

Fonctionnement hydrogéologique d'un karst littoral dans les Alpes-Maritimes (France) - Approche méthodologique

Alexandre Emily¹, Marc Fiquet², Eric Gilli³, Christian Mangan⁴ & Guillaume Tennevin¹

¹ Société H2EA, 29 avenue Auguste Vérola, F-06200 Nice.

² Conseil Général des A-M, Direction Ecologie et Développement Durable. B.P. 3007, F-06201 Nice.

³ Professeur d'Université Paris 8. 8 place Garibaldi. F-06300 Nice.

⁴ Cabinet Mangan, 41 rue Clément Roassal, F-06000 Nice.

Abstract

Characterization (flow, recharge, water basin extension) of 4 coastal and submarine springs, by several methods and analyses.

Résumé

Détermination des modalités d'alimentation, du mode de fonctionnement et de l'impluvium de 4 sources karstiques littorales et sous-marines, par analyse croisée des résultats de méthodes complémentaires.

1. Introduction

Le propos concerne le littoral méditerranéen des Alpes-Maritimes près de la frontière italienne. Un syndicat intercommunal y est chargé de l'alimentation en eau de 8 communes et de la fourniture d'eau à la Principauté de Monaco, à partir de ressources superficielles (canal de la Vésubie) et alluviales (nappe de la Roya), dont les disponibilités ne peuvent être accrues.

Le syndicat souhaite un renforcement de sa ressource de l'ordre de 20 000 m³/j, afin de satisfaire l'évolution des besoins, les demandes de pointe et la sécurisation de ses ouvrages. A cette fin, il a lancé une étude en collaboration avec l'Agence de l'Eau et le Conseil Général des Alpes-Maritimes, dans l'objectif de rechercher des ressources en eau souterraine locales.

2. Cadre géologique et hydrogéologique

Le domaine d'étude concerne la partie est des chaînons subalpins méridionaux, au droit de l'Arc de Nice dont la structure est directement héritée des mouvements tectoniques alpins. La série géologique comporte une succession de roches sédimentaires, étagées du Trias supérieur au Nummulitique, dont l'agencement est très complexe. Le secteur est jalonné de sutures tectoniques majeures de directions N-S à NNE-SSW, qui délimitent des blocs structuraux multiples et permettent de différencier deux styles principaux (Fig. 1) :

- une tectonique souple périphérique, où d'étroits anticlinaux jurassiques s'intercalent entre de larges synclinaux crétacés à cœur nummulitique,
- une tectonique cassante surimposée aux plissements et chevauchements en partie médiane, où les séries sont totalement disloquées en plis écrasés et en écailles

multiples, ne laissant affleurer que des lambeaux étroits de Jurassique et de Crétacé.

