

RELATIONS ENTRE LES DÉBITS DU PO ET LES SALINITÉS DES EAUX COTIÈRES ADRIATIQUES PRÈS DE FANO

par Marta SCACCINI-CICATELLI

La salinité de la Mer adriatique, mesurée sur les eaux en face du laboratoire de Biologie marine de Fano, tous les jours pendant 15 années, a présenté une allure fort variable. Pourtant, si l'on fait les moyennes des moyennes mensuelles pendant toute cette longue période de temps, il en résulte un diagramme (fig. 1) présentant un seul maximum fort remarquable en août et un seul minimum en décembre, de sorte que, excepté les très fortes oscillations qu'on remarque d'une année à l'autre, si l'on en considère l'allure générale, le degré de salinité est plus bas en hiver et plus élevé en été.

On pourrait penser que cette allure est déterminée par les débits des petits cours d'eau débouchant dans la moyenne Adriatique dont quelques-uns (Foglia, Metauro) ont leur embouchure à quelques kilomètres seulement de notre station d'observation, car les apports de ces petits cours ont leur maximum en hiver et leur minimum en été. Mais c'est là une opinion qu'on ne peut pas accepter, car leurs apports d'eau douce sont tout à fait modestes. D'ailleurs j'ai déjà eu l'occasion d'étudier ces corrélations probables et j'en suis arrivée à affirmer qu'elles n'existent point, ou que ce n'est qu'à l'occasion d'événements exceptionnels, qu'elles peuvent être mises en évidence et toujours d'une façon fort limitée.

J'avais déjà remarqué, au contraire, que c'est le Pô qui, par la remarquable masse d'eau douce qu'il déverse dans une mer fermée et peu profonde, bien qu'à une distance importante de notre point d'observation (130 km à peu près), peut exercer une influence décisive sur la salinité de l'Adriatique septentrionale, et même de l'Adriatique moyenne jusqu'à Fano et au-delà.

Nous avons les données des différents débits du Pô pour une période de 40 ans à peu près(1). C'est d'après ces données que j'ai dessiné le diagramme de la figure 2, représentant les différentes variations des débits moyens par mois au cours de cette longue période de temps.

Il faut remarquer que ces mesures ont été exécutées à la Station hydrométrique de Pontelagoscuro (près Ferrara), c'est-à-dire presque à 100 km des bouches du Pô.

Comme j'ai déjà eu l'occasion de le remarquer dans un travail précédent, cette station hydrométrique nous indique toute la quantité d'eau qui aboutit réellement à la mer à travers les différentes bouches, car depuis ce point jusqu'à l'embouchure toutes les différentes branches du Pô sont flanquées de digues et il faut encore remarquer que leur fond est imperméable.

Comme il est facile de relever sur le diagramme, les débits du Pô présentent deux maxima bien clairs, l'un au printemps (mois de mai) et l'autre en automne (mois de novembre). Le premier est plus remarquable que le second, puisqu'il correspond, d'une part à la période des précipitations du printemps sur tout le bassin hydrographique, d'autre part à l'apport de ses affluents de gauche provenant de la fusion des neiges et des glaciers, tandis que le second maximum correspond aux pluies estivales de haute montagne et aux pluies d'automne de la plus grande partie du bassin hydrographique. La courbe présente aussi un minimum en août et un autre, moins important, en janvier. Dans son ensemble elle présente donc deux maxima et deux minima.

(1) A ce propos je dois remercier M. l'Ingénieur CANALI, Directeur de l'Office hydrographique du Pô à Parme, qui, avec son personnel, a bien voulu m'aider dans mon travail. Je veux préciser en même temps que les données se rapportant aux années 1959 et 1960 n'ont pas encore paru dans les Annales et qu'elles m'ont été aimablement communiquées. En plus, les données se rapportant à l'année 1960 ne sont pas encore définitives.

