

Les échanges d'eau par le Bosphore

Mer Noire
Bosphore
Échanges d'eau
Bilan d'eau
Black Sea
Bosporus
Water exchanges
Water balance

G. SERPOIANU

Institut Roumain de Recherches Marines, 8700 Constantza, Roumanie

Reçu le 26/10/84, révisé le 15/4/85, accepté le 9/5/85.

RÉSUMÉ

Ce travail analyse les données relatives aux échanges d'eau par le Bosphore, d'après la littérature spécialisée et les travaux de l'auteur. Une attention particulière est accordée à la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans la Mer Noire, ce qui représente un problème controversé. On montre que ce phénomène est très influencé par les variations saisonnières du niveau de la Mer Noire. Ainsi la période de mars à juin, avec les niveaux les plus hauts, n'est en général pas favorable à la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans la Mer Noire. Dans la dernière partie du travail sont évalués les volumes des eaux qui sortent et entrent par le Bosphore, à partir des éléments du bilan hydrologique de la Mer Noire. Ainsi on arrive aux valeurs annuelles de 260 et 123 km³ qui semblent plus raisonnables que les données actuelles de la littérature spécialisée.

Oceanol. Acta, 1985, 8, 4, 373-378.

ABSTRACT

Water exchanges through the Bosphorus

This paper presents the results of investigations concerning water exchange through the Bosphorus, as published in the specialized literature, including works by the author. Special attention is paid to the penetration of Mediterranean water into the Black Sea, a controversial problem. It is shown that this phenomenon is much influenced by the seasonal variations of the Black Sea level, the period March-June (maximal levels) being usually unfavourable for Mediterranean water penetration. In the last part of the paper, the inflowing and outflowing volumes of water through the Bosphorus are evaluated, based on the elements of the water budget of the Black Sea. As a final remark, the estimated values of 260 and 123 km³/year are considered more reasonable than the previous data which exist in the specialized literature.

Oceanol. Acta, 1985, 8, 4, 373-378.

INTRODUCTION

La Mer Noire a un bilan d'eau positif : l'excédent s'écoule dans la mer Marmara par le Bosphore, qui représente la seule communication avec l'océan mondial.

A son tour la Mer Noire reçoit des eaux d'origine méditerranéenne, par un courant de profondeur, de salinité à peu près double de celle des eaux de la Mer Noire.

L'excédent des eaux douces (apport fluvial + précipitations-évaporation), d'une part, et les eaux d'origine méditerranéenne, d'autre part, déterminent dans la Mer Noire une structure hydrologique spécifique, caractérisée surtout par une puissante stratification de la salinité et de la densité; par un minimum thermique dans la couche 50-100 m; par la diminution de l'oxygène avec la profondeur jusqu'à sa disparition totale vers 200 m; par la présence d'hydrogène sulfuré à partir de 150 m approximativement, etc.

Ces caractères illustrent le fait que l'échange des eaux par le Bosphore joue un rôle important sur le régime hydrologique de la Mer Noire. Il est très intéressant de savoir si cet échange tend à modifier la structure de salinité, et si oui en quel sens. Quoique les données sur la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans la Mer Noire soient insuffisantes et controversées, elles permettent certaines clarifications importantes et utiles pour les futures recherches. Toutefois une réévaluation des volumes des eaux qui sortent et entrent dans la Mer Noire semble nécessaire. Ce sont les deux principales questions que nous nous proposons d'analyser dans ce travail.

DONNÉES ET MÉTHODES

Nous avons consulté toute la littérature spécialisée disponible sur le sujet. La bibliographie ne cite que les travaux qui contiennent des observations et des don-

nées de température, salinité, etc. nécessaires au présent travail. Nous nous excusons par avance de tout oubli auprès des auteurs.

Dans l'analyse de ces travaux, nous insistons sur les principales conclusions auxquelles sont arrivés les auteurs. Ont été reproduits ici certains tableaux présentant des valeurs de température et de salinité, qui nous permettent la clarification des problèmes controversés jusqu'à présent.