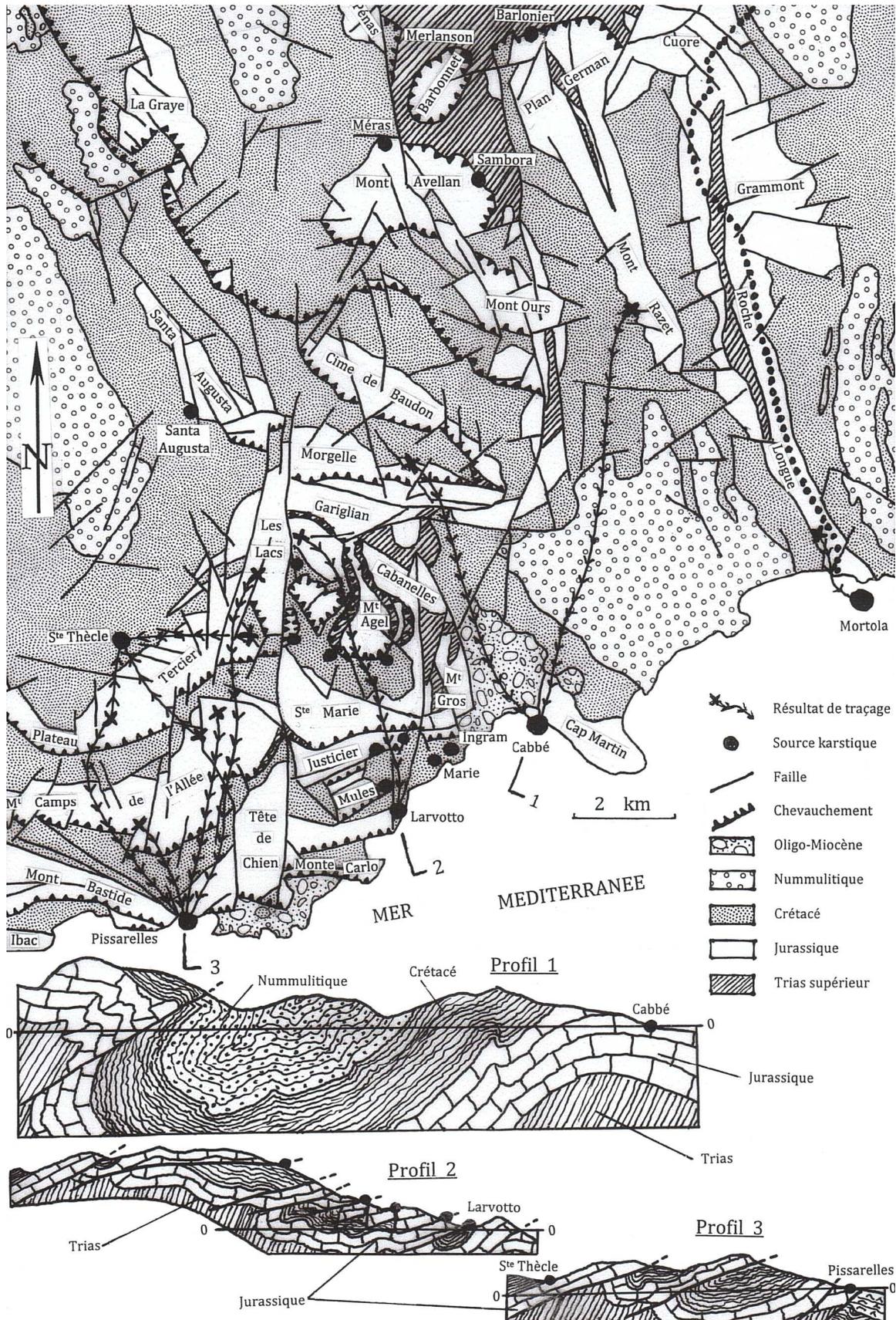
L'intercalation d'horizons étanches dans la série (argiles et marnes) détermine l'existence de réservoirs aquifères qui ne peuvent pas répondre aux besoins du Syndicat, en raison de leur faible extension et de réserves limitées (calcaires turoniens et lutétiens, grès oligocènes).

Seul le réservoir carbonaté jurassique, entre les argiles basales triasiques et les marnes sommitales cénomaniennes, est apte à fournir le débit recherché, du fait de son épaisseur (500m) et de l'importance de ses impluviums. Certaines unités d'extension finie et étanchées en périphérie sont drainées par des sources locales ou le long des vallons du Paillon (à l'Ouest) et de la Bévéra (au nord-est). La majeure partie des surfaces est par contre dépourvue d'exutoire et génère un drainage profond vers des sources littorales et sous-marines (Pissarelles, Larvotto, Cabbé, Mortola).

3. Méthodologie mise en oeuvre

L'analyse du problème a mobilisé des moyens importants et utilisé les différentes méthodes d'investigation disponibles. Elle s'est focalisée sur les massifs karstiques du Jurassique, seuls aptes à fournir les débits souhaités, et a été conduite en deux temps :

- dans une 1^{ère} phase, une analyse élargie (superficie de 350 km²) a permis d'obtenir une vision synthétique du comportement hydrogéologique des unités structurales et de préciser les limites des drainages périphériques. Ainsi ont été mis en exergue les secteurs les plus prometteurs, dont le drainage est assuré par les sources littorales et sous-marines,



- dans une 2^{ème} phase, les recherches se sont focalisées sur ces zones favorables (superficie de 130km²), par analyse croisée de diverses méthodes mises en œuvre en parallèle :

a) des relevés de terrain spécifiques à l'échelle du 1/5 000^{ème} dans les secteurs amont des exutoires sous-marins, afin de préciser les conditions structurales locales. Cette approche a été couplée au recueil et à l'exploitation des données de 33 forages privés (de 150 à 410m de profondeur), ainsi qu'aux apports de plusieurs ouvrages souterrains recoupant les unités locales,

b) un multitraçage conduit en partie est du site, où aucune opération de ce type n'avait été réalisée antérieurement. Des traceurs fluorescents (fluorescéine, sulforhodamine B et naphthionate de sodium) ont été injectés dans 3 pertes de vallons et dans un aven avec une chasse d'eau de 30m³. Les suivis ont concerné une période de 3 mois au droit de multiples sources périphériques, et de façon continue aux exutoires littoraux par préleveurs automatiques ISCO 2900 (Pissarelles et Larvotto) et aux sources sous-marines par des fluorimètres enregistreurs GGUN FL 30 adaptés au milieu marin (Cabbé et Mortola). Les échantillons ont été analysés à l'Université de Besançon.