Mois Années	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre		Moyennes annuelles				
	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}	Q	\bar{Q}			
1945													350	-682	764	-74	762	-337	517	-791	2510	825	1390	-186					
1946	996	-134	1070	-224	2480	959	1350	-210	2790	812	2750	897	1650	618	984	146	1590	491	806	-502	856	-829	821	-755	1510	104			
1947	648	-482	1040	-254	1980	459	1800	240	1670	-308	1040	-813	740	-292	616	-222	1000	-99	1880	572	1490	-195	1630	54	1300	-106			
1948	1620	490	1730	436	1070	-451	1350	-210	3820	1842	2000	147	847	-185	1140	302	2290	1191	1230	-78	1320	-365	874	-702	1610	204			
1949	1150	20	708	-586	786	-735	487	-1073	2600	622	1340	-513	606	-426	333	-505	551	-548	647	-661	1330	-355	1030	-546	967	-439			
1950	776	-354	1160	-134	1200	-321	1410	-150	1620	-358	1230	-623	485	-547	537	-301	785	-314	834	-474	934	-751	1300	-276	1020	-386			
1951	1690	560	3140	1846	2390	869	1630	70	2710	732	3460	1607	2340	1308	1760	922	1150	51	1450	142	3220	1535	1590	14	2200	794			
1952	1050	-80	972	-322	807	-714	1190	-370	2240	262	1080	-773	612	-420	718	-120	1100	1	1370	62	1160	-525	985	-591	1110	-296			
1953	882	-248	765	-529	786	-735	858	-702	714	-1264	1290	-563	1370	338	750	-88	924	-175	3980	2772	2840	1155	1280	-296	1370	-36			
1954	1200	70	1420	126	1920	399	1570	10	2290	312	2440	587	1110	78	1270	432	1350	251	821	-487	782	-903	1880	304	1500	94			
1955	1300	170	1470	176	1740	219	1030	-530	601	-1377	1170	-683	942	-90	739	-99	985	-114	886	-422	954	-731	896	-680	1060	-346			
1956	935	-195	700	-594	1430	-91	2300	740	1560	-418	1320	-533	1220	188	559	-279	1500	401	1240	-68	1150	-535	749	-827	1220	-186			
1957	795	-335	1090	-204	1000	-521	1680	120	1700	-278	3620	1767	1290	258	728	-110	714	-385	794	-514	1760	75	1510	-66	1390	-16			
1958	953	-177	932	-362	996	-525	2290	730	1160	-818	1270	-583	939	-93	739	-99	781	-318	1600	292	1660	-25	2450	874	1314	-92			
1959	1230	100	937	-357	1630	109	2060	500	2480	502	1730	-123	984	-48	934	96	1010	-89	1560	252	3310	1625	4850	3274	1893	487			
1960	1740	610	2280	986	2600	1079	2400	840	2010	32	2060	207																	
Moyennes mensuelles pour les 15 années	1130		1294		1521		1560		1978		1853		1032		838		1099		1308		1685		1576		1406				

TABLEAU I. — Débits du Pô à Pontelagoscuro en m³/s depuis juillet 1945 jusqu'en juin 1960 sans interruption.

Si l'on compare les deux diagrammes représentés dans les figures 1 et 2, on peut donc observer que, d'un point de vue très général, il n'existe aucune relation directe entre le régime des débits du Pô et les variations de la salinité des eaux de l'Adriatique occidentale, calculée à notre station d'observation. C'est-à-dire que les débits du Pô ne sont point le seul facteur déterminant à ce sujet.

Les variations annuelles de la salinité sont d'ailleurs très importantes et fort différentes d'une année à l'autre. Il en est de même pour les débits du Pô.