Étant donné qu'il est très difficile d'évaluer les volumes des eaux échangées par le Bosphore sur la base des données de courants, nous préférons utiliser les éléments du bilan hydrologique du bassin, ce que nous tentons dans la dernière partie de ce travail.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

a) Makarov (1885) a été le premier auteur qui ait obtenu des données importantes sur l'échange des eaux par le Bosphore. De novembre 1881 à septembre 1882, Makarov a effectué avec le navire « Taman » 4 000 mesures de température et 1 000 observations de courants. Le travail résultant « Sur l'échange des eaux par le Bosphore » a reçu le prix de l'Académie des Sciences.

Makarov a démontré l'existence dans le Bosphore de deux courants de directions opposées, l'un superficiel de la Mer Noire vers la mer de Marmara et l'autre en profondeur de la mer de Marmara vers la Mer Noire; leur interface est inclinée et descend vers la Mer Noire.

b) Les travaux de Merz en 1917-1918, avec le yacht « Adelgrunde », dont les résultats ont été publiés par Muller (1928) ont fourni les plus importantes données concernant la circulation des eaux par le Bosphore. Merz a effectué des observations sur la température, la salinité et la vitesse des courants à diverses profondeurs, dans 108 stations dont la plupart ont été occupées aux mois de septembre et octobre. Les résultats obtenus ont confirmé et complété les conclusions de Makarov.

Il faut noter surtout les cartes de vitesses des deux courants à diverses profondeurs et leur interface au long du détroit.

c) Hovasse (1938) remarque que les recherches de Merz ont été effectuées surtout aux mois de septembre-octobre, en sorte que les résultats ne peuvent pas être généralisés pour toute l'année. Hovasse a entrepris dans la période octobre 1931-septembre 1932, en moyenne une fois par semaine, des observations de température à diverses profondeurs à Balta-Liman, dans le Bosphore (41°05'7N). Ainsi, il a enregistré les 20 et 25 janvier et le 20 février 1932, aux profondeurs de 60-65 m, des températures de 6,01°; 5,2° et 3,5°, valeurs qui indiquent certainement l'absence de courant profond à ces dates. Hovasse mentionne aussi l'absence ou la faiblesse du courant de surface dans certains cas où le courant profond est puissant. Les données présentées mettent en relief les grands changements que peuvent subir les caractéristiques des deux courants opposés.

d) Ullyot et Ilgaz (1946) considèrent que les eaux d'ori-

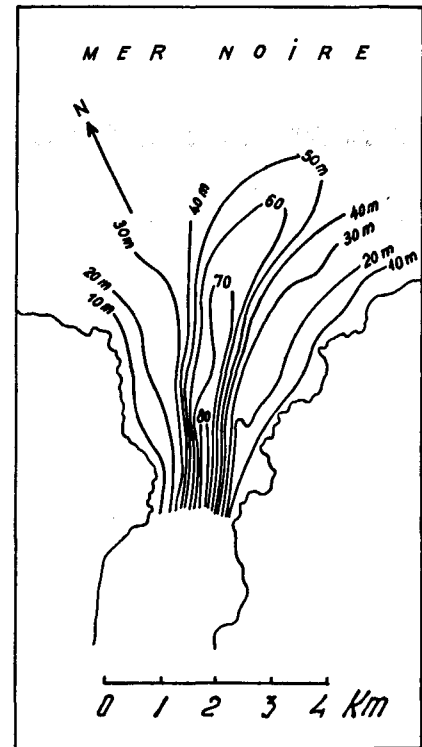


Figure 1
Profondeurs près de l'embouchure Nord du Bosphore, selon Ullyot et Ilgaz (1946).

Depths near the northern part of the Bosphorus, from Ullyot and Ilgaz (1946).

gine méditerranéenne ne pénètrent dans la Mer Noire que dans des cas exceptionnels et que la majeure partie de ces eaux, à cause du seuil existant au Nord du Bosphore, disparaissent par mélange avec les eaux du courant superficiel (fig. 1).

e) Pektash (1958) a eu le grand mérite d'être le premier à montrer que la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans le bassin de la Mer Noire présente des variations saisonnières importantes en rapport avec les variations du niveau de la Mer Noire; celui-ci atteint ses valeurs les plus élevées et l'excès maximal par rapport au niveau de la Mer Egée et de la Méditerranée pendant les mois de mars à juin. Il a dénommé cette période le « flux » par rapport à la période de « reflux » en août-novembre, avec les plus bas niveaux. Les mois de juillet, d'une part, et de décembre, janvier, février d'autre part, ont été considérés par l'auteur comme périodes de transition.