c) l'établissement de cartes de salinité au droit des exutoires sous-marins (Pissarelles, Cabbé, Mortola), afin de préciser l'extension spatiale des zones de vidange d'eau douce en mer, de localiser les principaux griffons, et d'évaluer les débits exhaérés. Les mesures ont été faites en bateau, par couplage d'une sonde SEABIRD SBE 19 (acquisition de la conductivité et de la température) à un GPS GARMIN 45, à l'aide d'un boîtier de connexion NMEA.

d) le suivi en continu de la conductivité et de la température de l'eau des exutoires littoraux durant 1 année, et ce à l'aide de sondes enregistreuses multiparamètres, mises en place au sein des cavités sous-marines productives (Cabbé et Mortola), dans un boîtier spécifiquement installé à la source des Pissarelles, et dans le captage du Larvotto,

e) la synthèse des caractéristiques chimiques et isotopiques (oxygène 18 et tritium) de l'eau des exutoires jurassiques du secteur élargi, par recueil et exploitation des données issues de publications antérieures (thèses de Guglielmi, d'Emily et de Fleury) et par analyses spécifiques sur des prélèvements aux sources littorales et sous-marines, ainsi qu'à d'autres exutoires périphériques.

Les conditions de mise en œuvre de ces recherches se sont avérées particulièrement délicates, en raison d'une sécheresse persistante lors du multitraçage en 2007, nécessitant un allongement de la durée de suivi aux exutoires, et des difficultés propres aux interventions en mer et aux séances de plongée (météorologie, état de la mer, entretien et pannes du matériel, corrosion des sondes et capteurs immergés, action des microorganismes marins, paliers de décompression).

4. Résultats et conclusions

Les recherches entreprises apportent des informations tout à fait nouvelles, et permettent de bien différencier les

impluviums respectifs des sources littorales et sous-marines, ainsi que leurs modalités d'alimentation et leur mode de fonctionnement (Figure 1).

Source de la Mortola

Elle comprend plusieurs griffons sous-marins, calés le long de la surface de chevauchement de l'unité jurassique sur le Crétacé frontal. Le griffon principal se situe à 800m du rivage et 36m de profondeur, et les griffons annexes sont plus proches du littoral, vers 20 à 25m de profondeur. Leur débit moyen est évalué à 100 ou 120L/s, mais présente des baisses sensibles à l'étiage. Son impluvium est limité aux unités frontalières de Roche Longue et du Grammont, soit une superficie de l'ordre de 10 à 12km², à une altitude moyenne de 950m.

L'amortissement des réactions à l'exutoire et la température élevée des eaux (16,4 à 17,6°C) témoignent d'une bonne régulation des apports souterrains, même si des fluctuations marquées lors des crues permettent une chasse du biseau salé. La salinité de l'eau y évolue de 1 à 5g/L.

Source de Cabbé

Elle est représentée par 4 griffons sous-marins issus de cavités karstiques sur une distance de 1km. Son débit moyen est évalué à 250L/s, dont 50% depuis les grottes occidentales du Buse. Son bassin d'alimentation est relativement éloigné (entre 5 et 12km) et caractérisé par une altitude moyenne de 900m (Mont Razet, unité de S^{te} Agnès, Mont Ours, La Graye, Cime de Baudon, Morgelle).

La longueur des cheminements souterrains et la profondeur de l'aquifère sous les bassins tertiaires (profil 1 de la figure) expliquent l'amortissement constaté des circulations, avec des réactions lentes à l'exutoire et une température de l'eau toujours élevée (17,5°C en moyenne). La salinité de l'eau varie de 3,5 à 6g/L.