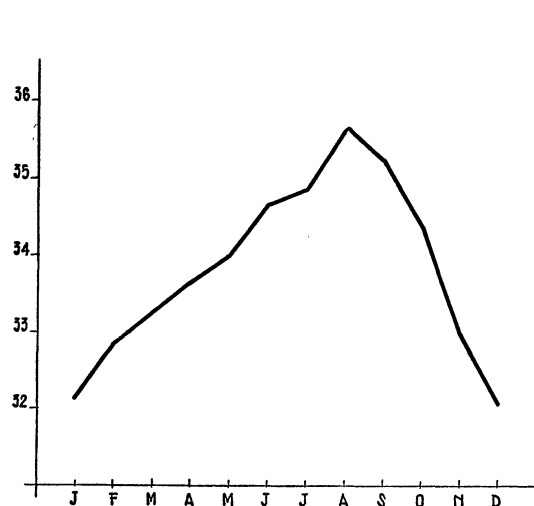


FIG. 1. — Diagramme des moyennes mensuelles de la salinité de l'eau côtière à Fano pendant une période de 15 années (1945-1960).

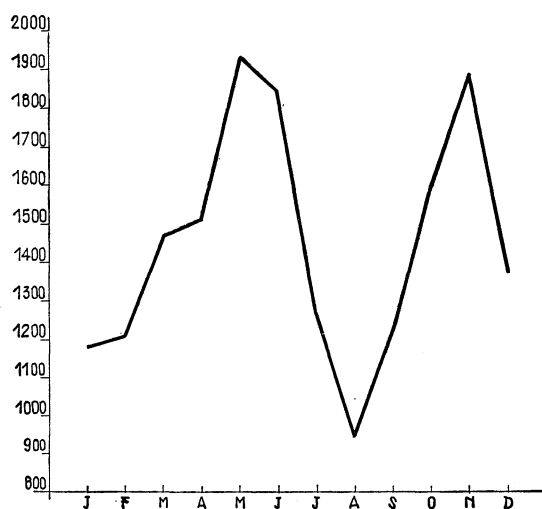


FIG. 2. — Diagramme des moyennes mensuelles des débits du Pô pendant une période de 40 années.

Voilà pourquoi, tout en tenant pour vrai le principe de l'indépendance de la salinité de la mer, j'ai voulu étudier comment et dans quelle mesure la salinité peut être tour à tour influencée par les variations des débits du Pô accentuées elles aussi.

L'étude de ces corrélations peut avoir une grande importance, surtout du point de vue biologique, et c'est pourquoi elle a été entreprise par le laboratoire de Biologie marine de Fano.

Dans ce but j'ai reporté dans le tableau I les données des moyennes mensuelles des débits du Pô à Pontelagoscuro en m³/s, enregistrées depuis juillet 1945 jusqu'en juin 1960, c'est-à-dire pendant une période ininterrompue de 15 années.

Pour chaque mois, on a fixé deux colonnes : dans la première on a reporté le débit moyen (\bar{Q}) de chaque mois et de chaque année exprimé en m³/s; dans la seconde on a reporté l'écart (\bar{Q}) entre la valeur précédente et la valeur de la moyenne totale se rapportant au même mois, calculée pour la période des 15 années considérées. Dans la dernière colonne de droite on peut lire respectivement les valeurs des débits moyens annuels et de leurs écarts par rapport à la moyenne totale des 15 années prises en considération. J'ai procédé de même pour le tableau II, se rapportant aux valeurs des salinités calculées à notre station dans les eaux de Fano ($S\%$) et aux écarts respectifs ($\bar{S}\%$).

Avec les données des écarts moyens de chaque mois et de chaque année, aussi bien pour les débits du Pô, que pour les taux de salinité, j'ai tracé le diagramme de la figure 3 en considérant un axe des abscisses communs pour les débits et pour les salinités.