Les recherches effectuées par Pektash de mars 1952 à novembre 1953 sur le seuil existant au Nord du Bosphore montrent que dans les 8 stations effectuées dans la période du reflux (août-novembre) les salinités de l'eau marine reflètent la présence d'eaux d'origine méditerranéenne, les valeurs enregistrées atteignant jusqu'à 35,44. Dans les stations effectuées pendant les périodes de flux ou transition, les salinités — avec deux exceptions — ont été au-dessous de 19,00, ce qui traduit l'absence du courant profond (tab. 1). Ainsi, Pektash arrive à la conclusion que pendant la période de flux (mars-juin) la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne en Mer Noire est presque impossible à cause

Tableau 1

Salinités observées dans/sur le seuil du nord du Bosphore, selon Pektash (1958).
Salinities observed on or over the Northern sill of Bosphorus, from Pektash (1958).

Profondeur (m)	19.III 1952	5.V 1952	6.IX 1952	9.IX 1952	4.X 1952	15.X 1952	8.I 1953	24.II 1953	30.III 1953	7.IV 1953	7.V 1953	1.VII 1953	19.VIII 1953	11.IX 1953	6.XI 1953	16.XI 1953
0	17,43	17,03	18,22	17,75	18,21	18,12	17,10	17,42	18,09	16,48	18,62	17,66	18,17	17,81	17,76	17,02
5	-	-	-	-	-	-	17,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	17,99	-	18,12	-	17,51	17,48	16,87	18,48	17,97	18,17	17,85	17,81	17,07
15	17,43	17,22	-	-	-	-	17,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	17,99	-	-	-	17,48	17,95	17,70	18,53	18,21	18,17	17,94	17,76	17,09
25	-	17,81	-	-	18,21	-	17,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	17,43	-	18,22	17,99	-	-	-	17,48	18,21	17,83	18,53	18,33	18,21	17,94	17,85	17,05
35	-	-	18,22	-	19,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	17,43	-	25,19	18,22	26,42	18,31	17,88	17,58	-	18,11	18,39	18,48	18,39	18,03	17,90	17,05
45	-	-	-	-	-	-	21,72	17,51	-	-	-	-	35,44	-	30,10	30,91
50	-	17,91	35,15	18,46	-	18,49	32,21	-	-	18,11	18,62	18,57	-	-	-	-
60	17,60	-	-	-	-	18,87	35,02	-	-	18,11	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	19,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	-	-	-	23,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,84	19,13	-	-	-	-	-
85	-	-	-	-	-	22,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

du seuil existant au Nord du Bosphore, avec des profondeurs maximales de 45-50 m seulement. On mentionne toutefois que l'influence du vent est très importante pendant toute l'année et son effet déterminant dans les périodes de transition.

f) Les observations que nous avons effectuées dans la zone bosphorique de la Mer Noire pendant le printemps des années 1959-1961 (Serpoianu, Chirilă, 1961; Serpoianu, 1967) ont confirmé l'hypothèse de Pektash (1958) que la période mars-juin (de flux) est défavorable à la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans la Mer Noire. Les données obtenues dans 25 stations (fig. 2) nous permettent de constater un seul cas dans lequel la salinité indique l'influence des eaux méditerranéennes. Il s'agit de la station 856 avec une profondeur de 80 m, dans laquelle, à 75 m la salinité a été de 21,24 (tab. 2).

