



**HAL**  
open science

# CLIMAT ET HYDROLOGIE A BANYULS-SUR-MER (GOLFE DU LION) 1965-1968

Guy Jacques, Claude Razouls, Alain Thiriot

► **To cite this version:**

Guy Jacques, Claude Razouls, Alain Thiriot. CLIMAT ET HYDROLOGIE A BANYULS-SUR-MER (GOLFE DU LION) 1965-1968. Vie et Milieu , 1969, pp.279-316. hal-02958067

**HAL Id: hal-02958067**

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-02958067v1>

Submitted on 5 Oct 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# CLIMAT ET HYDROLOGIE A BANYULS-SUR-MER (GOLFE DU LION) 1965-1968

par Guy JACQUES, Claude RAZOULS et Alain THIRIOT  
*Laboratoire Arago, 66 - Banyuls-sur-Mer*

## SOMMAIRE

Les auteurs dégagent les caractéristiques principales du climat et de l'hydrologie de la région de Banyuls-sur-Mer; les données sont recueillies dans le cadre d'une étude écologique des populations planctoniques.

Le vent et l'insolation, la température et la salinité ont été analysés et comparés avec les données de quelques autres régions de Méditerranée nord-occidentale.

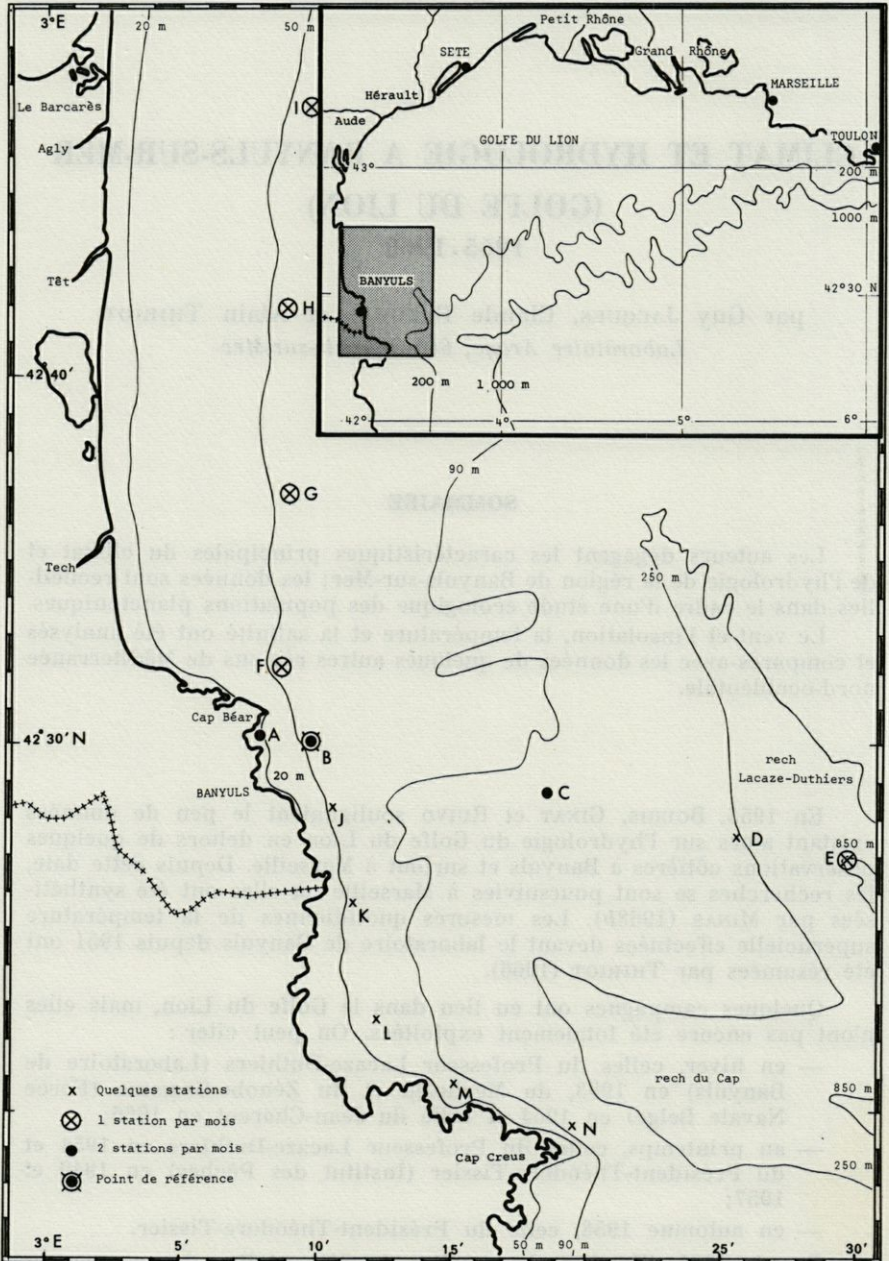
En 1956, BOUGIS, GINAT et RUIVO soulignaient le peu de données existant alors sur l'hydrologie du Golfe du Lion en dehors de quelques observations côtières à Banyuls et surtout à Marseille. Depuis cette date, les recherches se sont poursuivies à Marseille où elles ont été synthétisées par MINAS (1968*b*). Les mesures quotidiennes de la température superficielle effectuées devant le laboratoire de Banyuls depuis 1951 ont été résumées par THIRIOT (1966).

Quelques campagnes ont eu lieu dans le Golfe du Lion, mais elles n'ont pas encore été totalement exploitées. On peut citer :

- en hiver, celles du Professeur Lacaze-Duthiers (Laboratoire de Banyuls) en 1953, du Mechelen et du Zénobe-Gramme (Force Navale Belge) en 1964 et celle du Jean-Charcot en 1966;
- au printemps, celles du Professeur Lacaze-Duthiers en 1954 et du Président-Théodore-Tissier (Institut des Pêches) en 1949 et 1957;
- en automne 1958, celle du Président-Théodore-Tissier.

Depuis 1965, l'Institut des Pêches de Sète réalise des campagnes mensuelles dans le Golfe du Lion. Il faut également citer les atlas de





CARTE 1. — Carte de la région de Banyuls. Emplacement des points de prélèvements.



MARKGRAF publiés en 1961 et 1963 d'après les observations météorologiques de routine de 1900 à 1939.

Le Golfe du Lion constitue une des régions les plus froides du bassin méditerranéen avec des moyennes thermiques de l'air comprises entre 8 et 9 °C en janvier-février; seuls le Nord de l'Adriatique et la Mer Noire présentent des valeurs plus basses.

