

LES ASPECTS HYDROGÉOLOGIQUES DE LA CIRCULATION DES EAUX SOUTERRAINES SUR LA CÔTE ORIENTALE DE LA MER ADRIATIQUE

HIDROGEOLOŠKI ASPEKTI CIRKULACIJE PODZEMNIH VODA
NA ISTOČNOJ OBALI JADRANA

Slobodan AlfIREVIĆ

Institut d'Océanographie et de Pêche, Split, Yugoslavie

INTRODUCTION

La côte de l'Adriatique et sa ceinture insulaire sont situées dans la région du karst dinarique littoral qui est caractérisé par une circulation intensive des eaux souterraines. Dans la formation géologique de la ceinture adriatique participent des couches mézoziques et paléogènes, et surtout calcaires crétacés et des dolomites, ainsi que du flysch éocène avec des marnes et des grès.

Les propriétés hydrogéologiques de ces couches qui sont perméables à l'eau agissent comme des collecteurs et celles imperméables comme des isolateurs et les relations tectoniques sont à l'origine de la gravitation des eaux souterraines vers la mer. C'est pourquoi sur la côte orientale de l'Adriatique apparaissent des sources sous-marines qui jaillissent dans la mer et représentent un phénomène hydrographique spécifique dans le régime des eaux du karst dinarique littoral, manifestant ainsi l'aspect hydrogéologique de la circulation des eaux souterraines.

Ces jaillissements d'eaux souterraines, plus dans la ceinture côtière que dans les parages des îles, sont assez nombreux dans les régions de l'Adriatique nord, moyenne et sud. Ces jaillissements sont plus abondants pendant la saison pluvieuse d'automne et d'hiver, alimentés par les précipitations de cette époque de l'année; ils sont plus faibles ou tarissent pendant la saison sèche, printemps-été. Il y a pourtant certaines localités où les eaux souterraines sous forme de sources sous-marines jaillissent de façon permanente pendant toute l'année.

Un problème semblable a été étudié et en d'autres lieux en Méditerranée (Calvino & Stefanon, 1963, 1966, Kohout, 1966) et, pour l'Adriatique ont été publiées des données sur les résultats des recherches (Alfirević, 1961. a, 1961. b, 1963, 1966. a, 1966. b, 1969. a, 1969. b).

Dans certaines localités où jaillissent les eaux souterraines dans la mer, on a procédé à des études morphologiques, sédimentologiques, hydrologiques et hydrogéologiques sur la côte orientale de l'Adriatique, et dans cette communication sont exposés les résultats sommaires.

RÉGION EXPLORÉE ET MÉTHODES DE TRAVAIL

Des recherches ont été effectuées dans 16 localités dans les régions de l'Adriatique nord et moyenne, au cours d'une année hydrologique, afin d'obtenir un aperçu des fluctuations du régime »thermo-halin« en dépendance des périodes sèche et pluvieuse de l'année. (fig. 1.)

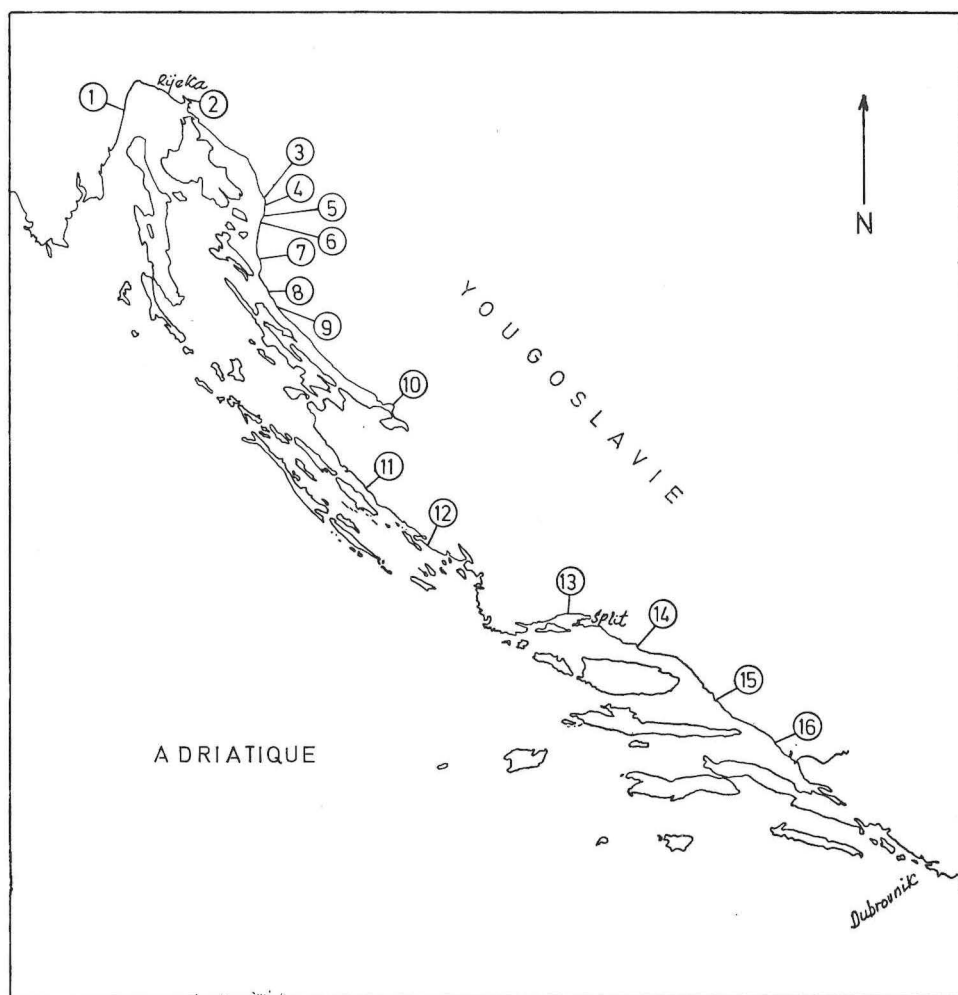


Fig. 1.— Région des résurgences sous-marines explorées sur la côte orientale de l'Adriatique

La morphologie du fond de la mer dans les localités de la résurgence des eaux souterraines a été étudiée au moyen de l'écho-sondeur »Simrad«. Sur chaque localité on a enregistré quatre profils (N-S, E-W, NE-SW, NW-SE) nord-sud, est-ouest, nord est-sud ouest, nord ouest-sud est, afin d'obtenir une aussi bonne image que possible de la configuration du fond sur l'emplacement même de la source sous-marine.