Il est vrai que dans certaines stations la distance entre le dernier niveau standard d'observation et le fond a été grande, ce qui n'a pas permis d'enregistrer l'éventuelle influence des eaux d'origine méditerranéenne. Il faut pourtant souligner le fait que dans plusieurs stations des échantillons ont été prélevés au voisinage immédiat du fond.

g) Dans la période 1958-1963 les Soviétiques ont effectué 9 campagnes dans la zone bosphorique de la Mer Noire. Les résultats ont été publiés par Bogdanova (1960; 1964; 1965; 1969) et Novitkii (1965). Malheureusement ces publications ne fournissent pas les valeurs des facteurs hydrologiques étudiés, et présentent seulement des cartes de température et de salinité au voisinage du fond pour certaines des stations. Novitkii donne aussi les valeurs maximales des salinités et le lieu où elles ont été trouvées.

Bogdanova (1969), en désaccord avec Pektash (1958), affirme que « Les eaux méditerranéennes arrivent dans la Mer Noire régulièrement et à toutes les saisons, y compris pendant les périodes où se rencontre l'excès maximal du niveau de la Mer Noire au-dessus de celui de la Méditerranée (excepté dans les cas rares où ces périodes coïncident avec les tempêtes de vent du nord) ».

Novitkii arrive à des conclusions semblables, mais les données qu'il présente, reproduites dans le tableau 3, nous permettent de faire les remarques suivantes :

– Seulement 3 campagnes d'entre les 9 exécutées par les Soviétiques ont eu lieu dans la période de flux (9 juin 1960; 15 mai 1962 et 13 mai 1963).

– La campagne effectuée le 13 mai 1963 comporte le plus grand nombre de stations (33) selon le réseau le plus dense (maille de 1 Mm); la salinité maximale a été de 18,60, ce qui dénote l'absence totale d'influence des eaux d'origine méditerranéenne. Dans la campagne de mai 1962 la salinité maximale de 21,04 indique une influence faible du courant bosphorique de profondeur. Enfin, en juin 1960, les deux valeurs indiquées (22 et 30, 86) attestent l'influence des eaux méditerranéennes.

– Les salinités maximales des 6 autres campagnes effectuées en dehors de la période de flux ont été considérablement plus élevées, les valeurs dépassant 30 pour quatre d'entre elles (voir tab. 3).

On constate donc que même les données soviétiques, analysées dans leur ensemble, attestent l'hypothèse de Pektash (1958) quoiqu'elle ait été contestée par Bogdanova (1969).

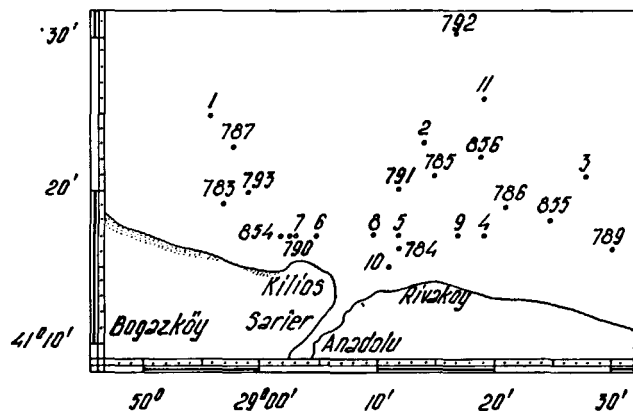


Figure 2

Les stations effectuées par des chercheurs roumains dans la zone bosphorique de la Mer Noire, pendant la période 1959-1961. Position of the stations carried out by Romanian scientists in the Bosphorus zone of the Black Sea, 1959-1961.

Tableau 2

Salinités relevées dans la zone bosphorique de la Mer Noire, au printemps des années 1959-1961, selon Serpoianu et Chirilă (1961); Serpoianu (1967).

Salinities recorded in the Bosphorus zone of the Black Sea, in the spring of the years 1959-1961, from Serpoianu and Chirilă (1961); Serpoianu (1967).

