



## **L'EAU SOUTERRAINE DANS LES TUNNELS DU TGV DANS DES AQUIFÈRES KARSTIQUES. UN EXEMPLE ESPAGNOL**

***PULIDO BOSCH A., SOLA F.***

Université d'Almeria, Espagne

apulido@ual.es

### **RESUME**

La construction de tunnels présente des caractéristiques bien singulières qui dépendent souvent de la présence ou de l'absence d'eau dans les formations traversées, au point de conditionner leur tracé définitif et, parfois, de produire un impact difficile à atténuer. En raison de l'exécution du train à grande vitesse en Andalousie, le tunnel d'Archidona, d'à peine un kilomètre de longueur, traverse des marno-calcaires, des calcaires et des dolomies, des argiles, de grands blocs et des matériaux sableux, avec quelques tronçons au-dessous du niveau piézométrique.

Dans cette communication nous décrivons le tunnel dans la phase de projet, les modifications quant au projet original, afin d'éviter la présence d'eau, et la répercussion sur les usages de celle-ci sur l'environnement. Nous analysons également les forages de recherche réalisés, les suivis, et les réponses des systèmes aux événements pluvieux à grande intensité, qui ont modifié considérablement les conditions hydrogéologiques initiales. L'existence de formes karstiques et de fractures transmissives conditionne les débits drainés par le tunnel suite aux événements pluvieux. Les observations réalisées permettent de quantifier le temps de réponse à ces événements. Ce tunnel est déjà terminé.

**Mots clés :** Tunnels, karst, fractures, TGV, risques

### **INTRODUCTION**

L'existence d'eau souterraine au cours de la construction de tunnels pour travaux civils constitue un grave contretemps étant donné les problèmes

géotechniques et environnementaux qui peuvent surgir (Gisbert et al., 2009; Chiocchini et Castaldi, 2011). Il est donc indispensable de réaliser une étude hydrogéologique de la zone, avant de commencer les travaux, et de réaliser des forages le long du tracé du tunnel dans le but de connaître les caractéristiques hydrogéologiques des formations à traverser.

Le Plan d'Infrastructures d'Andalousie 2007-2013 a pour objet de connecter les huit provinces andalouses par un réseau ferroviaire à grande vitesse. Ces grands travaux linéaires, dans une région aussi montagneuse que celle du Sud de la Péninsule Ibérique, impliquent la réalisation de nombreux viaducs et tunnels afin d'éviter les dénivellations topographiques. Le tronçon Archidona-Arroyo de la Negra, dans la province de Malaga, a exigé la réalisation d'un tunnel qui traverse le massif carbonaté du massif d'Archidona. Le tunnel projeté à l'origine, de 2170 m de long, dont 290 m en faux tunnel, avec sortie à 712 m d'altitude (Bouche Est), et entrée à environ 650 m, aurait un long parcours sous le niveau phréatique, avec par conséquent un impact sur le système aquifère.

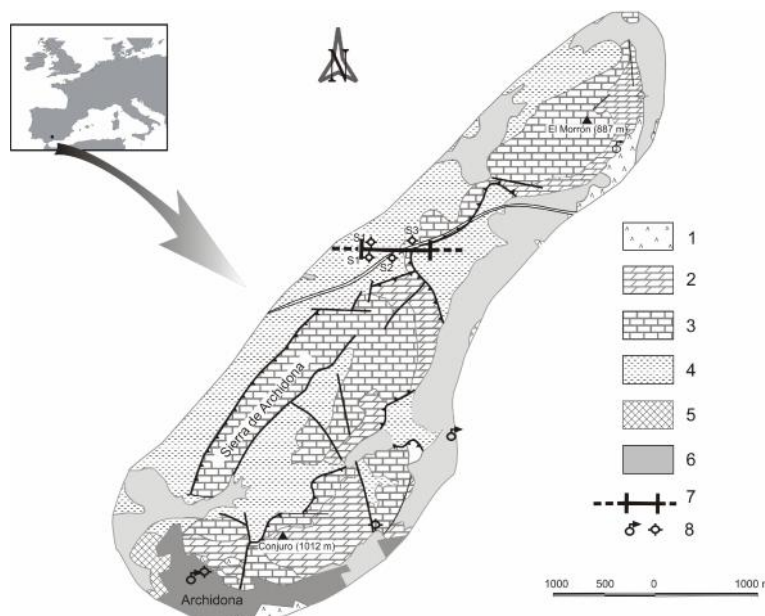
La proposition initiale du tunnel a été ensuite modifiée, de manière à obtenir qu'il soit au-dessus de la zone saturée. Ce qui provoqua que les conséquences hydrogéologiques postérieures soient complètement différentes, réduisant ainsi *a priori* l'affection hydrogéologique à l'aquifère. Sa nouvelle longueur était de 1048 m dont 62 m de faux tunnel. L'altitude de la bouche Ouest est maintenant de 688 m et celle de la bouche Est de 712 m.