Le maximum thermique (moyenne mensuelle) atteint en août une valeur voisine de 22 °C. Les vents sont fréquents et forts; ils soufflent principalement du secteur nord à nord-ouest. Secs et froids ils favorisent l'évaporation.

Le Rhône et les différents fleuves du Languedoc-Roussillon font du Golfe du Lion une importante aire de dilution.

Ces caractéristiques météorologiques maintiennent la température superficielle de l'eau à des valeurs inférieures à celles du reste du bassin occidental. Les valeurs extrêmes sont atteintes au fond du Golfe; celles de Banyuls n'en diffèrent pas de plus de 1 °C.

Par sa situation géographique, le Golfe du Lion peut être intéressé par la circulation générale superficielle de Méditerranée occidentale que l'on peut ainsi résumer.

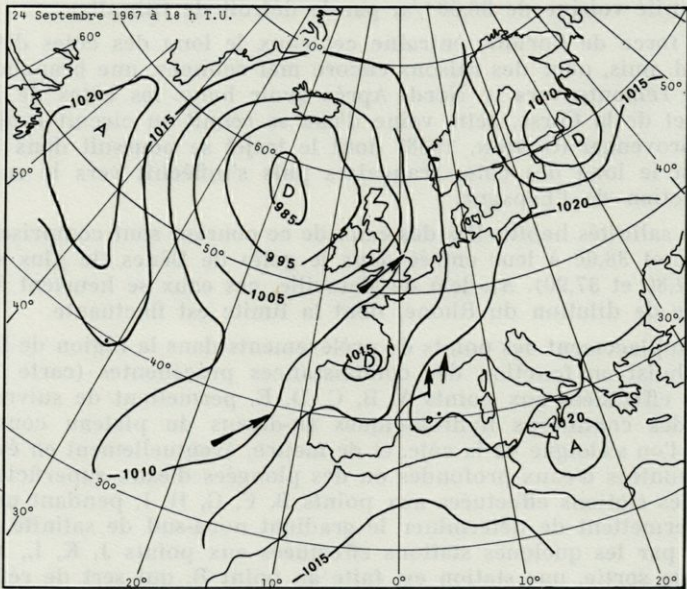
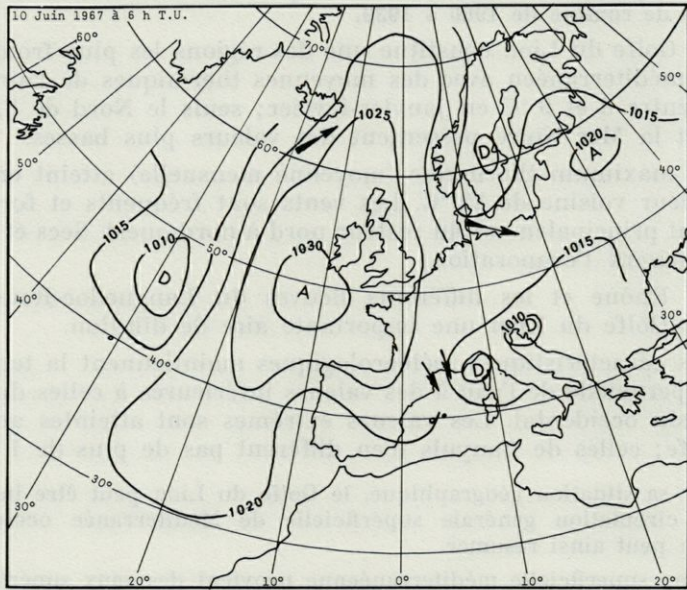
L'eau superficielle méditerranéenne provient des eaux superficielles atlantiques qui pénètrent sur une épaisseur moyenne de 150 m, avec une salinité voisine de 36,50 ‰, par le détroit de Gibraltar.

La force de Coriolis entraîne ces eaux le long des côtes d'Afrique du Nord, puis, pour des raisons encore mal connues, une branche de ce courant remonte vers le Nord. Après avoir longé les côtes de la Sardaigne et de la Corse, cette veine d'eau se réunit au circuit cyclonique liguro-provençal (GOSTAN, 1968) dont le trajet se poursuit dans le sens est-ouest le long des côtes françaises puis s'infléchit vers le sud-ouest en direction de l'Espagne.

Les salinités habituelles des eaux de ce courant sont comprises entre 37,60 ‰ et 38,00 à leur entrée dans le golfe de Gênes (le plus souvent entre 37,80 et 37,90). Au-delà de Marseille, ces eaux se heurtent à celles de l'aire de dilution du Rhône, dont la limite est fluctuante.

L'emplacement des points de prélèvements dans la région de Banyuls a été choisi en fonction des connaissances précédentes (carte 1) : les stations effectuées aux points A, B, C, D, E, permettent de suivre l'évolution des conditions hydrologiques au-dessus du plateau continental lorsque l'on s'éloigne de la côte, et de mettre, éventuellement en évidence des remontées d'eaux profondes ou des plongées d'eaux superficielles en hiver; les stations effectuées aux points B, F, G, H, I, pendant un an et demi permettent de déterminer le gradient nord-sud de salinité qui est précisé par les quelques stations effectuées aux points J, K, L, M et N. A chaque sortie, une station est faite au point B, qui sert de référence.





CARTE 2. — Situations météorologiques types sur l'Europe occidentale.



## I. — CLIMAT

### 1. RÉGIME DES VENTS

Les vents présentent une importance particulière en raison des courants qu'ils engendrent, courants qui peuvent parfois expliquer l'arrivée d'espèces planctoniques profondes (GAUDY, 1962) ainsi que l'augmentation de la production primaire (MINAS, 1968a).

Les données de plusieurs auteurs (MARKGRAF, 1961 et 1963; GOSTAN, 1968) et de divers organismes, tels que la Météorologie Nationale et le Meteorological Office (1962), montrent que le temps en Méditerranée dépend des positions respectives des centres de haute pression (notamment l'anticyclone des Açores) et des basses pressions originaires d'Atlantique nord qui se déplacent vers l'Europe occidentale. Localement le relief joue un rôle important en canalisant les vents et, de ce fait, en les renforçant. Deux situations types sur le bassin méditerranéen sont illustrées sur la carte 2; la vitesse des vents correspondants, mesurée au Cap Béar, est indiquée dans le tableau suivant :

Date	Enregistrements					
	06 h		12 h		18 h	
	Direction	Vit. (m/s)	Direction	Vit. (m/s)	Direction	Vit. (m/s)
10.6.1967	300°	16	320°	24	320°	19
24.9.1967	180°	10	180°	13	160°	12

Les vents qui soufflent sur les côtes du Roussillon proviennent, dans la majorité des cas, des secteurs nord-ouest à nord, parfois des secteurs sud à sud-est.