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	783	784
Date	25.IV 1959	25.IV 1959	25.IV 1959	26.IV 1959	26.IV 1959	26.IV 1959	30.IV 1959	30.IV 1959	30.IV 1959	1.V 1959	1.V 1959	14.IV 1960	14.IV 1960
Lieu	41°25'N 28°56'E	41°23'N 29°14'E	41°21'N 29°28'E	41°17'N 29°19'E	41°17'N 29°12'E	41°17'N 29°05'E	41°17'N 29°03'E	41°17'N 29°10'E	41°17'N 29°17'E	41°15'N 29°11'E	41°26'N 29°19'E	41°19'N 28°57'E	41°16' 29°12'
0 m	17,19	17,61	17,74	16,96	17,09	17,09	17,61	17,34	17,34	17,86	17,48	16,83	16,96
10 m	17,61	17,86	17,74	16,96	17,21	17,34	17,86	17,74	17,48	17,97	17,97	17,09	16,96
25 m	18,48	18,60	18,48	17,61	17,86	18,10	18,22	18,10	18,35	18,48	18,48	18,12	18,12
50 m	18,48	18,68	18,48	18,60	18,68	18,48	18,73	18,48	18,60	18,48	18,48	18,37	18,24
62 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,37	18,37
70 m	-	-	-	18,48	-	18,73	-	-	-	-	-	-	-
75 m	18,48	18,73	18,60	-	-	-	-	-	-	-	18,60	-	-
95 m	-	18,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,73	-	-
125 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,98	-	-
150 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,63	-	-
Profondeur (m)	84	98	84	70	67	73	70	63	63	56	150	65	65
Station	785	786	787	788	789	790	791	792	793	854	855	856	
Date	14.IV 1960	14.IV 1960	15.IV 1960	15.IV 1960	16.IV 1960	20.IV 1960	21.IV 1960	21.IV 1960	23.IV 1960	26.IV 1961	27.IV 1961	28.IV 1961	
Lieu	41°21' 29°15'	41°19' 29°21'	41°23' 28°58'	41°16' 30°10'	41°16' 29°30'	41°17' 29°03'	41°20' 29°12'	41°30' 29°17'	41°20' 28°59'	41°17' 29°02'	41°18' 29°25'	41°22'N 29°19'E	
0 m	16,83	16,83	17,09	16,71	16,71	16,33	16,58	18,12	16,33	17,79	17,56	17,56	
10 m	17,09	16,83	17,74	16,71	17,09	16,83	17,99	18,62	18,24	17,79	17,79	17,56	
25 m	17,86	17,86	18,37	17,61	18,12	16,96	18,37	18,62	18,24	18,30	18,30	18,17	
50 m	18,12	18,37	18,50	18,37	18,62	18,24	18,50	18,62	18,50	18,30	18,53	18,53	
60 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
62 m	-	-	-	-	-	18,24	-	-	-	-	-	-	
70 m	18,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
72 m	-	18,62	-	-	-	-	18,52	-	-	-	-	-	
75 m	-	-	18,50	18,75	-	-	-	-	-	-	-	-	
100 m	-	-	-	-	-	-	-	19,14	18,62	-	18,78	21,24	
125 m	-	-	-	-	-	-	-	19,27	-	-	-	-	
150 m	-	-	-	-	-	-	-	19,65	-	-	-	-	
175 m	-	-	-	-	-	-	-	20,30	-	-	-	-	
200 m	-	-	-	-	-	-	-	20,55	-	-	-	-	
250 m	-	-	-	-	-	-	-	21,18	-	-	-	-	
300 m	-	-	-	-	-	-	-	21,56	-	-	-	-	
Profondeur (m)	77	75	75	78	54	65	74	300	77	59	75	80	

LES VOLUMES DES EAUX SORTANTES ET ENTRANTES DU BOSPHORE

Le volume des eaux qui sortent par le Bosphore est déterminé par l'excédent des eaux de la Mer Noire, comme résultat d'entre l'apport fluvial + précipitations - évaporation.

L'apport fluvial est maintenant bien connu, parce qu'on dispose d'observations multiannuelles sur le débit de tous les cours d'eau importants qui se déversent dans la Mer Noire. Nous sommes arrivés à la conclusion que l'évaluation assez récente de Berenbeim (1960; 1961) est la plus précise parce que la valeur annuelle indiquée (341 km³) est justifiée par le débit de tous les cours d'eau. En outre le débit indiqué pour le Danube (201 km³) dépasse de 5 km³ seulement celui établi ultérieurement avec grande précision par une collaboration entre les chercheurs roumains et soviétiques (196 km³), pour la période 1929-1959 (Diaconu, Nikiforov, 1963).