Le but de cette note est de décrire les travaux réalisés et leur implication hydrogéologique. Ces derniers ont été légèrement modifiés étant donné qu'ils ont coïncidé avec une période de pluies très intenses, et après une dizaine d'années de pluies bien au-dessous de la moyenne. Nous voulons également réaliser une estimation des débits drainables en fonction de l'altitude du niveau phréatique, et discuter la géométrie de la zone réellement drainée par les travaux du tunnel.

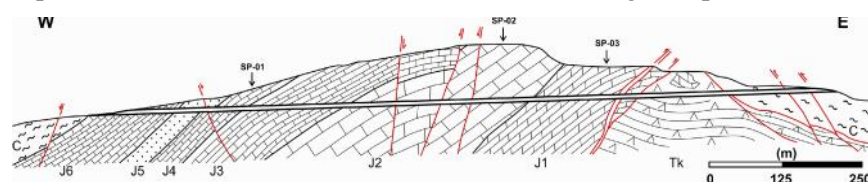
## **CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET METHODES**

Le tunnel d'Archidona traverse des matériaux jurassiques et crétaciques du Subbétique Moyen des Zones Externes de la Cordillère Bétique, sa bouche Est se trouvant dans l'unité « Trias d'Antequera » (Sanz de Galdeano et al., 2008). Celle-ci est une unité olistostromique très tectonisée composée essentiellement par des gypses et des argiles triasiques qui contiennent de grands blocs calcaires jurassiques. Du point de vue hydrogéologique les matériaux qui affleurent dans cette zone peuvent se diviser en six grands groupes à caractéristiques différentes (Fig. 1). Dans la bouche Ouest un paquet dolomitique du Lias affleure (J1, Fig. 2). Sur celui-ci repose une succession de calcaires et marno-calcaires jurassiques (J2 à J6, Fig. 2). Sur celle-ci il y a des marnes et marno-calcaires crétaciques (C, Fig. 2). Et enfin, et en contact tectonique, nous trouvons le

« Trias d'Antequera », mélange très tectonisé d'argiles, sables, gypses et blocs de carbonate (Tk, Fig. 2).



**Figure 1 :** Schéma hydrogéologique de l'aquifère d'Archidona avec indication des forages de recherche réalisés (Modifié de Linares, 2008). 1. « Trias d'Antequera » (Tk) ; 2. Dolomies liasiques (J<sub>1</sub>) ; 3. Calcaires jurassiques (J<sub>2</sub>-J<sub>5</sub>) ; 4. Marno-calcaires et marnes (J<sub>6</sub> et C) ; 5. travertins ; 6. Matériaux détritiques quaternaires ; 7. Tracé du tunnel ; 8. Source et forage, respectivement.



**Figure 2 :** Coupe géologique tout au long du tracé du tunnel d'Archidona.

Les matériaux aquifères carbonatés occupent environ 8 km<sup>2</sup>. Les sources qui drainent ce massif se trouvent aux extrémités NE et SW (Fig. 1), la ligne de partage des eaux se trouvant un peu plus au sud du tracé du tunnel. Celui-ci a été converti, avec la perforation du tunnel, en point le plus bas du système d'écoulement nord-oriental, devenant ainsi la zone de drainage de cette partie de l'aquifère ( 2,8 km<sup>2</sup>). D'autre part, les affleurements situés plus au SW ont le même drainage naturel, étant donné que les débits de la source et du forage

situés dans la zone urbaine d'Archidona n'ont pas diminué (Fig. 1). Les prélèvements d'eau des forages situés sur le tracé du tunnel (Fig. 1 et 2) indiquent que le faciès de l'eau est bicarbonaté calcique, avec des valeurs de conductivité électrique comprises entre 500 et 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les valeurs de transmissivité obtenues dans les pompages d'essai réalisés dans les forages ont donné des résultats très variables étant donné les différences de fracturation et de karstification des roches, avec des valeurs variant entre 10.000  $\text{m}^2/\text{tour}$  dans les sondages SP-01 et SP-02 qui captent les calcaires oolithiques du J-2, à 300  $\text{m}^2/\text{jour}$  dans le forage SP-3 qui capte des dolomies (J1). Trois de ces forages ont été équipés de *divers* qui captent en continu l'évolution du niveau piézométrique. Pendant la construction du tunnel, en plus de la lithologie et de fracturation et de la karstification des matériaux traversés, un contrôle continu du débit d'eau drainée par la bouche ouest a été réalisé. Un pluviographe a été également installé à proximité du tunnel pour déterminer avec précision la quantité de précipitation tombée sur le système aquifère.