Si un rapport existe entre ces deux variables, il est inverse, on a donc inversé le diagramme des écarts des salinités, pour en faciliter la lecture et la comparaison : c'est-à-dire que les valeurs

Mois Années	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre		Moyennes annuelles			
	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰	S‰		
1945													36,03	1,16	37,15	1,49	36,02	0,77	35,29	0,87	33,41	0,48	33,03	0,98				
1946	32,32	0,17	34,76	1,89	33,60	0,37	33,75	0,12	34,69	0,67	35,41	0,76	32,27	-2,60	35,34	-0,32	35,67	0,42	34,47	0,05	33,58	0,65	32,41	0,36	34,02	0,21		
1947	33,14	0,99	31,77	-1,10	32,29	-0,94	32,46	-1,17	33,90	-0,12	34,52	-0,13	35,09	0,22	35,84	0,18	35,41	0,16	31,92	-2,50	31,29	-1,64	32,53	0,48	33,35	-0,46		
1948	33,04	0,89	30,58	-2,29	35,06	1,83	37,45	3,82	37,18	3,16	35,62	0,97	35,38	0,51	34,97	-0,69	35,27	0,02	34,08	-0,34	31,85	-1,08	33,52	1,47	34,50	0,69		
1949	33,28	1,13	35,14	2,27	35,77	2,54	38,67	5,04	35,32	1,30	39,53	4,88	39,38	4,51	38,28	2,62	37,15	1,90	35,96	1,54	37,18	4,25	32,73	0,68	36,53	2,72		
1950	33,57	1,42	35,75	2,88	35,13	1,90	36,86	3,23	33,18	-0,84	36,29	1,64	36,12	1,25	37,18	1,52	37,63	2,38	37,49	3,07	36,69	3,76	34,21	2,16	35,84	2,03		
1951	34,32	2,17	34,25	1,38	32,98	-0,25	35,07	1,44	32,57	-1,45	32,24	-2,41	31,42	-3,45	32,96	-2,70	32,29	-2,96	30,07	-4,35	31,79	-1,14	25,96	-6,09	32,16	-1,65		
1952	31,36	-0,79	31,83	-1,51	32,60	-0,63	32,63	-1,00	33,94	-0,08	36,10	1,45	36,10	1,23	36,11	0,45	35,10	-0,15	35,57	1,15	31,32	-1,61	31,70	-0,35	33,70	-0,11		
1953	32,47	0,32	32,65	-0,22	32,06	-1,17	31,76	-1,87	34,92	0,90	34,82	0,17	33,59	-1,28	33,42	-2,24	36,23	0,98	35,47	1,05	28,04	-4,89	28,05	-4,00	32,78	-1,03		
1954	33,40	1,25	32,84	-0,03	35,14	1,91	33,87	0,24	33,64	-0,38	31,78	-2,87	32,15	-2,72	34,96	-0,70	35,40	0,15	33,85	-0,57	33,49	0,56	33,47	1,42	33,67	-0,14		
1955	31,49	-0,66	32,59	-0,28	32,96	-0,27	33,31	-0,32	34,40	0,38	35,00	0,35	33,69	-1,18	33,22	-2,44	31,88	-3,37	33,65	-0,77	33,55	0,62	33,35	1,30	33,26	-0,55		
1956	32,92	0,77	33,36	0,49	33,73	0,50	31,52	-2,11	32,79	-1,23	32,90	-1,75	35,90	1,03	37,41	1,75	36,05	0,80	35,08	0,66	33,48	0,55	32,99	0,94	34,01	0,20		
1957	30,87	-1,28	33,44	0,57	32,52	-0,71	31,05	-2,58	33,30	-0,72	32,13	-2,52	33,01	-1,86	34,94	-0,72	35,52	0,27	34,07	-0,35	32,91	-0,02	32,32	0,27	33,01	-0,80		
1958	31,79	-0,36	32,08	-0,79	32,60	-0,63	34,86	1,23	35,23	1,21	36,20	1,55	37,04	2,17	37,27	1,61	36,04	0,79	36,06	1,64	32,85	-0,08	31,12	-0,93	34,43	0,62		
1959	29,71	-2,44	31,51	-1,36	32,18	-1,05	31,63	-2,00	34,84	0,82	32,23	-2,42	35,34	0,47	35,93	0,27	33,05	-2,20	33,31	-1,11	32,57	-0,36	33,31	1,26	32,97	-0,84		
1960	28,63	-3,49	30,49	-2,38	29,84	-3,39	29,63	-4,00	30,47	-3,55	35,02	0,37																
Moyennes mensuelles pour les 15 années	32,15		32,87		33,23		33,63		34,02		34,65		34,87		35,66		35,25		34,42		32,93		32,05		33,81			

TABLEAU II. — Salinités des eaux côtières à Fano (Adriatique moyenne) depuis juillet 1945 jusqu'en juin 1960.

positives ont été marquées dans la partie inférieure du graphique et les valeurs négatives dans la partie supérieure.