#### *Vents de secteur nord-ouest à nord*

Ces vents groupés sous la dénomination unique de « Tramontane », sont orientés approximativement à 45° par rapport au littoral. Caractérisés par leur fréquence et leur force, ils ont une influence prédominante sur le climat local (CASANOBE, 1966). Les



mois qui suivent les solstices sont des mois à Tramontane (janvier et juillet), alors que les mois d'équinoxe (mars, septembre) sont des périodes à moindre Tramontane (fig. 1).

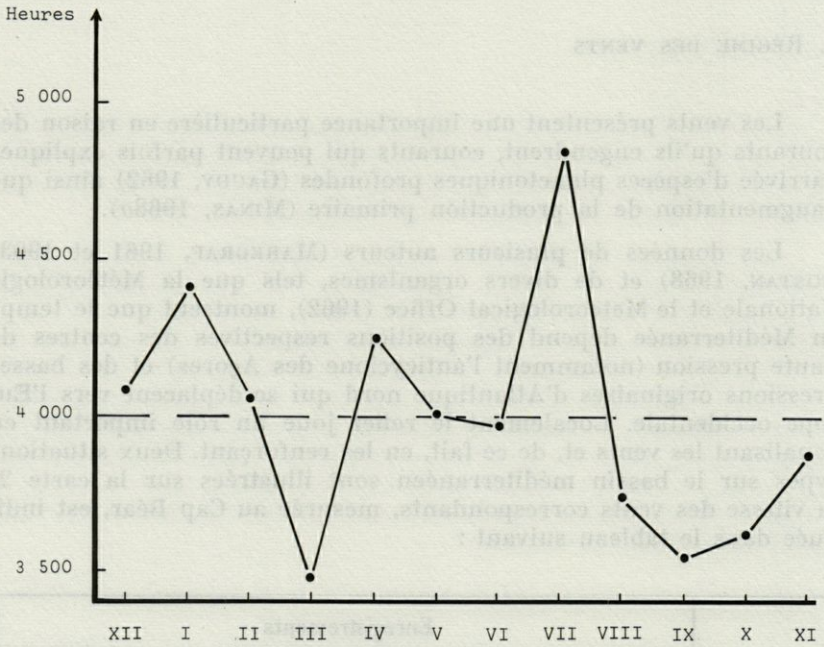


FIG. 1. — Nombre d'heures de Tramontane : totaux mensuels sur 12 ans d'après CASANOBE (la durée moyenne par mois est de 4 000 heures).

L'intensité de la Tramontane est tout à fait exceptionnelle : 2 jours sur 3 de vent supérieur à 5 m/s, 4 jours sur 7 supérieur à 10 m/s, 1 sur 3 supérieur à 15 m/s et 1 sur 22 supérieur à 28 m/s. Les valeurs maximales de l'intensité se situent entre novembre et avril.

La Tramontane se distingue aussi par la soudaineté de son apparition et sa durée, généralement inférieure ou égale à 3 jours; en décembre, janvier et au cours du mois de mars, elle persiste plus longtemps.

Les conséquences de ce vent sont multiples :

- les précipitations sont inexistantes tant que ce vent souffle,
- l'insolation hivernale est élevée : 140 h par mois entre novembre et février,
- l'évaporation est forte ce qui intensifie le refroidissement de l'eau superficielle.



La Tramontane crée un courant superficiel parallèle à la côte, dirigé vers le Sud. Le schéma théorique de ces courants locaux est quelque peu modifié par les variations de pression atmosphérique et par la topographie des fonds et de la côte.

De 1965 à 1968, la Tramontane représente 61 % des cas de vents enregistrés. La fréquence et la force des vents selon les huit directions principales diffèrent à la côte (Cap Béar : 42°30' N, 03°08' E) et au large où la fréquence se répartit de façon égale entre les secteurs nord et nord-ouest (fig. 2).

Les périodes pendant lesquelles la vitesse de la Tramontane a été supérieure à 10 m/s pendant plus de 4 jours sont les suivantes :

1965 - 66

24 août - 2 septembre

21 novembre - 14 décembre

21 décembre - 28 janvier (de façon discontinue)

1 - 30 mars

15 - 30 avril

6 - 28 mai

1966 - 67

23 - 30 juin

15 - 30 juillet

15 - 20 novembre

4 décembre - 15 janvier

16 mars - 6 avril

1967 - 68

7 - 12 juin

27 novembre - 31 janvier (de façon discontinue)

3 - 12 mars

10 - 14 mai

#### *Vents de secteur sud-est à sud*

Ils sont la conséquence d'une situation météorologique caractérisée par la présence d'un anticyclone sur l'Europe occidentale et de basses pressions sur la péninsule ibérique et l'Afrique du Nord.

Ces vents dont la fréquence est de 29 % soufflent rarement plus de deux jours. Venant de la mer ils sont chargés d'humidité; ils accompagnent les pluies automnales et printanières. Ils peuvent amener à la côte certaines espèces macroplanctoniques (Vélelles, Cténaïres). En été, les vents de ce secteur correspondent à des brises de mer locales.