Source du Larvotto

Il s'agit d'un groupe de sources littorales, localisées sur un contact tectonique Jurassique-Crétacé vers la cote NGF + 0,5m, et captées pour l'A.E.P. de Monaco. Le débit moyen initial évoluait entre 80 et 110L/s, mais s'avère aujourd'hui fortement amoindri par les aménagements périphériques. Son impluvium correspond à une partie des unités jurassiques dominantes, localisées à l'est de la faille méridienne Cap d'Ail – Peille (Gariglian, Cabanelles, Plateau S^{te} Marie).

La géométrie des unités karstiques en gradins étagés vers la mer conditionne l'établissement d'un écoulement souterrain peu profond (profil 2 de la figure), ce qui est en accord avec les réactions rapides observées à l'exutoire. La nappe est très sensible aux marées et aux pompages qui entraînent des augmentations de salinité. L'eau est également marquée par des apports chlorurés d'origine continentale, rapportés au lessivage de halites dans le soubassement triasique recoupé par la faille Cap d'Ail – Peille.

Source des Pissarelles

Il s'agit de 4 griffons littoraux et sous-marins (de + 2m à -2m NGF), issus de grottes et de zones fissurées sur une distance de 1km. Leur débit moyen est évalué à 120 L/s, dont 50% depuis le griffon médian du Moulin (grotte littorale). Son impluvium est très largement confondu avec celui de la source continentale de S^{te} Thècle (+150m NGF)

et concerne les unités jurassiques situées à l'ouest de la faille méridienne Cap d'Ail – Peille (profil 3 de la figure) :

- la source des Pissarelles y assure le drainage basal de l'ensemble des unités jurassiques (altitude moyenne de 600m), avec un régime amorti et des eaux relativement chaudes (16 à 17°C),
- la source de S^{te} Thècle résulte de transferts rapides, alliés à des baisses sensibles de la température de l'eau, depuis les écaïlles calcaires du Plateau Tercier et du Mont Camps-de-l'Allée (altitude moyenne de 460m).

L'eau de ces exutoires est également marquée par des chlorures d'origine continentale, issus du lessivage profond de halite triasique le long de la faille Cap d'Ail – Peille. L'eau de la source des Pissarelles offre en outre une salinité d'origine marine de 3,9g/L en moyenne.

L'étude confirme enfin que ces exutoires littoraux et sous-marins ne sont pas utilisables en l'état pour A.E.P. du fait de leur contamination marine, et que la ressource souterraine qui les alimente nécessite d'être sollicitée par forages dans les fonds dominants. Sur la base de critères structuraux, topographiques et d'accessibilité, nous avons proposé un schéma de recherche phasé :

- d'abord 3 forages de reconnaissance peu profonds (150 à 250m), directement implantés dans le Jurassique dominant les exutoires, afin de vérifier la karstification du massif en profondeur et de préciser la position du biseau salé,
- puis des forages plus éloignés et plus profonds (350 à 500m), pour rechercher des axes transmissifs et vérifier les disponibilités réelles à l'amont des sources de Cabbé et des Pissarelles.

Remerciements

Nous remercions le Syndicat Intercommunal des Eaux des Corniches et du Littoral, et son Président, Mr Henri Adonto, qui nous ont autorisés à utiliser les résultats des investigations mises en œuvre.

Bibliographie

- EMILY A. 2000. Recharge et fonctionnement d'un aquifère karstique tectoniquement compartimenté : exemple des écaïlles subalpines de l'arc de Nice (Alpes-Maritimes, France). Thèse, Université de Franche-Comté, 130 p.
- FLEURY P. 2005. Sources sous-marines et aquifères côtiers méditerranéens. Fonctionnement et caractérisation. Thèse, Université de Paris VI, 285 p.
- FLEURY P., BAKALOWICZ M., & BECKER P. 2007. Caractérisation d'un système karstique à exutoire sous-marin : exemple de La Mortola (Italie). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences - Geosciences*.
- GILLI E. 1997. Etude des sources sous-marines et littorales de la partie est des Alpes-Maritimes. Rapport inédit, 508 p. (DIREN).
- GILLI E. 1999. Détection de sources sous-marines et précision de l'impluvium par mesure des variations de salinité. L'exemple de la source de Cabbé-Massolins (Roquebrune-Cap-Martin, France). *C. R. Acad. Sciences, Paris, IIa*, 329.
- MANGAN C., GILLI E., EMILY A. & TENNEVIN G. 2007. Recherche de ressources d'eau nouvelles sur le territoire du SIECL (Alpes-Maritimes). Dossier de synthèse inédit (S.I.E.C.L.).