ouvrage, et d'autre part, pour permettre un usage noble des eaux souterraines.

Remerciements — Nous tenons à remercier la commune de Sospel pour nous avoir autorisés à publier les données récoltées dans le cadre de la synthèse hydrogéologique sur les venues d'eau du tunnel de Braus.

Nous remercions également la SNCF, qui nous a permis d'installer et d'accéder à nos équipements, alors même que le tunnel était en exploitation (ligne Nice-Breil-Cunéo).

Pour terminer, nous tenons à remercier particulièrement Christian Mangan, hydrogéologue, pour sa contribution expérimentée à l'étude.

ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

H2EA (EMILY A. & TENNEVIN G.) & MANGAN C., 2009 — Alimentation en eau potable des communes de Sospel et de l'Escarène. Venues d'eau du tunnel de Braus. Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité. *Dossier inédit du de la Société H2EA et du Cabinet Mangan (communes de Sospel et L'Escarène)*.

ANONYME, 1928 — De Nice à Coni par la voie ferrée. *L'Illustration*, 3 novembre 1928.

MANGAN C., 1991 — Commune de Sospel (06). Synthèse hydrogéologique et étude des disponibilités en eau souterraine. *Dossier inédit du Cabinet Mangan (Commune de Sospel)*.

MANGAN C. & TENNEVIN G., 2004 — Etude hydrogéologique de la commune de Touët-de-l'Escarène (06). Recherche d'une ressource pour Alimentation en Eau Potable. *Dossier inédit du Cabinet Mangan et de la Société H2EA (commune de Touët-de-l'Escarène)*.

MANGAN C. & TENNEVIN G., 2004 — Commune de Lucéram (06). Etude hydrogéologique. Recherche d'une ressource en eau pour l'Alimentation en Eau Potable. *Dossier inédit du Cabinet Mangan et de la Société H2EA (commune de Lucéram)*.

MANGAN C., GILLI E., EMILY A. & TENNEVIN G., 2007 — Recherche de ressources d'eau nouvelles sur le territoire du Syndicat Intercommunal des Eaux des Corniches et du Littoral (Alpes-Maritimes). Dossier de synthèse. *Dossier inédit (S.I.E.C.L.)*.

GILLI E., MANGAN C. & MUDRY J., 2006 — *Hydrogéologie : objets, méthodes et applications*, Dunod, Paris.

MAURY, CARLO, BELLE & ANCEL, 1919 — Extrait du rapport d'expertise concernant l'affaire Pastoris-Allavena-Nicolet / Compagnie des Chemins de fer PLM (Sospel). Document retrouvé en archive.

PARDE M., 1929 — La Ligne Nice-Cuni. *Les Etudes rhodaniennes*, Vol.5 n°1, 165-167.

S.N.C.F. — Archives diverses concernant le creusement du tunnel de Braus.

SCHWALLER V. et LANDORMY J., 2008. Inspection et contrôle des tunnels SNCF. Le tunnel de Braus. Présentation inédite pour un site d'anciens élèves en géologie appliquée (<http://assoctsga.org/site/autres/tunnel-ferro.pdf>).