En ce qui concerne les précipitations, le même auteur (Berenbeim, 1960) et Soliankin (1963), analysant les résultats des observations multiannuelles effectuées sur l'île des Serpents, ainsi que celles obtenues sur les navires en haute mer, arrivent à des valeurs annuelles très proches, respectivement de 120 et 119 km³.

Nous considérons ces valeurs plus précises que celles indiquées antérieurement, beaucoup plus grandes, par des auteurs qui ont utilisé seulement les données de stations côtières. A propos des différences relevées dans ce cas, rappelons que Béthoux et Ivanoff (1976) montrent que, dans le bassin occidental de la Méditerranée, la pluie en mer ne représente que 50% de celle mesurée dans les stations côtières.

L'évaporation a été estimée par plusieurs auteurs légèrement au-dessus de 80 cm/an : Müller (1928), 84 cm; Pektash (1958), 84 cm; Bruevici (1960), 85 cm. Dans un travail antérieur se référant au bilan hydrologique de la Mer Noire nous avons arrondi la valeur de

l'évaporation à 340 km³ (Serpoianu, 1973), ce qui correspond à environ 81 cm.

Les données présentées nous permettent d'avancer que l'excédent d'eau douce de la Mer Noire (apport fluvial + précipitations - évaporation) représente 116 km³ (336 + 120 - 340). Si on ajoute 21 km³, la différence positive de l'échange des eaux par Kerçi (Soliankin, 1963), on obtient un excédent total de 137 km³ annuelle-ment.

Il faut noter que l'apport fluvial et les précipitations présentent de grandes variations annuelles et saisonnières. Les données dont nous disposons sur le Danube - qui seul donne 60% de l'apport fluvial - nous montrent que son débit a oscillé dans la période 1961-1980 entre 165 km³ en 1961 et 293 km³ en 1970. En ce qui concerne les variations saisonnières, on constate que les moyennes mensuelles ont été comprises entre 11,4 km³ en novembre et 25,5 km³ au mois de mai. Les plus hauts niveaux existant de mai à juin (fig. 3) correspondent à la période indiquée par Pektash (1958). La situation exposée montre à l'évidence que les mesures effectuées dans une saison quelconque d'une certaine année sur les deux courants opposés dans le Bosphore peuvent être affectées d'erreurs importantes sur les volumes moyens des eaux qu'ils transportent. D'ailleurs l'« United States Navy Hydrographic Office » (Gunnerson, Oztungut, 1974) montre que cha-

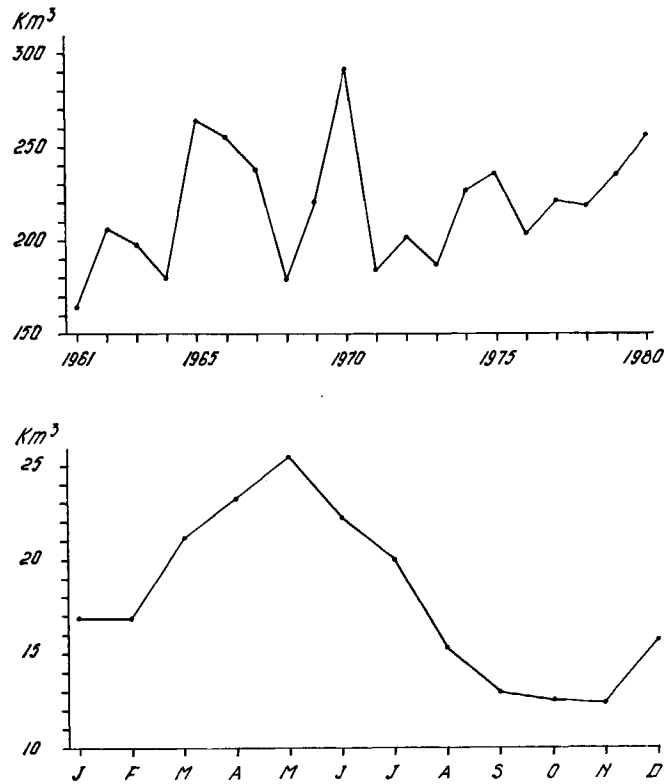


Figure 3

Valeurs moyennes annuelles et mensuelles du débit du Danube pendant la période 1961-1980.