Les examens sédimentologiques ont été effectués par ramassage d'échantillons des sédiments marins au moyen du ramasseur de Petersen à proximité immédiate de la source sous-marine et dans la région autour de celle-ci afin de procéder à l'étude granulométrique et aux examens microscopiques des sédiments.

La structure hydrologique des sources sous-marines a été étudiée par prélèvements d'eau au moyen de la bouteille à renversement, aux niveaux océanographiques standard, depuis la surface jusqu'au fond afin d'en déterminer la température et la salinité.

Les propriétés hydrogéologiques des masses rocheuses ont été identifiées par récolte de roches solides à l'aide d'explosifs afin d'en déterminer la composition lithologique et par des photographies sous-marines et par l'emploi de la télévision sub-aquatique ainsi qu'à l'aide d'équipe de plongeurs.

RÉSULTATS OBTENUS

Les recherches ont porté exclusivement sur les phénomènes de jaillissement des eaux souterraines dans la région littorale du karst, et qui sont considérés comme »sources sous-marines«, en accord avec la définition que l'on applique aux surgissements d'eaux souterraines dans la mer ou à proximité de la ligne côtière et qui demeurent constamment sous de surface de la mer.

Les recherches ont été effectuées dans 16 localités dans lesquelles étaient englobées les sources sous-marines suivantes: (voir fig. 1.)

- No. 1. — Source sous-marine dans la baie de Rijeka
- No. 2. — Source sous-marine dans la baie de Bakar
- No. 3. — Source sous-marine dans l'anse de Smokvica
- No. 4. — Source sous-marine dans l'anse de Žrnovnica
- No. 5. — Source sous-marine dans l'anse de Zaglav
- No. 6. — Source sous-marine dans l'anse de Ždralovo
- No. 7. — Source sous-marine dans l'anse de Starigrad
- No. 8. — Source sous-marine près de Jablanac
- No. 9. — Source sous-marine dans l'anse de Bačvice
- No. 10. — Source sous-marine dans l'anse de Seline
- No. 11. — Source sous-marine dans le canal de Pašman près de Biograd n/m
- No. 12. — Source sous-marine dans la baie de Pirovac
- No. 13. — Source sous-marine dans la baie de Kaštela (ensemble de 3 sources)
- No. 14. — Source sous-marine dans l'anse de Vrulja (ensemble de 12 sources)
- No. 15. — Source sous-marine dans l'anse de Klokun (ensemble de 4 sources)
- No. 16. — Source sous-marine dans la baie de Žrnovnica au sud de Gradac (ensemble de 3 sources)

A) Caractéristiques morphologiques du relief sous-marin

Lors de l'étude du relief sous-marin dans les endroits où jaillissent les sources sous-marines, nous avons observé des différences notables dans les profondeurs, qui, sur presque tous les profils, en long et en large à travers la source sous-marine ont fait pressentir l'existence d'excavations en forme d'entonnoirs.

Les enregistrements par échosondeur sur les sources sous-marines dans les baies de Rijeka, de Kaštela et dans l'anse de Vrulja montrent la forme typique d'entonnoirs fossiles, d'où, par l'ouverture du fond, jaillissent les eaux souterraines (fig. 2). Cette constatation a été confirmée aussi par l'exploration des plongeurs, car les résultats de leurs enregistrements concordent entièrement avec ceux des enregistrements échographiques.

A cette occasion on a observé aussi le rebord rocheux des excavations en entonnoir qui seulement à l'ouverture, à l'endroit le plus large, est recouvert de sédiments sablonneux. De ces constatations, il ressort que ces formes n'ont pu se modeler dans les dépôts sablonneux dans les conditions récentes de l'érosion des eaux souterraines, mais que ces entonnoirs à bord rocheux ont été formés pendant la phase continentale de la ceinture adriatique, et plus tard -au pléistocène-ont été submergés par transgression marine.

Les autres sources sous-marines à jaillissement plus faible, ont été conditionnées par des rapports tectoniques et se trouvent ordinairement sur les lignes de discolations.

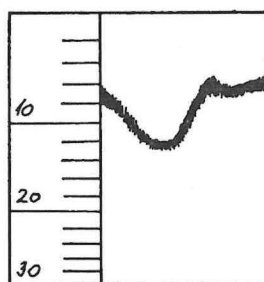
B) Propriétés sédimentologiques des sédiments marins récents

Afin d'établir les caractéristiques sédimentologiques générales du fond sous-marin sur l'emplacement des sources sus-marines, les sédiments recueillis ont été, par la méthode de sédimentation, classés en cinq fractions: fraction I: < 0,01 mm; fraction II: 0,1—0,05 mm; fraction III: 0,05—0,1 mm; fraction IV: 0,1—2 mm; fraction V: > 2,00 mm. En se basant sur les rapport en % des parcelles de chacune des fractions, on a établi la composition granulométrique des sédiments étudiés.

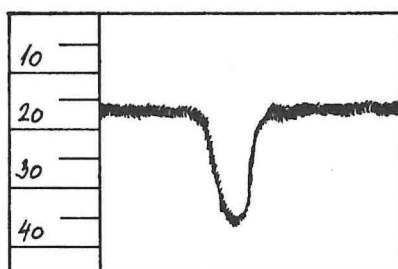
Dans toutes les localités sur lesquelles ont porté nos investigations on a établi un faciès de sable à grains gros et fins dont les parcelles appartiennent presque exclusivement aux fractions IV et V, alors que les fractions I, II et III sont totalement absentes. (Tableau 1).