## RÉSULTATS

Les mesures en continu du niveau piézométrique obtenues dans les trois forages (SP-01, SP-02 y SP-03) ont permis de connaître avec précision la position du niveau phréatique au cours de la période d'étude (octobre 2008 à avril 2011). Au début des travaux celui-ci se trouvait au-dessous du niveau de contre-voûte du tunnel en son point le plus bas (bouche Ouest), mais les précipitations intenses en 2009, et plus spécialement en 2010, ont provoqué une remontée du niveau jusqu'à 20 m au-dessus de cette contre-voûte. Cette remontée a été modulée par les cycles annuels, avec maxima en hiver-printemps, et des minima en été, bien que l'on a reconnu un retard entre la pluie et la remontée du niveau de l'eau. Ce retard a été quantifié de 60 à 80 jours au moyen de l'analyse corrélatoire croisée des précipitations et du niveau phréatique.

Les mesures du niveau piézométrique dans les forages montrent des évolutions parallèles, avec des variations de moins d'1 m. Les points préférentiels de sortie d'eau sont des fractures karstifiées. Le point kilométrique (pk 301+420), là où on découpe une de ces fractures, est ainsi une des principales zones de venue d'eau. A partir du pk 30k+603 les cavités karstiques ont augmenté ; les dolomies ont été creusées à partir de ce point.

La bouche ouest a été le point de drainage pendant les périodes où le niveau était au-dessus de l'altitude de la contre-voûte. Les débits de sortie ont été influencés par plusieurs processus superposés : 1) drainage des eaux phréatiques au-dessus de l'altitude de la contre-voûte, 2) drainage d'écoulements triphasiques intersectés par le tunnel, 3) drainage des eaux pompées dans de petits puits creusés à l'intérieur du tunnel pour faciliter les travaux de construction et cimentation. Les crues observées seraient dues essentiellement à ces eaux pompées.

Si nous observons ces anomalies dues aux opérations de tunnelage nous constatons que les courbes de récession sont similaires aussi bien en 2010 qu'en 2011. Les données expérimentales indiquent que le débit moyen drainé a été de 82 L/s. Cependant, quand les pompages commencent, le système hydrologique se déséquilibre et rend impossibles les prévisions de débits.

Le calcul de la recharge dans l'aquifère par la méthode de Kessler (1965) pour l'année 2010 et une surface d'aquifère de 2,8 km<sup>2</sup>, est de 1,3 hm<sup>3</sup>. Quant au débit drainé par la bouche ouest du tunnel il a été déduit, étant donné qu'il n'existe pas de données des premiers mois. On a estimé une quantité totale drainée pour 2010 de 1,2 à 1,4 hm<sup>3</sup>, qui est du même ordre de grandeur que la recharge calculée.

Le système de drainage mis au point pour éviter les problèmes liés à la remontée du niveau piézométrique quand le tunnel sera en fonctionnement, a consisté en un collecteur de béton de 800 mm de diamètre, pour évacuer les eaux d'écoulement dans un tunnel imperméabilisé.

## **CONCLUSION**

La construction du tunnel d'Archidona a modifié le fonctionnement hydrogéologique du secteur nord-est de l'aquifère traversé, le point de drainage le plus bas devenant la bouche ouest. Au début le niveau phréatique se trouvait au-dessous de la trace du tunnel, mais les pluies intenses des deux dernières années ont provoqué une remontée de celui-ci jusqu'à 20 m. Le bilan d'eau dans les tronçons d'aquifère affectés par le tunnel, est pour l'an 2010 d'environ 1,3 hm<sup>3</sup>. Cette éventualité a conditionné la technique finale de terminaison des travaux, dont le tronçon productif sera imperméabilisé, garantissant ainsi la récupération de son état pré-tunnel dans des conditions climatologiques « normales ».

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- CHIOCCHINI U., CASTALDI, F. (2011). The impact of groundwater on the excavation of tunnels in two different hydrogeological settings in central Italy. *Hydrogeology Journal* 19: 651-669.
- GISBERT J., VALLEJOS A., GONZÁLEZ A., PULIDO-BOSCH A. (2009). Environmental and hydrogeological problems in karstic terrains crossed by tunnels: a case study, *Environmental Geology*, 58, 347–357.
- KESSLER H. (1965). Water balance investigations in the Karstic regions of Hungary, *Act Coll Dubrovnik, AIHS-UNESCO*, 1, 91–105.
- LINARES L. (2007). Sierra de Archidona. In "Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga", J.J. Durán Coord., Vol.2, 85-88. IGME-Dip. Málaga-UMA.

SANZ DE GALDEANO C., LOZANO J.A., PUGA E. (2008). El «Trías de Antequera»: naturaleza, origen y estructura, *Revista Soc. Geol. España*, 21 (3-4): 111-124.