Annual and monthly mean values of Danube discharge, during 1961-1980.

Tableau 3

Influence des eaux d'origine méditerranéenne dans la zone bosphorique de la Mer Noire, selon Novitkii (1965).

Influence of Mediterranean Sea waters in the Bosphorus zone of the Black Sea, from Novitkii (1965).

Date	(1)	(2)	(3)	(4)	T(°C)	S	Lieu	Vent
31.VII 1.VIII 1958	5		3	NW	12,98	32,40	41°21'N 29°05'E	NE/2-3
9.VI 1960			3	NE	≈8	≈22		NE/1-2
15.X 1960			3	NW	12,04	30,86	82 m	SW/2
20-26 X 1960				NW	12,24	28,55	100 m	SSW/3-5
21.II 1961			3		12,93	30,34	79 m	NNE/1
15.V 1962	1		5	W	9,22	21,04	41°29'N 29°06'E	SSW/2-3
15-16 VIII 1962	3	25	5	NW	9,44	20,79	41°22'N 29°05'E	NE/4-5
				NNE	9,28	20,73	41°26'N 29°11'E	
				ENE	10,04	20,30	41°21'N 29°12'E	
				ENE	9,04	21,27	41°30'N 29°28'E	
13.V 1963	2	33	1	W		18,60	41°22'N 29°06'E 41°21'N 29°12'E	NE/2-5
19.VIII 1963	3	36	1	NW	10,7	31,15	41°25'N 29°05'E	NE/1-4 (17-18)
				NNE	11,4	27,01	41°24'N 29°09'E	SW/3 (19)
				ENE	11,0	25,55	41°22'N 29°13'E	

(1) Nombre des profils; (2) Nombre des stations; (3) Distance entre stations; (4) Direction des courants.

cun des deux courants présente des variations entre 3 000 et 30 000 m³/s.

Ces changements sont dus aussi aux caractéristiques des vents de la région. Ainsi nous sommes arrivés à la conclusion qu'il est préférable d'évaluer les volumes des eaux qui s'échangent par le Bosphore en se fondant sur la valeur de l'excédent du bilan d'eau de la Mer Noire. Connaissant les valeurs de la salinité des eaux qui sortent par le Bosphore (environ 18) et de celles issues de la mer de Marmara (qui dépassent légèrement 38), et sachant que le niveau et la salinité de la Mer Noire restent constants, nous arrivons aux relations suivantes entre les volumes des eaux qui pénètrent (V) et s'écoulent (V_e) de la Mer Noire :

$$V_e - V = 137 \text{ km}^3,$$

$$\frac{V_e}{S} = \frac{V}{S_e} = \frac{V_e - V}{S - S_e},$$

d'où V_e et V connaissant S_e et S :

$$V_e = 260 \text{ km}^3,$$

$$V = 123 \text{ km}^3.$$

Les valeurs obtenues sont plus basses que celles de Müller (1928), respectivement 397 et 190 km³, adoptées ultérieurement par d'autres auteurs. Il ne s'agit pas d'un changement entre l'époque des observations faites par Merz et l'époque actuelle, mais d'une méthode de calcul que nous considérons préférable.

CONCLUSIONS

Dans la littérature spécialisée on trouve trois hypothèses différentes concernant la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans la Mer Noire : l'une soutient que ces eaux ne pénètrent que dans des cas exceptionnels; d'après l'autre, la pénétration a lieu régulièrement pendant toute l'année, et une troisième se fonde sur des changements saisonniers importants.

Une analyse attentive et comparative des données confirme la justesse de la troisième hypothèse. Pektash (1958) a eu le mérite d'être le premier à montrer que la période des plus hauts niveaux de la Mer Noire, de mars à juin, est défavorable à la pénétration des eaux d'origine méditerranéenne dans la Mer Noire, ce qui est confirmé par nos recherches et par l'ensemble des données des Soviétiques.