Les sédiments sableux dans les localités des sources sous-marines dans les baies de Rijeka, Kaštela et dans l'anse de Vrulja se trouvent dans la face intérieure tout autour d'une excavation en entonnoir. Là ils se déposent, le matériel terrigène y ayant été transporté par les eaux souterraines et accumulé sur le rebord de l'entonnoir.

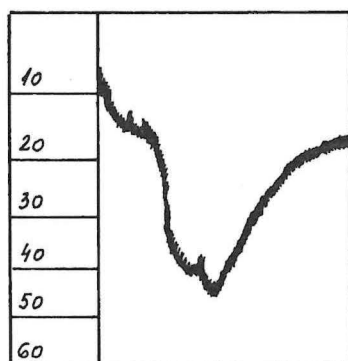
Dans les autres endroits, les couches de sable ont été trouvées à l'endroit même où jaillissent les eaux souterraines, alors que tout autour se trouvent des sédiments d'une composition granulométrique différente, qui sont, du reste, caractéristique pour une assez vaste surface du fond sous-marin. De cette façon se forment des oasis sableuses par suite de la concentration des sables déposés par l'activité du jaillissement sous-marin.



1



13



14

Fig. 2.— Enregistrements échographiques du relief du fond sous-marin dans les localités résurgences sous-marines Nos 1, 13 et 14

Tableau 1
Composition granulométrique du sédiment au fond des sources
sous-marines étudiées

Source sous-marine	I	II	Fraction en %			V	Texture
			III	IV			
No. 1.—	—	—	0,64	80,68	18,68	—	sable
No. 2.—	—	—	—	—	—	—	roche
No. 3.—	3,07	8,18	6,95	74,64	7,16	—	sable limoneux- argileux
No. 4.—	4,55	6,61	6,20	76,65	5,99	—	sable limoneux- argileux
No. 5.—	3,52	5,80	4,55	79,71	6,42	—	sable
No. 6.—	2,68	3,50	2,26	80,25	11,32	—	sable
No. 7.—	5,28	11,32	8,86	61,18	13,29	—	sable limoneux- argileux
No. 8.—	3,75	11,04	3,75	71,08	10,38	—	sable limoneux- argileux
No. 9.—	—	—	—	84,76	15,24	—	sable
No. 10.—	—	—	0,41	65,18	34,41	—	sable
No. 13.—	0,40	1,02	1,14	97,44	—	—	sable

Par l'examen microscopique des parcelles des sédiments, on a constaté que les parcelles du dépôt ont des arêtes très arrondies, ce qui indique un modelage par frottement au cours du transport jusqu'au lieu de dépôt, là où jaillissent les eaux souterraines sur le fond sous-marin.

C) Structure hydrologique des sources sous-marines

La structure hydrologique des eaux souterraines dans les lieux de résurgence sous-marine est très intéressante. On a étudié le régime »thermohalin« en relation avec les rapports réciproques (température et salinité) aux niveaux océanographiques standard, de la surface jusqu'au fond. On a enregistré la température et la salinité de la couche profonde et superficielle dans les lieux de résurgence des eaux souterraines. Les résultats figurent dans le tableau No. 2.

En général, une hémothermie s'établit dans les sources sous-marines à l'époque de leur activité, alors que, dans les régions d'eau de mer voisines, dans la région des canaux, on observe une stratification normale; une baisse de température, ou inversement selon l'époque de l'année, et une augmentation de la salinité de la surface vers le fond.

Ainsi qu'il ressort d'un aperçu du régime »thermohalin« on voit que, pendant la période pluvieuse printanière dans les résurgences sous-marines N-os 2, 4, 5, 13, 15 et 16 l'eau de surface est plus froide que l'eau profonde et, dans les sources sous-marines N-os 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 14, l'eau de surface est plus chaude que l'eau du fond.

Pendant la période sèche de l'automne, nous trouvons l'eau de surface plus froide que l'eau profonde dans les sources sous-marines N-os 1, 3, 4, 5 et 10, alors que dans les autres résurgences N-os 2, 6, 7, 8, 9, 13, 14 et 15, l'eau de surface est plus chaude que l'eau profonde.

Tableau 2

Aperçu du régime »thermohalin« — température et salinité — dans les eaux profondes et superficielles des résurgences sous — marines pendant la période des pluies de printemps et la période de sécheresse de l'automne

Résurgence sous-marine	aspect des pluies de printemps				aspect de la période sèche d'automne			
	surface		fond		surface		fond	
	T°C	Sal‰	T°C	Sal‰	T°C	Sal‰	T°C	Sal‰
No. 1.—					19,19	34,70	19,35	37,59
No. 2.—	12,79	23,35	13,70	34,27	19,40	36,27	19,22	37,01
No. 3.—	13,60	36,20	13,57	37,05	19,93	36,67	20,62	37,25
No. 4.—	13,39	33,95	13,71	36,98	20,12	36,29	20,52	37,25
No. 5.—	14,34	35,50	14,50	37,05	19,29	35,43	19,47	37,45
No. 6.—	13,00	35,99	12,72	37,74	17,57	36,55	15,91	37,88
No. 7.—	13,00	37,14	12,31	37,92	16,13	35,46	14,01	37,95
No. 8.—	12,89	36,27	12,31	29,92	19,25	34,56	15,22	37,97
No. 9.—	14,47	36,47	14,41	36,45	19,79	35,71	19,78	36,29
No. 10.—	16,32	29,67	14,52	33,91	16,11	28,15	17,58	36,24
No. 11.—	12,21	36,85	12,19	36,67				
No. 12.—	12,98	36,74	12,06	36,80				
No. 13.—	10,90	36,09	12,60	33,95	24,40	35,35	19,20	37,97
No. 14.—	11,77	33,64	11,70	37,66	19,20	36,36	18,40	38,12
No. 15.—	12,00	32,50	12,03	34,18	21,93	35,08	21,80	35,39
No. 16.—	12,23	35,77	12,32	36,76				

En ce qui concerne la salinité, pendant la période pluvieuse printanière, l'eau de surface accuse une plus faible salinité que l'eau profonde dans les sources sous-marines N-os 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 14, 15 et 16, alors que dans les résurgences sous-marines N-os 8, 9, 11 et 13 l'eau de plus faible salinité se trouve dans la couche du fond.