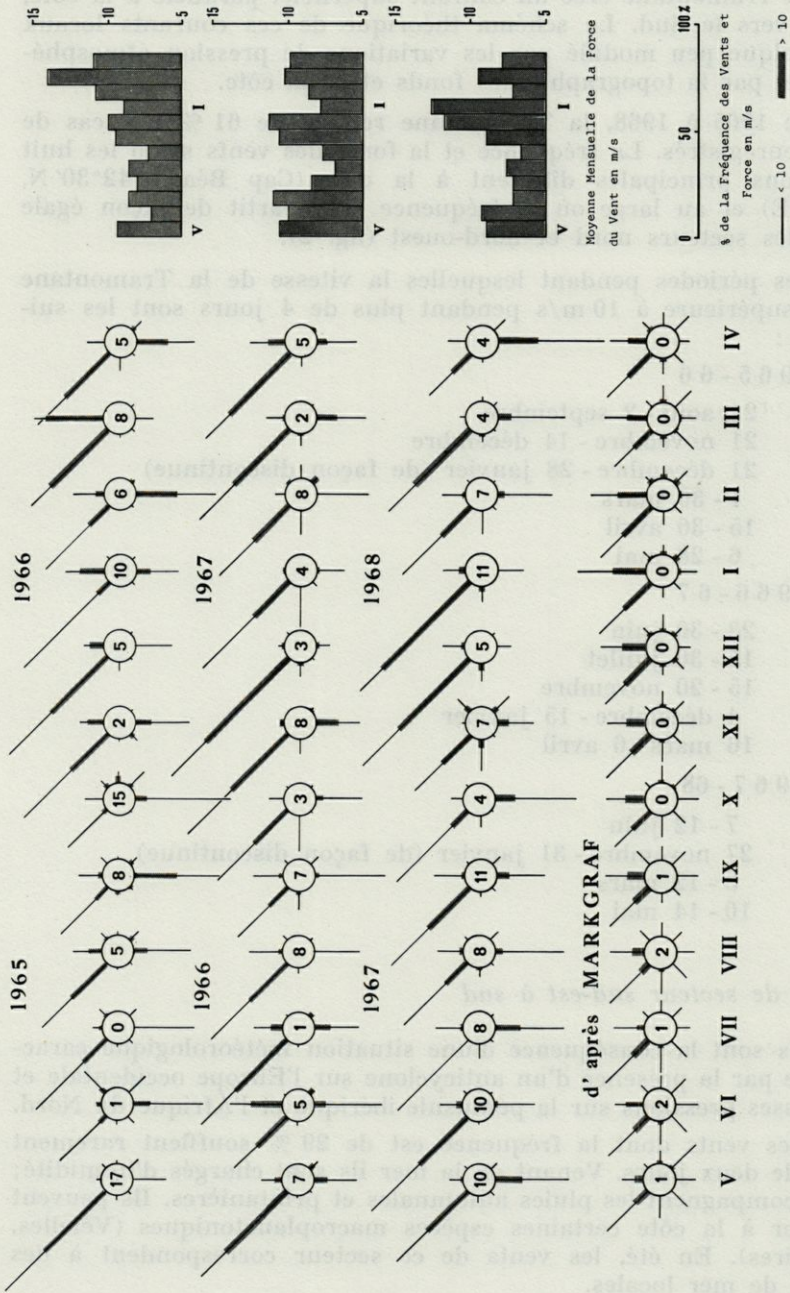


FIG. 2. — Fréquence du vent suivant les huit directions principales, exprimée en pourcentage de toutes les observations au cap Béar. Les chiffres inscrits dans les cercles correspondent au nombre de cas de vent nul.

## 2. RAYONNEMENT SOLAIRE

L'énergie solaire arrivant au sol peut être calculée à partir du nombre d'heures d'insolation. D'après CASANOBE (1962), la radiation en calories/cm<sup>2</sup>/jour peut être évaluée par la formule suivante :

$$I_g = I_{g_A} \left( 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

où  $h$  est la durée journalière de l'insolation,  $H$  la durée astronomique du jour et  $I_{g_A}$  un coefficient énergétique (en calories/cm<sup>2</sup>/jour) qui varie au cours de l'année en fonction des coordonnées du lieu de mesure.

TABLEAU I

*Durée d'insolation par mois (h) et énergie solaire correspondante (I<sub>g</sub>) en joules/cm<sup>2</sup>/jour.*

	1965-1966		1966-1967		1967-1968	
	h	I <sub>g</sub>	h	I <sub>g</sub>	h	I <sub>g</sub>
Mai	295	2283	269	2145	277	2189
Juin	269	2232	301	2408	313	2477
Juillet	266	2130	306	2342	328	2458
Août	289	2093	237	1832	273	2013
Septembre	189	1404	255	1713	202	1464
Octobre	127	814	168	1011	196	1117
Novembre	136	687	148	724	110	606
Décembre	118	524	150	608	163	641
Janvier	131	624	141	653	188	788
Février	114	790	157	958	120	813
Mars	263	1669	221	1479	217	1460
Avril	234	1852	241	1890	186	1599

Le cycle annuel de l'ensoleillement à Perpignan (tableau I) montre un fort accroissement au cours du mois de mars, durant lequel la durée d'insolation double. Le maximum est atteint en juillet avec une moyenne de 300 heures. Les mois de juin et de juillet 1965 ont été moins ensoleillés que ceux de 1966 et 1967. La diminution s'amorce au cours du mois d'août et l'ensoleillement est proche de son minimum dès le mois de novembre. L'insolation hivernale est assez constante; seuls les mois de décembre 1967 et janvier 1968 présentent des valeurs supérieures à la moyenne.



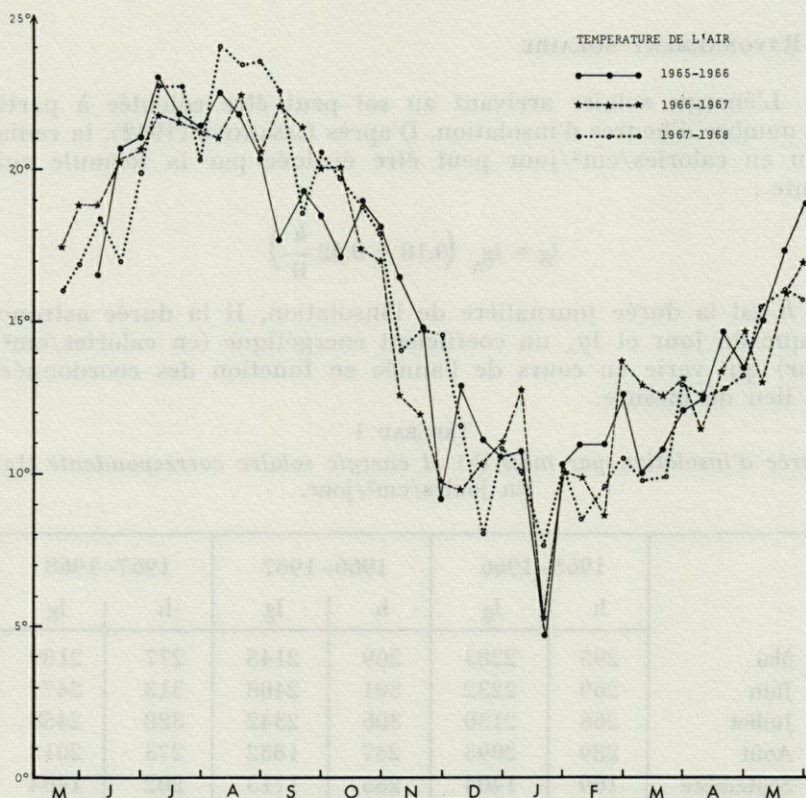


Fig. 3. — Température de l'air au Cap Béar, 1965-1968 (moyennes par décades).

### 3. TEMPÉRATURE DE L'AIR

Certaines différences de détail apparaissent entre les cycles du rayonnement solaire et de la température de l'air (fig. 3); elles sont dues aux mouvements des masses d'air et à leur provenance.