Il suffit de jeter un coup d'œil à ce diagramme, se déroulant le long de 15 années, pour remarquer la relation générale d'une concordance presque parfaite. Si cette concordance n'est pas parfaite au point de vue mathématique, c'est parce que, comme je le dirai tout à l'heure, bien d'autres causes peuvent modifier dans un sens ou dans l'autre une des deux variables.

Pour comprendre ce diagramme plus rapidement et plus exactement, on doit remarquer plutôt que, comme il s'agit de moyennes mensuelles et que l'eau du Pô parcourt en un temps plus ou moins long la distance entre Pontelagoscuro et les environs de Fano, les conséquences sur la salinité se manifestent parfois dans le même mois, parfois dans le mois suivant, et plus tard encore.

Ces différences de temps dépendent de la direction et de la force des vents, de la vitesse des courants et enfin du fait que les variations du débit sont plus sensibles pendant les premiers ou les derniers jours du mois.

Ces corrélations se manifestent d'une manière plus éclatante, surtout lors d'événements d'une importance exceptionnelle (1951, 1953), mais il n'y a pas lieu de répéter ici des remarques que j'ai déjà faites dans quelques-uns de mes travaux précédents, communiqués à cette même Commission.

Ce qu'il est intéressant de remarquer c'est surtout la corrélation presque constante en ce qui concerne le sens des écarts, indépendamment de l'ampleur de la variation elle-même.

En effet, il semble parfois que la diminution de la salinité est trop faible par rapport à un apport du Pô fort supérieur à la moyenne, d'autres fois cette variation est plus importante.