Pendant la période sèche d'automne, dans toutes les localités l'eau de surface présente une plus faible salinité que l'eau profonde, ce qui est un phénomène normal dans la stratification régulière: eau plus lourde, plus salée au fond, et eau plus légère, moins salée, à la surface.

D) Caractéristiques hydrogéologiques des sources sous-marines

Tous les phénomènes hydrologiques dans le karst, de même que la circulation des eaux souterraines, sont sous la dépendance sur les conditions géologiques. C'est pourquoi la composition lithologique de la roche a une importance particulière. Celle-ci, étant donné sa possibilité de perméabilité ou d'imperméabilité, conditionne sur le fond sous-marin, associée à des rapports tectoniques, le surgissement d'eaux souterraines.

Dans la majorité des cas, au cours de nos recherches, nous avons établi la structure lithologique qui entoure la zone côtière, à proximité de laquelle ressurgissent en mer les eaux souterraines sous forme de »vrulje« — sources sous-marines, ainsi que la nature des couches de terrain dans l'arrière-pays. Ce sont en général des couches calcaires, qui sont habituellement perméables à l'eau, et des couches de flysch éocène, imperméables.

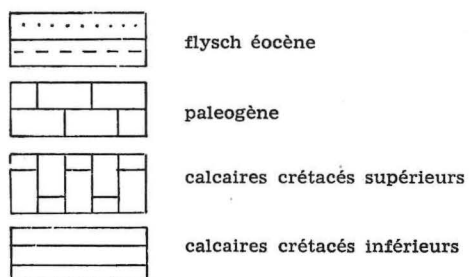
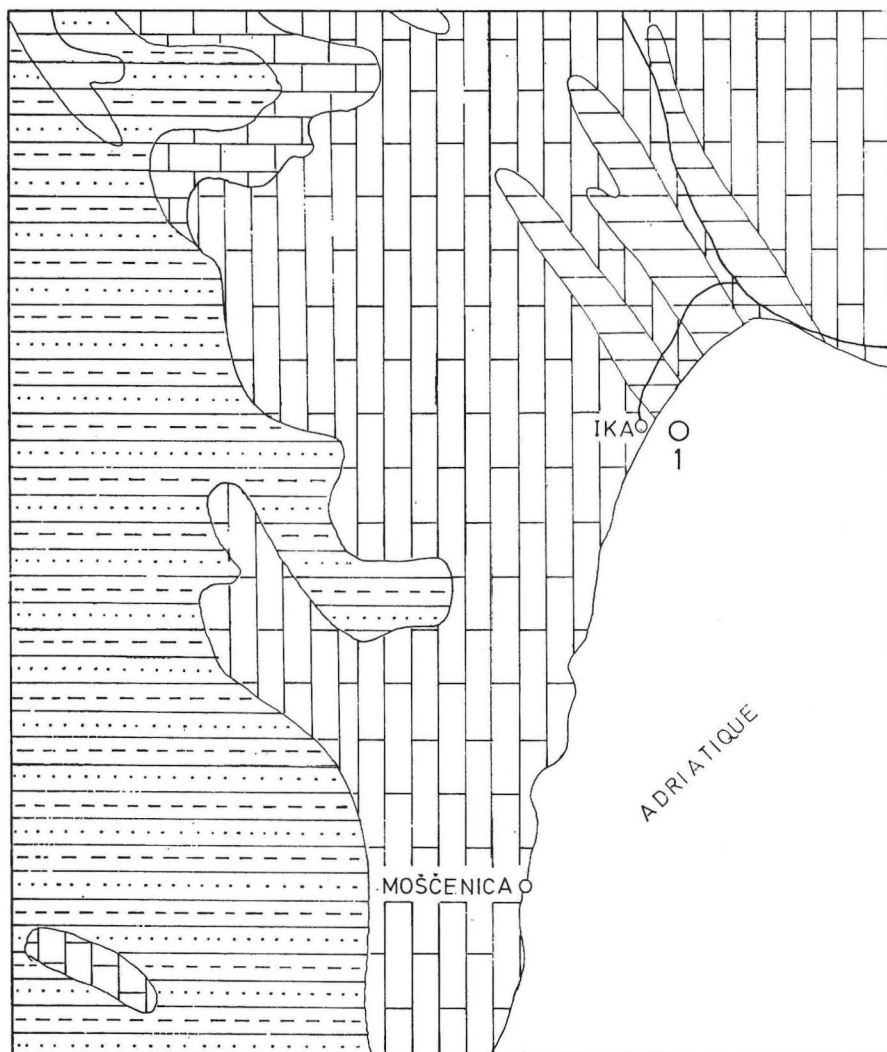


Fig. 3.— Structure géologique de la ceinture côtière de la baie de Rijeka dans la région de la résurgence sous-marin N° 1

Du point de vue hydrogéologique, les couches perméables à l'eau font fonction de collecteurs dans lesquels pénètrent et s'accumulent les eaux souterraines, tandis que les couches imperméables agissent comme des barrières ou comme des isolateurs hydrogéologiques. Ces couches se trouvent généralement le long des lignes de dislocation à travers lesquelles s'enfoncent plus facilement les eaux souterraines. C'est pourquoi la formation de ces entonnoirs sur le fond desquels jaillit l'eau souterraine, sous forme de résurgences, a été prédestinée à cette fonction par des facteurs tectoniques.

Dans la région de la source sous-marine N-o 1, sur la côte occidentale de la baie de Rijeka nous trouvons dans la région côtière des couches de calcaire crétacé supérieur et, à l'arrière, du flysch éocène (fig. 3). On trouve le même rapport dans la structure des roches qui entourent les sources sous-marines N-os 2, 3, 4 et 5 dans la région littorale du canal de Velebit, tant sur la côte même que dans l'arrière-pays immédiat.