### 4. TEMPÉRATURE DE L'EAU SUPERFICIELLE

#### *Point B*

La température de l'eau en surface et la température de l'air évoluent parallèlement; seule l'amplitude des variations diffère, la masse d'eau s'échauffant plus lentement et se refroidissant moins



vite que l'air. Le cycle annuel présente quatre phases :

1°) une phase de réchauffement qui commence en mars : l'élévation de la température est d'abord lente jusqu'à la fin du mois de mai (de 11,5 °C à 15,5 °C) puis elle s'accélère au cours du mois de juin et pendant la première quinzaine de juillet (de 16 °C à 22 °C).

Il y a peu de différences interannuelles : seule la deuxième décennie de juin 1966 a une température supérieure de 3 °C à la moyenne.

2°) une période de maximum thermique de juillet à septembre, période dont les caractéristiques diffèrent d'une année à l'autre.

En 1965, la température est restée voisine de 20,5 °C en juillet-août, puis elle a diminué en septembre (moyenne mensuelle de 18,5 °C). L'été 1966 diffère de 1965 par un mois de septembre plus chaud. Enfin la température superficielle fut élevée en 1967, avec un maximum de 23,6 °C le 2 août.

3°) une période automnale pendant laquelle la température décroît lentement de 18,5 °C en octobre à 13,5 °C au milieu du mois de décembre. L'eau superficielle est restée plus chaude en novembre-décembre 1965 qu'à la même époque en 1966 et 1967.

4°) une période de minimum thermique d'hiver, minimum voisin de 10 °C en février. Les températures de 1965-66 sont intermédiaires entre celles de 1967-68, plus élevées en début de période, et celles de 1966-67, supérieures en fin d'hiver.

### *Point C*

Le cycle de la température de surface au point C (fig. 4) est comparable à celui du point B. La température y est toujours supérieure d'environ 1 °C, ce qui est normal en hiver et peut s'expliquer en été par le régime des brises de mer qui freinent le réchauffement des eaux littorales.

## II. — HYDROLOGIE

### A) STRATIFICATION THERMIQUE

#### 1. CYCLE ANNUEL

Au cours du cycle annuel de la température des eaux, l'alternance d'une phase estivale hétérogène (avec établissement d'une thermocline) et d'une phase homogène (températures voisines sur l'ensemble de la couche d'eau) est bien connue.



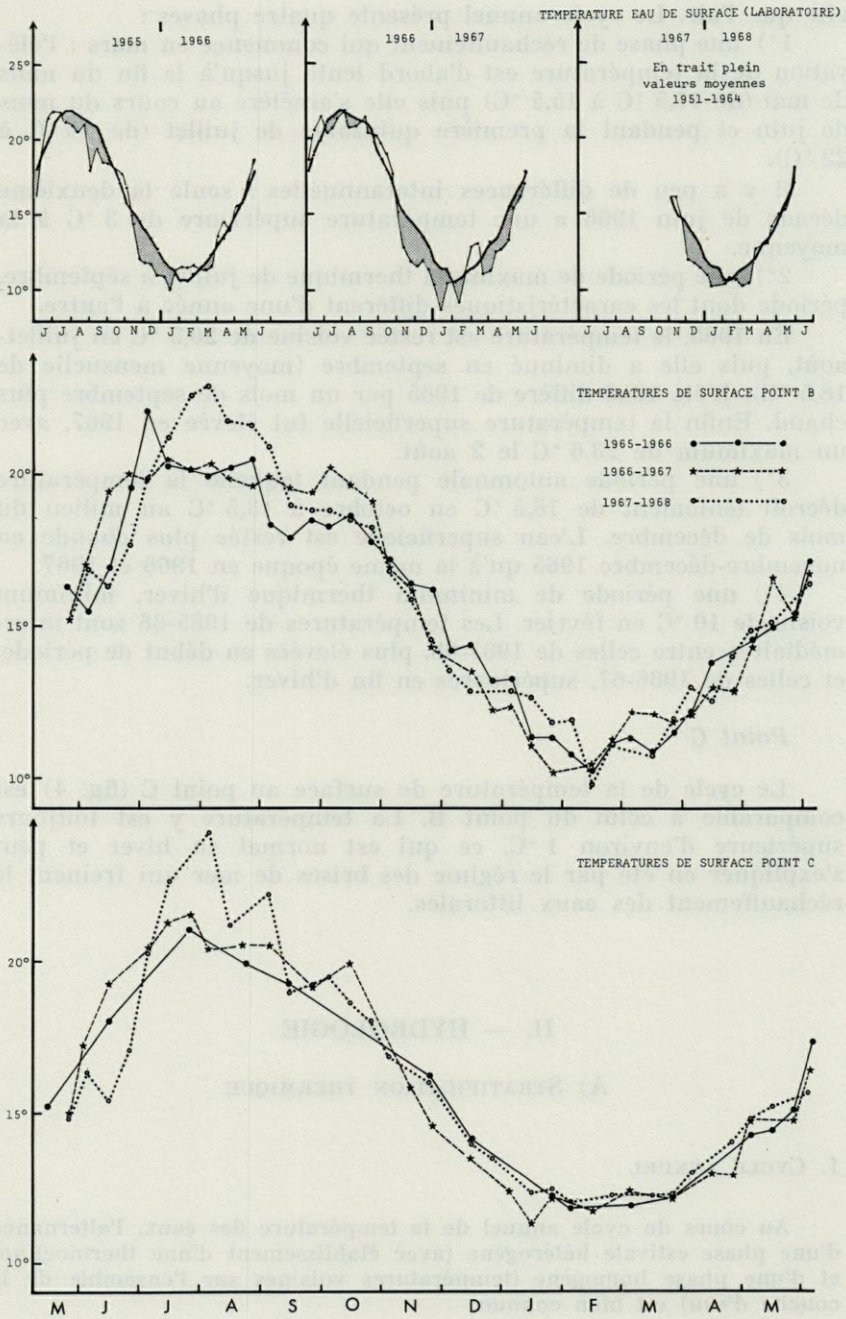


FIG. 4. — Température de l'eau superficielle devant le laboratoire, au point B et au point C, 1965-1968.

Nous avons choisi, pour les différentes phases, les limites suivantes :

- phase hétérogène : plus de 5 °C de différence entre le fond et la surface,
- phase homogène : différence inférieure à 1 °C,
- phase intermédiaire : différence comprise entre 1 et 5 °C.

### *Phase intermédiaire printanière*

Elle correspond au réchauffement des eaux de surface dont la température augmente plus rapidement que celle des niveaux profonds, la différence atteignant 5° pendant le mois de juin.