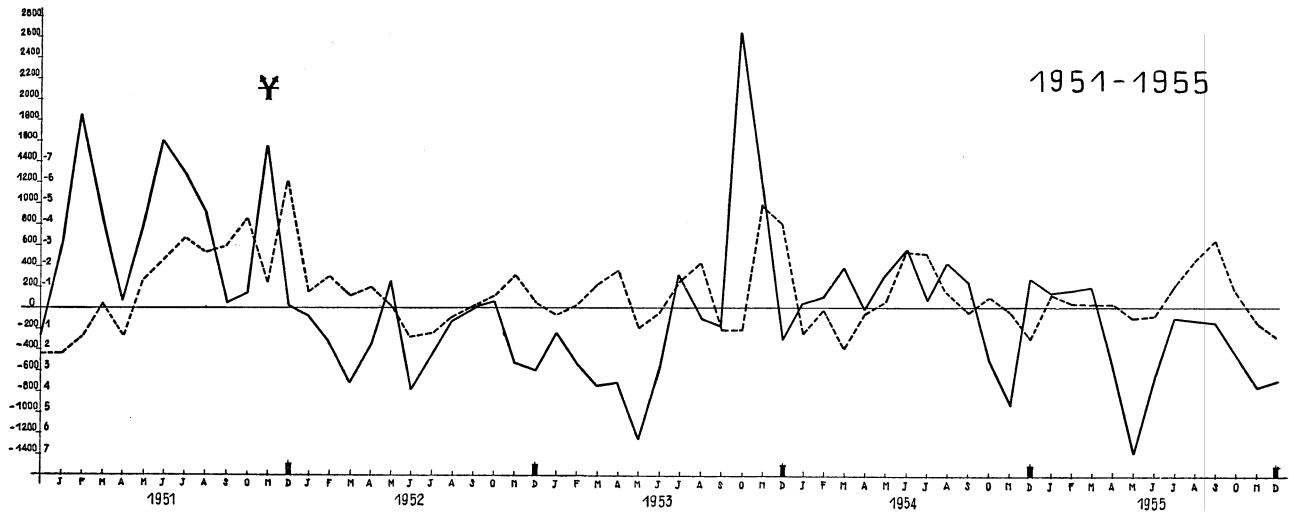
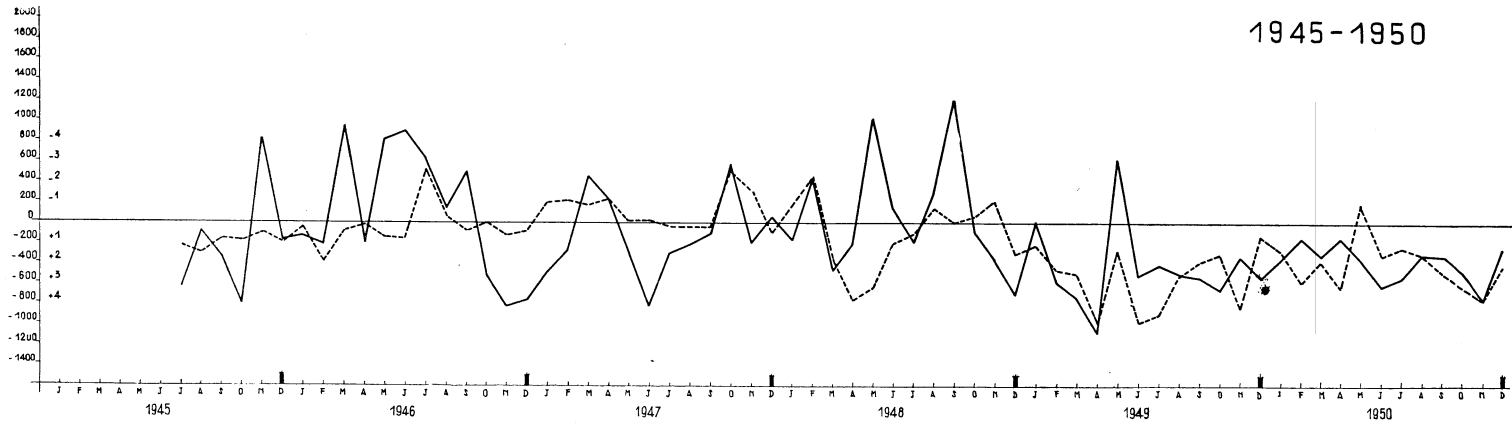
On doit donc considérer de nombreux et importants facteurs, d'une part en ce qui concerne le temps nécessaire à la corrélation entre les fluctuations des apports du Pô et la variation, en sens opposé, bien entendu, de la salinité de l'Adriatique moyenne, d'autre part en ce qui concerne l'intensité plus ou moins accentuée de cette corrélation.

Le plus important de ces facteurs est sans doute le vent, dont il faut considérer la direction, l'intensité et la durée. Ce sont en effet les vents qui modifient la direction et la vitesse des courants superficiels locaux. Ce sont justement les vents du nord et du nord-est qui soufflent le plus souvent sur la côte de Fano, parfois pendant de longues périodes; toutefois leur vitesse est souvent modeste. On a observé que ces vents contribuent à réduire les durées du temps qui s'écoule entre les deux phénomènes dont j'ai étudié la corrélation; au contraire, lorsque ce sont les vents d'ouest ou du sud-ouest qui soufflent, on remarque un intervalle plus long et l'écart par rapport aux moyennes devient plus faible.

C'est ce qu'on a vérifié en septembre et octobre 1951. Pendant cette période l'apport du Pô a été inférieur à la moyenne, tandis qu'au mois d'octobre la salinité a diminué remarquablement. Mais il faut considérer que pendant les sept mois précédents les apports du Pô avaient été très abondants et que, pendant tout le mois d'octobre, et justement jusqu'au 29, des vents du nord et du nord-est ont soufflé, c'est-à-dire les vents les plus favorables à la dispersion des eaux du Pô en direction de Fano.