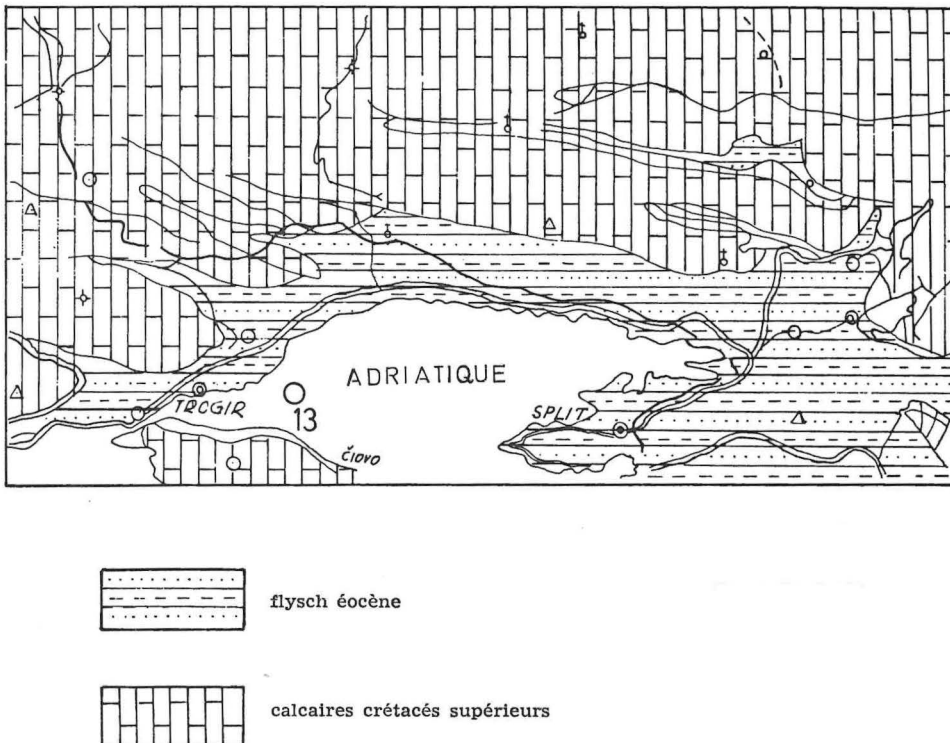


Fig. 4.— Structure géologique de la ceinture côtière de la baie de Kaštela dans la région de la résurgence sous-marine No 13

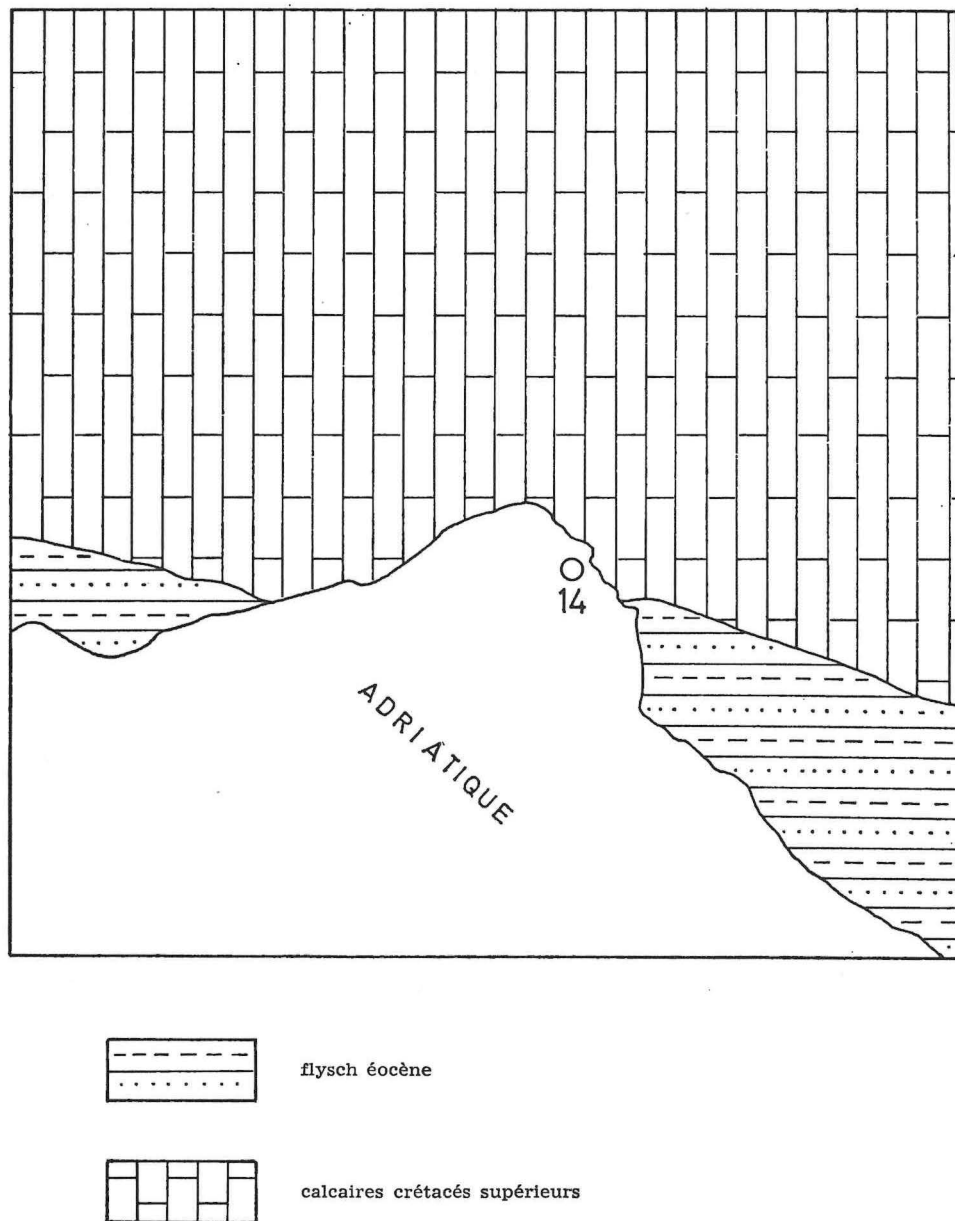


Fig. 5.— Structure géologique de la ceinture côtière de l'anse de Vrulja dans la région de la résurgence sous marine No 14