Peu de facteurs viennent perturber cette évolution; les coups de vent et les baisses de salinité fréquentes en juin ne font qu'interrompre momentanément le réchauffement des eaux de surface; par contre, ils provoquent rarement un retour à une situation homogène (sauf le 12 juin 1967, après un coup de vent de secteur nord). Les différences entre les années et entre les points sont par conséquent très faibles.

### PHASE HÉTÉROGÈNE

Le début de cette phase se place au milieu du mois de juin ou, au plus tard, au début de juillet. Les écarts dans les dates d'apparition aux trois points B, C, E (tableau II) sont faibles; les différences d'une année à l'autre sont également peu importantes.

Par contre, la fin de cette période est très variable, ce qui est dû à deux phénomènes :

Premièrement, à la fin de l'été, le réchauffement intéresse une épaisseur d'eau croissante, bien que l'eau de surface subisse une légère baisse de température à partir du mois d'août. La houle d'Est facilite l'homogénéisation de la couche superficielle. Le réchauffement des eaux au niveau 50 mètres, qui marque la fin de cette période au point B est plus ou moins rapide. La phase hétérogène se poursuit plus longtemps aux points C et E.

Deuxièmement, les pluies automnales provoquent des baisses de la salinité superficielle et un refroidissement de ces eaux, ce qui diminue l'écart thermique avec les eaux subsuperficielles. Ces des-sallements sont très marqués près de la côte où la fin de la phase hétérogène varie d'une année à l'autre, comme varie la saison des pluies : octobre en 1965 et 1966, novembre en 1967 et décembre en 1968.



TABLEAU II  
Principales phases de la stratification thermique.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1965	B					////	————	————	————	////	////	////	////
	C					////	————	————	————	////	////	////	////
	E					////	————	————	————	////	////	////	////
1966	B	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
	C			////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
	E	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
1967	B	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
	C	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
	E	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
1968	B	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
	C	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////
	E	////	////	////	////	////	————	————	————	////	////	////	////

Phase hétérogène      —————  
 Phase homogène        ///////////////  
 Phase intermédiaire    /

Au point E, non atteint par ces dilutions automnales, cette phase se termine au début du mois de novembre; le refroidissement des eaux superficielles, sous l'influence des facteurs climatiques, est seul responsable de cette homogénéisation.

*Phase intermédiaire automnale*

Les différences entre les années et entre les points sont ici très importantes pour les deux raisons que nous venons d'exposer. Le retour progressif, par refroidissement des eaux superficielles, à une situation d'homogénéité verticale est presque toujours accéléré par des précipitations automnales.

Cette phase peut être considérablement réduite : ainsi en 1966, au point B, les températures à 0 et à 50 m ne diffèrent que de 0,3 °C le 6 octobre. Cette phase intermédiaire peut se prolonger presque tout l'hiver comme ce fut le cas en 1967-1968 au point C.

En 1968, l'eau de surface s'est refroidie progressivement au contact de l'atmosphère assurant, par mélange, l'homogénéisation des températures : le 12 novembre, au point B, la température est de 16,33 °C en surface et de 17,15 °C à 50 m. L'écart thermique



dépasse à nouveau 2 °C à la suite d'une dilution superficielle (saison des pluies tardive) le 4 décembre : 13,68 °C et 31,03 ‰ à 0 m ; 15,92 °C et 37,92 ‰ à 50 m.

Il existe ainsi une différence essentielle entre la zone côtière et celle du large. A la côte, l'homogénéisation thermique se fait pour des valeurs élevées (voisines de 20 °C en 1966) par descente de la thermocline. Au large, elle se produit progressivement, à une température proche de 14 °C, par refroidissement des eaux superficielles.

### *Phase homogène*

Pendant l'hiver 1966-67, les températures sont restées homogènes de la surface au fond dans toute la région de Banyuls.

A la côte, en hiver, la température de surface est tantôt plus basse, tantôt plus élevée que celle du fond suivant la force des vents, la température de l'air et l'importance des dilutions.

Au point C, la température des eaux proches du fond est généralement la plus basse, excepté dans le cas d'une vague de froid tardive, comme cela s'est produit en février 1967 (JACQUES et coll., 1968).

## 2. EVOLUTION DE LA THERMOCLINE

La présence d'une thermocline en été a de profondes répercussions sur des mécanismes biologiques. La stratification thermique provoque des répartitions verticales préférentielles d'espèces planctoniques. D'autre part, la thermocline joue le rôle d'une barrière vis-à-vis des échanges surface-fond, ce qui interfère sur la limitation d'espèces sténothermes, sur les migrations verticales et sur le phototropisme positif de larves d'animaux benthiques au moment de leur éclosion.

A certains niveaux, le maximum thermique se situe en automne, au moment de la disparition de la thermocline; ce réchauffement tardif a certainement une action sur la croissance, la maturation sexuelle et la ponte d'animaux benthiques.

### *La thermocline au point B*

Nous avons représenté sur la figure 5, l'évolution de la thermocline en 1967 (à partir de bathythermogrammes) en indiquant aussi la vitesse moyenne du vent entre deux stations, leur influence sur les remontées d'eaux profondes étant bien connue sur le littoral provençal (BOUGIS, 1968; MINAS, 1968a).