En général les précipitations n'exercent aucune influence sur la salinité, pas même sur les couches superficielles de la mer; j'ai pu toutefois observer que, après des pluies fort abondantes et prolongées, une diminution de la salinité est clairement remarquable, mais seulement pendant quelques jours. De plus il ne faut pas oublier à ce sujet que les petits fleuves descendant nombreux de l'Apennin et qui se jettent le long du littoral adriatique augmentent leurs apports d'une façon considérable jusqu'à 10-20 fois leurs apports moyens. Tous ces fleuves ont un cours très bref et impétueux, de sorte que le temps qui sépare la chute des pluies et leurs crues n'est pas long. Les cours d'eau qui intéressent surtout notre travail sont le Foglia et le Metauro, dont les bouches se trouvent à quelques kilomètres seulement de notre station d'observation, l'une au nord-ouest, l'autre au sud-est.

Quelques-unes des contradictions apparentes qu'on voit dans nos graphiques peuvent être expliquées par les considérations que nous venons de faire. Il en est ainsi, par exemple, de la faible salinité des mois d'août et de septembre 1955. En effet, pendant les mois de juillet et



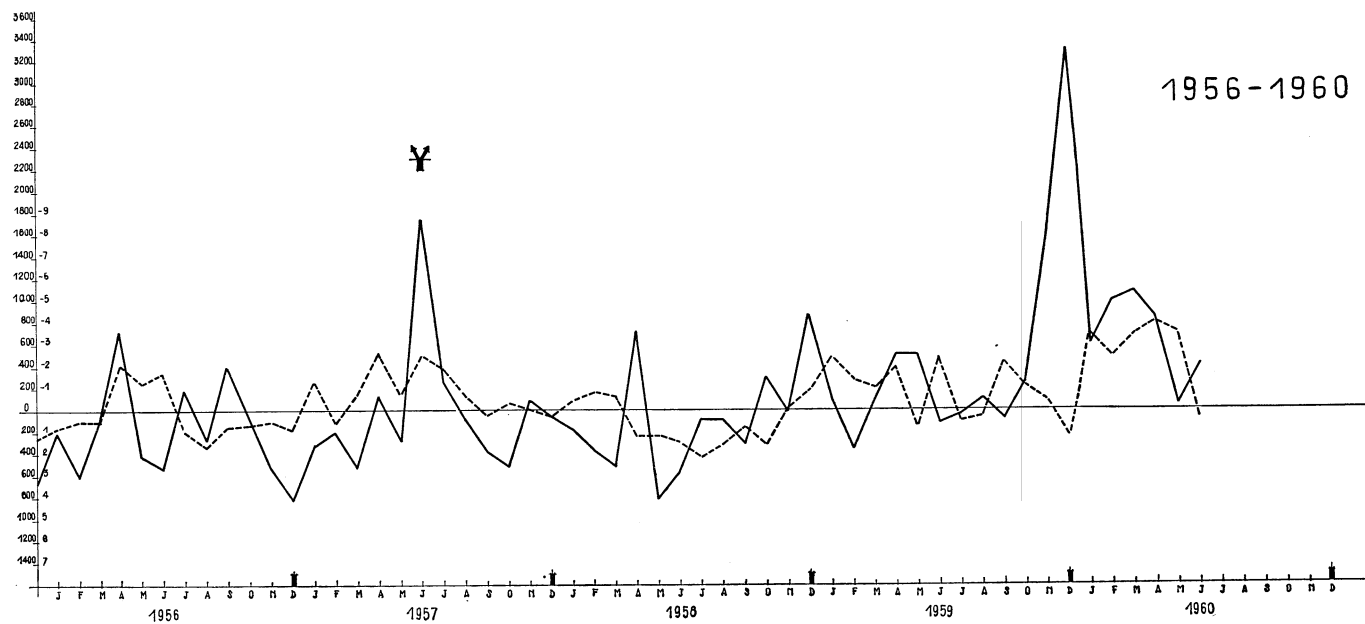


FIG. 3 (a, b, c). — Diagramme double : la ligne continue représente les écarts entre l'apport moyen de chaque mois du Pô et l'apport moyen du même mois calculé sur une période de 15 années (1945-1960) ; la ligne pointillée représente les écarts entre la salinité moyenne de chaque mois des eaux côtières à Fano et la salinité moyenne du même mois calculée sur une période de 15 années (1945-1960). Ce dernier diagramme est inversé.

d'août, les précipitations ont été fort importantes sur les bassins hydrographiques du Foglia, du Metauro et de l'Esino et le 12 et le 13 septembre un terrible ouragan s'est déchaîné sur la région.

Il arrive également, mais assez rarement qu'une couche de neige couvre la zone, entre les Apennins et la mer; sous l'action adoucissante de la mer, la neige fond en quelques jours, plus rapidement sur les côtes, et toujours plus lentement dans l'intérieur et sur les reliefs. C'est dans ces conditions que la lente descente de l'eau de fusion vers la mer, qui se prolonge pendant plusieurs jours et parfois pendant des semaines entières, exerce une certaine influence sur la diminution de la salinité en surface. C'est ce qui est arrivé en février 1956 : la neige avait commencé à tomber vers la fin de janvier et le 11 février il a neigé encore en abondance. La neige a fondu sur les côtes avant la fin de février, ce qui a exercé une influence sur la salinité.