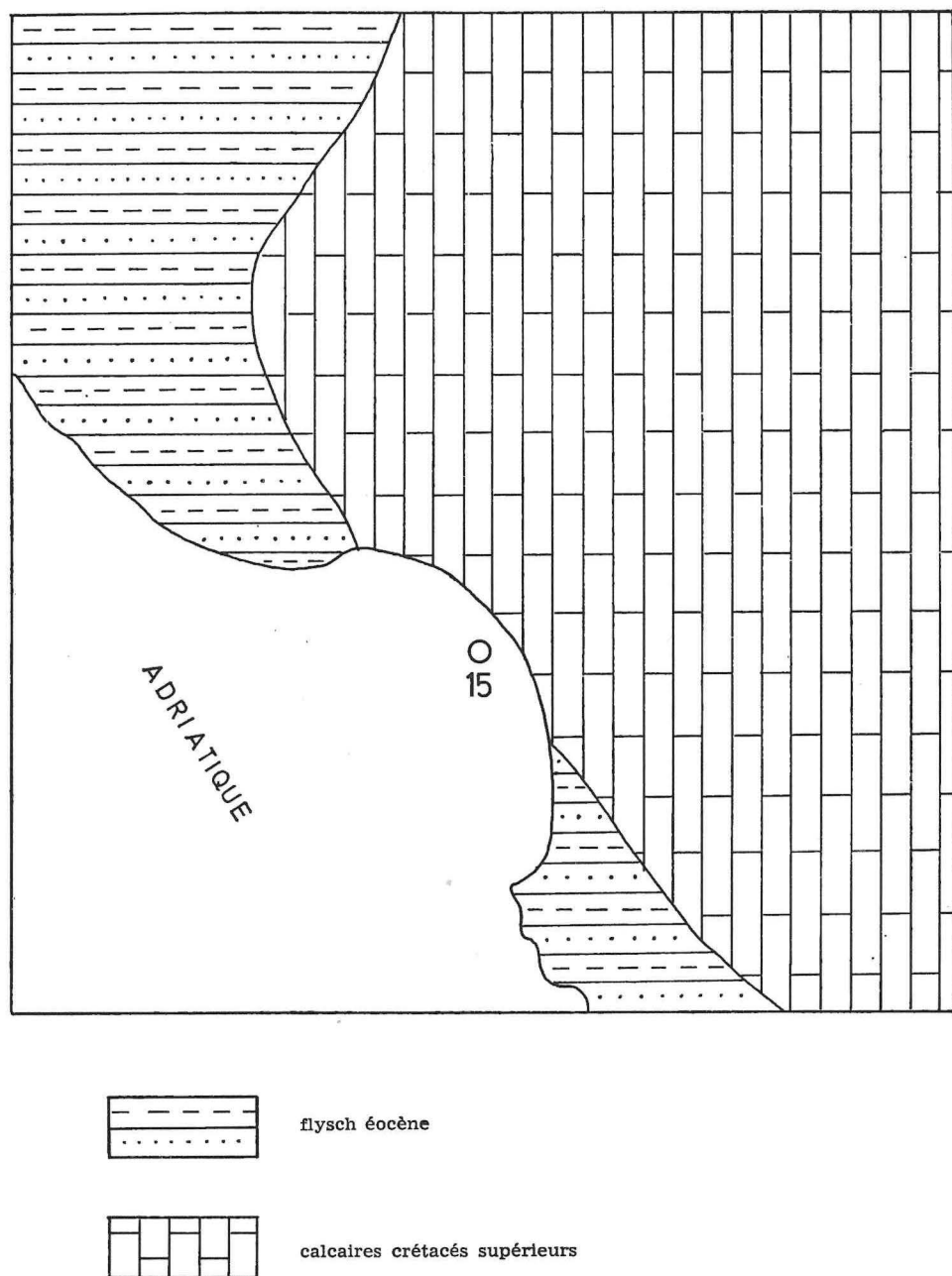


Fig. 6.— Structure géologique de la ceinture côtière de l'anse de Klokun dans la région de la résurgence sous marine N° 15

Dans la région côtière des sources sous-marines N-os 6, 7, 8, 9, et 10 en même temp que du calcaire crétacé supérieur on trouve aussi du calcaire crétacé inférieur au-dessus desquels se trouvent des calcaires et des dolomites jurassiques supérieurs, moyen et inférieur et, en arrière de ceux-ci, des couches triassiques. Les sources sous-marines N-os 11 et 12 sont situées dans la zone côtière de la région du canal de Zadar; elles sont constituées par des couches de calcaire crétacé supérieur séparées par du flysch éocène qui s'intercale entre elles.