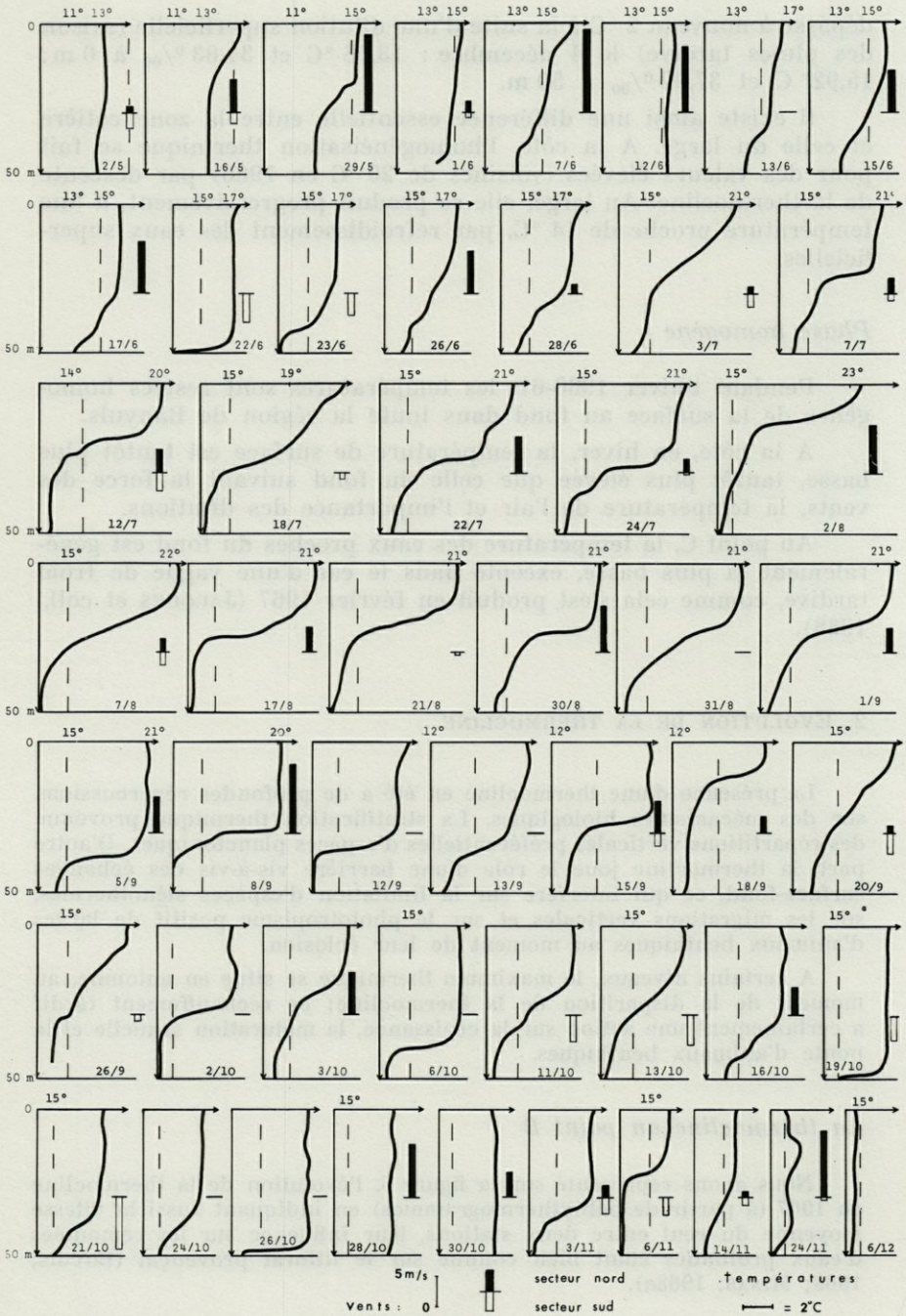


FIG. 5. — Formation et évolution de la thermocline au point B de mai à décembre 1967. Vents : moyenne des relevés entre deux stations.



Dès la fin du mois de mai la différence entre la surface et le fond peut atteindre 3 °C, mais il n'y a de véritable thermocline qu'à partir du mois de juillet.

Située vers 25 m en juillet, la thermocline se rapproche de la surface en août (20 m en moyenne; 12 m le 2 août) puis s'enfonce progressivement en automne. Elle atteint 25 m en septembre et 40 m en octobre. C'est à cette époque que la thermocline est la plus marquée en raison de l'homogénéisation de la couche superficielle.

Nous n'avons jamais observé en été de remontées d'eaux profondes suffisantes pour faire disparaître localement la thermocline. Cependant, les vents de secteur sud à sud-est provoquent un léger reflux des eaux superficielles, ce qui entraîne une remontée générale des isothermes vers la côte. Ainsi, la thermocline qui se situait à 28 m le 24 juillet au point B, remonte à 10 m le 2 août à la suite de 3 jours de vent de SE d'une vitesse moyenne voisine de 15 m/s.

L'influence des vents forts de secteur nord est nette au début et à la fin de la phase hétérogène; ils peuvent alors amener une homogénéisation d'une épaisseur d'eau plus ou moins grande par refroidissement et agitation des eaux superficielles (par exemple les 1, 12 et 22 juin, le 30 octobre). En plein été ils ne peuvent pas agir sur la couche superficielle dont le gradient thermique est trop fort (7 et 31 août, 12 septembre, 6 octobre).

#### *La thermocline aux points C et E*

Le volant thermique plus grand atténue, aux points C et E les variations de profondeur de la thermocline et rend ainsi plus facile la séparation en différentes phases (fig. 6).

Le gradient naît d'abord dans les premiers mètres en mai et juin; les vents sont alors assez forts pour créer une couche homotherme sur 40 à 50 mètres; le réchauffement s'accroît alors et le gradient thermique qui s'installe dans la couche superficielle ne peut plus être perturbé par les facteurs externes; la thermocline se rapproche de la surface (elle se situe entre 20 et 30 m du début juillet jusqu'à la fin septembre). En automne enfin, la température de surface diminuant, les vents peuvent à nouveau homogénéiser les températures de la couche superficielle (sur 35 m le 28 octobre); la thermocline se localise à des profondeurs supérieures: 70 m le 24 novembre. Au point E, les différentes étapes de l'évolution sont proches mais la thermocline est généralement moins marquée et elle se situe 10 à 20 mètres plus bas.