Les calculs effectués sur les échanges d'eau par le Bosphore, en utilisant l'excédent du bilan d'eau de la Mer Noire — tel qu'il résulte des données les plus récentes et les plus sûres — nous montrent que le volume moyen des eaux qui sortent annuellement représente environ 260 km³. Le volume des eaux qui pénètrent par le courant de profondeur est d'environ 123 km³. Nous considérons que ces volumes, étant donné la méthode de calcul utilisée, sont plus raisonnables que les valeurs plus grandes mentionnées par Müller.

Remerciements

L'auteur est reconnaissant aux rapporteurs pour leurs aimables suggestions.

RÉFÉRENCES

- Berenbeim D. I. A., 1960. Kolebaniia vodnosti Chernogo i Azovskogo morei i recinoi stok, *Tr. Azovo-Cernomorsk. n.-i. in-ta morsk. ribn. h-va i Okeanogr.*, 18, 3-20.
- Berenbeim D. I. A., 1961. Recinoi stok i solenosti severozapadnoi ciasti Chernogo moria, *Tr. Azovo-Cernomorsk. n.-i. in-ta morsk. ribn. h-va Okeanogr.*, 19, 10-18.
- Béthoux J.-P., Ivanoff A., 1976. Le bilan thermique et hydrique de la Méditerranée, *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 23, 61-63.
- Bogdanova A. K., 1960. Novie danie o rasprosta nenii sredizemnomorskikh vod v Cionom more, *Tr. Sevastopol*, 13, 379-385.
- Bogdanova A. K., 1964. Roli sgono-nagonnoi žirkulijii v vodoobmene cerez Bosfor, *Tr. Sevastopol*, 15, 534-550.
- Bogdanova A. K., 1965. Roli iujnogo i severnogo parogov v vodoobmene cerez Bosfor, *Okeanologhiia*, 5, 834-840.
- Bogdanova A. K., 1969. Particularités de l'échange d'eau par le Bosphore, *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 19, 4, 693-696.
- Bruevici S. V., 1960. O vodnom i solenom balanse Chernogo moria. In-ta oceanol., *AN SSSR*, 7, -.
- Diaconu C., Nikiforov I. A., 1963 (sub red.). Zona de vărsare a Dunării, *Monogr. Hidrol.*, Bucureşti, 247-258.
- Gunnerson C., Oztungut E., 1974. The Bosphorus, édité par E. T. Degens et D. A. Ross; *The Black Sea. Geology, chemistry, biology*, American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma, USA, 99-114.
- Hovasse R., 1938. Note océanographique sur le Bosphore, *Bull. Inst. Océanogr.*, 739, 1-8.
- Markov S. C., 1885. Ob obmene vod Chernogo i Sredizemnogo morei, *Zap. Akad. Nauk*, 3.
- Müller L., 1928. Alfred Merz. Hydrographische Untersuchungen in Bosphorus and Dardanellen. Veröffentl. Inst. Meereskunde an der Universiteit Berlin, *Neue Folg.*, A 18, 3-284.
- Novitkii V. P., 1965. K voprosu o dinamike Mramornomorskikh vod na pribosforskom self Cionogo moria, *Okeanologhiia*, 5, 841-848.
- Pektash H., 1958. The influence of the Mediterranean water on the hydrography of the Black Sea, *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 14, 85-93.
- Serpoianu Gh., 1967. Observations sur la pénétration des eaux méditerranéennes dans le bassin de la Mer Noire, *Hidrobiologia*, 8, 239-251.
- Serpoianu Gh., 1973. Le bilan hydrologique de la Mer Noire, *Cercetări Mar.*, 5-6, 145-153.
- Serpoianu Gh., Chirilă V., 1961. Observații asupra condițiilor hidrologice din zona bosforică a Mării Negre, în primăvara anului 1959, *Hidrobiologia*, 3, 355-367.
- Soliankin E. V., 1963. O vodnom balans Chernogo moria, *Okeanologhiia*, 3, 6, 986-993.
- Ullyot P., Ilgaz O., 1946. The hydrography of the Bosphorus, *Geogr. Rev.*, 36, 1, 44-66.