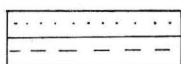
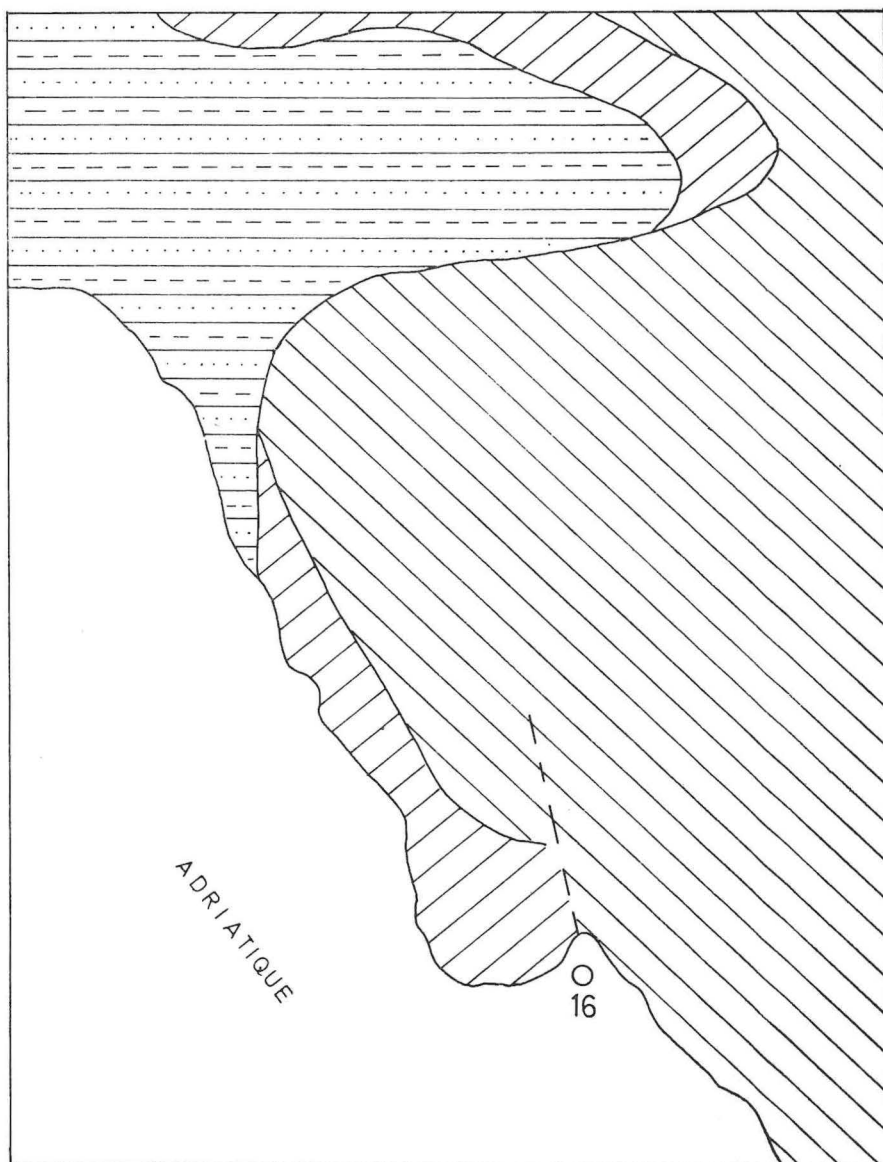
La région littorale de la baie de Kaštela est également constituée par des couches de calcaire crétacé supérieur, alors qu'à l'arrière ce sont des sédiments triassiques et, dans sa partie occidentale, dans la région d'apparition des sources sous-marines, on trouve des couches de flysch éocène (fig. 4). — (source sous-marine N-o 13.).

Dans les parages côtiers de l'anse de »Vrulja« dans le canal de Brač (N-o 14), nous trouvons le long même de la côte des couches de flysh éocène et, derrière celles-ci, des couches crétacées représentées par des calcaires à Rudistes sénoniens et à Foraminifères (fig. 5). La zone côtière de l'anse de Klokun — source No- 15 — dans la région du canal de Hvar est constituée par une combinaison de couches de calcaires crétacés et de flysch éocène (fig. 6), et la source sous-marine No- 16 dans la région de la baie de Mali Ston est formée dans la zone côtière par des couches de flysch éocène avec, à l'arrière, du jurassique représenté principalement par des dolomites et des calcaires liasique (fig. 7).

Des explorations sous-marines et des prises de vue par télévision ont permis d'enregistrer les points de jaillissements des eaux souterraines dans les localités explorées (fig. 8, 9, 10 et 11).

Une telle relation de la constitution géologique des couches côtières et de l'arrière-pays ets à l'origine d'une circulation intense des eaux souterraines dans les sources sous-marines qui, pendant la période sèche de l'année apparaissent comme des gouffres et engloutissent l'eau de mer, présentant ainsi un type particulier de sources, connu dans le karst hydrologique comme »estavelles«.

Fig. 7.— Structure géologique de la ceinture côtière de l'anse de Žrnovnica, au sud de Gradac, dans la région de la résurgence sous-marine N° 16



flysch éocène



dolomites jurassiques



calcaires jurassiques inférieurs

CONCLUSION

Au cours de nos recherches sur les caractéristiques géologiques du fond sous-marin dans la région côtière de la côte orientale de l'Adriatique, y compris le phénomène de jaillissement de sources sous-marines, on a observé une relation entre la structure lithologique des couches côtières et leurs rapports tectoniques avec la morphologie et les propriétés sédimentologiques du fond de la mer.

Cette étude découvre en même temps l'aspect hydrogéologique de la circulation des eaux souterraines sur la côte orientale de l'Adriatique.

L'intensité du débit des eaux souterraines et l'apparition des sources sous-marines dans le fond de la mer dépendent de l'abondance des précipitations atmosphériques et leur régime »thermohalin« se différencie des caractéristiques hydrographiques de l'eau de mer de la région alentour.

Reste une question on suspens. Serait-il possible d'utiliser l'eau des sources sous-marines pour l'alimentation en eau douce, ce qui exigerait des recherches spéciales et plus détaillées, tant hydrologiques qu'hydrotechniques.