On devrait considérer peut-être d'autres facteurs encore et juger quel est le rôle de chacun d'eux dans le phénomène qui intéresse notre travail.

Je ne pense pas que les marées puissent avoir quelque importance, soit parce que dans la haute Adriatique elles sont peu importantes, soit parce que nos données se rapportent aux moyennes d'un mois.

Nous disposons des données systématiques et exactes sur les apports de tous les fleuves qui se jettent dans l'Adriatique, sur les précipitations (Annali Idrologici del Genio Civile) et sur la direction des vents, mais non pas sur leur intensité (données du laboratoire de Biologie marine de Fano) et c'est sur ces données fort sûres que j'ai établi mes remarques.

Il serait nécessaire et souhaitable de faire une étude quantitative systématique sur la vitesse de diffusion des eaux douces dans la Mer adriatique; pour cela, il faudrait disposer non seulement des données dont nous venons de parler, mais aussi de données systématiques concernant surtout la dynamique de la mer dans la haute et la moyenne Adriatique.

BIBLIOGRAPHIE

- FAGANELLI (A.), 1954. — *Arch. Ocean. e Limnol.*, **19**.
KNUDSEN (M.), 1901. — *Hydrographical Tables*.
MARINKOVIC-ROJE (M.), 1959. — *Hydrografski Institut, Split*.
MILO (P.), 1948. — *Note lab. Biol. mar. Fano*, **1** (5).
PICOTTI (M.) et VATOVA (A.), 1942. — *Thalassia*, **5**.
SCACCINI (A.), 1951. — *Note lab. Biol. mar. Fano*, **1** (7).
— 1953. — *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, n° 1024.
SCACCINI-CICATELLI (M.), 1953. — 2^e réun. *Cons. gén. Pêches marit.*, Rome.
— 1955. — *Boll. Pesca, Piscic. Idrobiol.*, **10**.
— 1957. — *Note lab. Biol. mar. Fano*, **1** (10).
THOMSON (H.), 1954. — *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, n° 1047.
VATOVA (A.), 1934. — *Thalassia*, **1**.
— 1948. — *Nova Thalassia*, **1**.
ANNALI IDROLOGICI ÉER I BACINI DAL RENO AL TRONTO, Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico di Bologna.
ANNALI IDROLOGICI, Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del Po, Parma.
-