Références bibliographiques

- Alfirević (S.), 1961.a.— Prilog poznavanju morfologije podmorskih vrela — Contribution à la connaissance de la morphologie des sources sous-marines. Drugi Jugoslavenski speleološki kongres, pp 59—66, Zagreb.
- Alfirević (S.), 1961.b.— Bases géologiques-tectoniques des sources sous-marines en Adriatique. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions, 16, pp 745—748, Paris.
- Alfirević (S.), 1963.— Les rapports hydrogéologique dans le golfe de Kaštela. Guide pour le voyage d'études. Association International des hydrogéologues. Réunion de Belgrade, pp 52—55, Belgrade.
- Alfirević (S.), 1966.a.— Hydrogeological Investigations of Submarine Springs in the Adriatic. Mémoires de Association internationale des Hydrogéologues, 6, pp 255—264, Belgrade.
- Alfirević (S.), 1966.b.— Les sources sous-marines de la baie de Kaštela — Morphologie, structure hydrologique, conditions hydrogéologiques, relations géotectoniques. Acta Adriatica, 10/12, pp 1—38, Split.
- Alfirević (S.), 1969.a.— Jadranske vrulje u vodnom režimu Dinarskog primorskog krša i njihova problematika — Adriatic Submarine Springs in the water system of the Dinaric Karst Littoral and their problems. Krš Jugoslavije, 6, pp 183—205, Zagreb.
- Alfirević (S.), 1969.b.— Uloga i značaj opskrbe vodom u ekonomskom preobražaju jadranskog otočnog pojasa — The role and significance of water supply in the economic transformation of the Adriatic archipelago. Krš Jugoslavije, 6, pp 381—402, Zagreb.
- Anonymus, 1963.— Carte géologique synoptique de la région karstique dinarique. Guide pour le voyage d'études. Association International des hydrogéologues. Réunion de Belgrade, Belgrade.
- Buljan (M.), 1956.— Oceanografska svojstva (Jadranskog mora). Pomorska enciklopedija, 3, pp 531—539, Zagreb.
- Calvino (F.) & Stefanon (A.), 1963.— Osservazioni geologiche sulla polla Rovereto e le altre sorgenti sottomarine della Mortola (Riviera di Ponente) — Atti dell'Istituto di Geologia dell'Università di Genova, 1/1, Genova.
- Calvino (F.) & Stefanon (A.), 1969.— Les sources sous-marines d'eau douce et les problèmes de leur captage. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions, 19/4, Paris.
- Gruvel (M.), 1930.— De quelques sources marines observées sur les côtes libano-syriennes. Extrait des Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences, pp 66—67. Séance du 7. juillet 1930, Paris.
- Herak (M.), 1957.— Geološka osnova nekih hidroloških pojava u dinarskom kršu — Geologische Grundlagen einiger hydrologischen Erscheinungen im Dinarschen Karst. II Kongres geologa Jugoslavije (II^e Congrès des géologues yougoslaves), pp 523—539, Sarajevo.
- Keller (M.), 1963.— Die Vruljes an der Adriaküste, Neptun, 6, Stuttgart.
- Kohout, (F. A.), 1966.— Submarine Springs: a neglected Phenomenon of Coastal Hydrology — Symposium on Hydrology and Water Resources, Ankara.
- Mijatović (B.), 1959.— Hidrogeološka uloga eocenskog fliša pri formiranju slatkovodne izdani u karstifikovanim krečnjacima Dinarske primorske zone. Rôle hydrogéologique du Flysch éocène dans la formation de la nappe d'eau douce dans les calcaires karstifiés de la zone du littoral Dinarique. III Kongres geologa Jugoslavije (III^e Congrès des géologues yougoslaves), Budva.
- Zore (M.), 1959.— Pojava leda na moru u Kaštelanskom zaljevu — On the occurrence of sea ice in the Kaštela Bay. Hidrografski Godišnjak (Annuaire Hydrographique) 1958, Split.

HIDROGEOLOŠKI ASPEKTI CIRKULACIJE PODZEMNIH VODA NA ISTOČNOJ OBALI JADRANA

Slobodan Alfirević

Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split

KRATAK SADRŽAJ

Jadranski obalni i otočni pojas je smješten u području Dinarskog primorskog krša za koji je karakteristična intenzivna cirkulacija podzemnih voda. U geološkoj građi jadranskog pojasa sudjeluju mezozojske i paleogenske naslage, osobito kredni vapnenci i dolomiti, te eocenski fliš sa laporima i pješčenjacima.

U ovom radu se iznose postignuti rezultati morfoloških, sedimentoloških, hidroloških i hidrogeoloških ispitivanja na morskom dnu, na određenim lokalitetima izbijanja podzemnih voda u moru, na istočnoj obali Jadrana.

Pri istraživanju reljefa morskog dna na lokalitetima izbijanja podzemnih voda primijetile su se osjetne razlike u dubinama, koje su skoro na svim profilima, uzduž i poprijeko preko podmorskog vrela, dale naslutiti lijevkasto udubljenje.

Na svim ispitanim lokalitetima pješčane naslage su evidentirane na mjestu izbijanja podzemnih voda, dok se svuda unaokolo nalaze sedimenti sasvim drukčijeg granulometrijskog sastava, inače karakteristični za širi areal morskog dna. Na taj način se javljaju pješčane oaze, uslijed koncentracije pješčanog materijala, deponiranog uslijed aktivnosti podmorskih vrela-vrulja.

Hidrološka struktura podzemnih voda na lokacijama podmorskih vrela je veoma zanimljiva. Intenzitet izbijanja podzemnih voda i pojava podmorskih vrela-vrulja na morskom dnu je u zavisnosti od intenziteta atmosferskih taloga, a njihov se termohalini režim razlikuje od hidrografskih karakteristika morske vode šireg područja.

U većini slučajeva, pri našim ispitivanjima utvrdili smo litološki sastav koji okružuje obalno područje, uz koje izbijaju podzemne vode u moru kao

podmorski izvori-vrulje, a isto tako i naslage u zaleđu. Uglavnom su to kredne vapnene naslage, koje su inače vodopropusne, i naslage eocenskog fliša, koje su vodonepropusne.

Ovakav odnos geološke građe obalnih naslaga i onih u zaleđu uvjetuje intenzivnu cirkulaciju podzemnih voda na podmorskim izvorima-vruljama, koje se, u sušno doba godine javljaju kao ponori, i gutaju morsku vodu, pa predstavljaju poseban tip vrele, poznat u hidrogeologiji krša kao estavele.