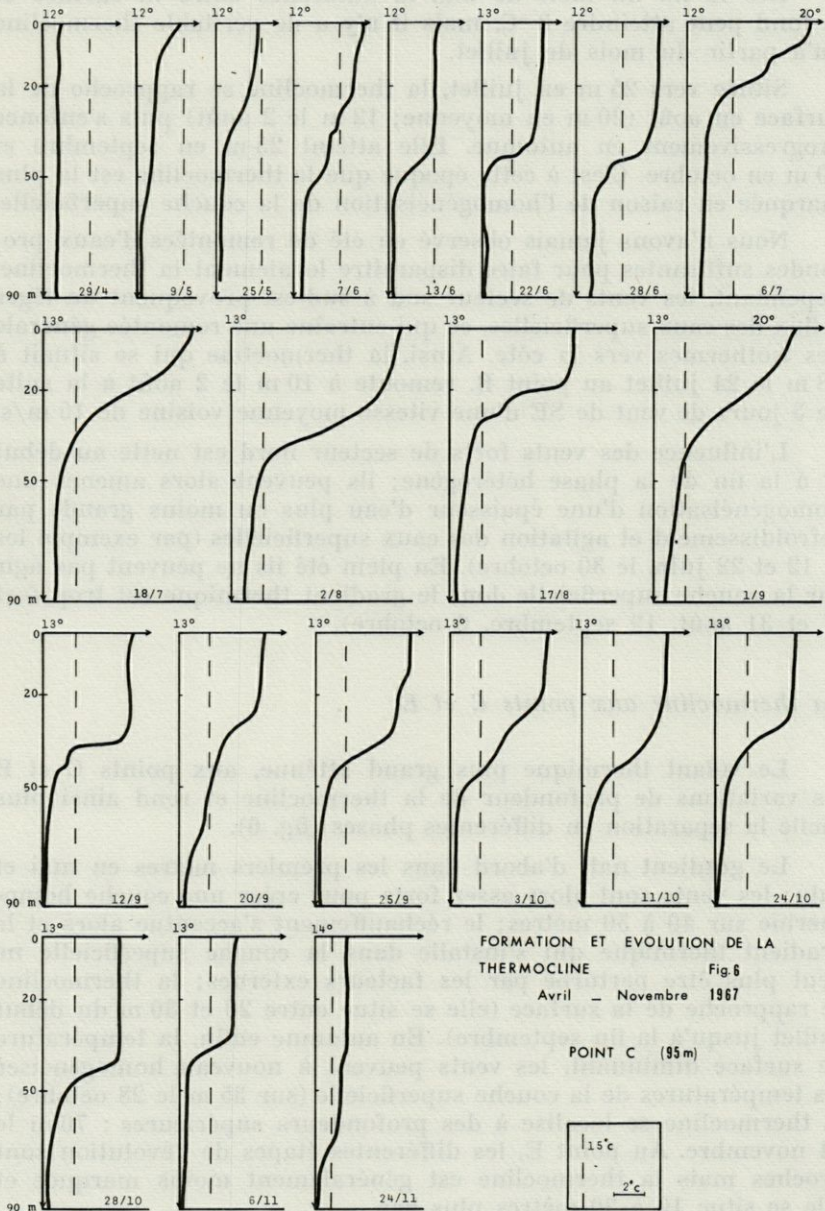


Fig. 6. — Formation et évolution de la thermocline au point C d'avril à novembre 1967.

*Le réchauffement des eaux proches du fond*

La température des eaux proches du fond s'accroît, sur le plateau continental, deux fois par an. Tout d'abord au printemps où le réchauffement est très régulier et voisin d'une année à l'autre; il est un peu plus fort au point B. L'amplitude du réchauffement automnal varie beaucoup d'une année à l'autre, surtout au point B où, en 1966, la température à 50 m a été supérieure à 19 °C pendant tout le mois d'octobre. Au point C, il est plus faible que le réchauffement printanier (tableau III).

TABLEAU III  
*Réchauffement des eaux proches du fond aux points B et C.*

	Printemps (Février-Juin)		Automne (Août-Octobre)	
	B	C	B	C
1965	/	/	4°47	/
1966	2°89	1°73	6°11	1°20
1967	2°36	1°93	1°94	0°43
1968	2°36	2°10	2°57	0°84
Moyenne	2°54	1°93	3°77	0°82

Très près de la côte le cycle thermique des eaux proches du fond se rapproche de celui des eaux superficielles (LAUBIER, 1965) avec un maximum estival compris entre 21 et 23 °C et un écart entre les extrêmes annuels de 12 à 13 °C, alors qu'il n'est que de 9 °C au point B et de 3 °C seulement au point C. Les résultats que nous avons recueillis au point A (fond de 20 m) confirment cette observation; l'écart n'est cependant que de 10 °C.

Par ailleurs (fig. 7), compte tenu de la sensibilité des appareils utilisés (bathythermographes 0-50 m et 0-150 m), il semble bien que la profondeur de la thermocline ne varie pas quand on se rapproche de la côte; le gradient disparaît donc lorsque le niveau bathymétrique atteint et dépasse le niveau de la thermocline.

3. VARIATIONS GÉOGRAPHIQUES LOCALES

*Vers le large*

Nous avons déjà vu que pendant la phase hétérogène, les isothermes peuvent s'enfoncer vers le large (fig. 8 : radiales A à E), comme ce fut le cas les 2 et 3 août 1966.



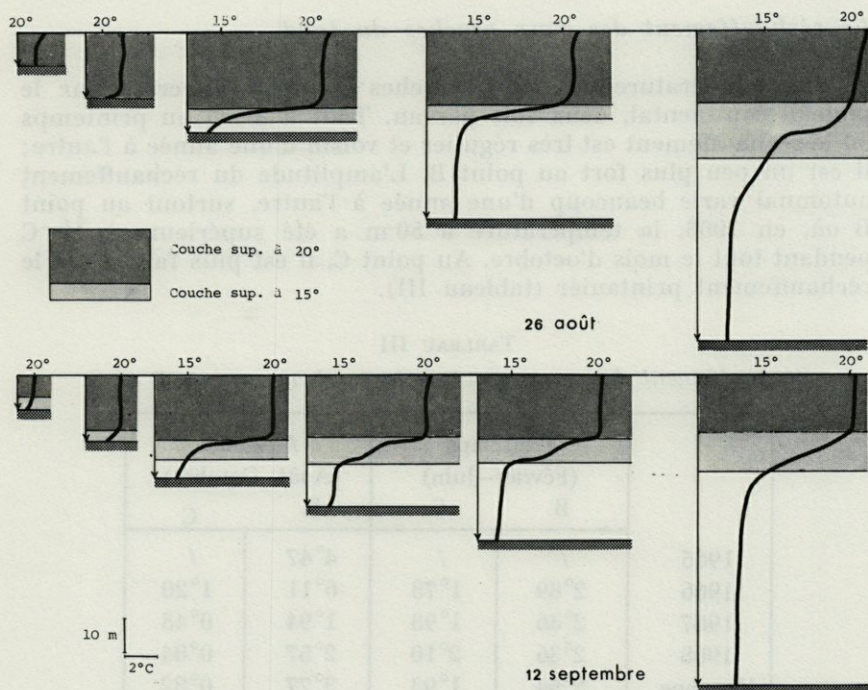


FIG. 7. — Relation entre la topographie du fond et la profondeur de la thermocline.

Pendant la phase homogène, les conditions thermiques sont très voisines aux différents points et nous n'avons pas observé de plongée d'eaux froides sur le plateau continental, sauf les 7 et 8 mars 1966 où elle est peu marquée.

Les résultats de février-mars 1966 complètent les observations de TOURNIER (1967) dans une zone située plus au Sud dans le Golfe du Lion. En février, la température superficielle moyenne au point B est de 10,7 °C, valeur très proche de celle trouvée de l'embouchure du Rhône jusqu'au Sud d'Agde. En mars, la température de surface à B est voisine de celle trouvée au niveau de Leucate. La masse d'eau (température : 13,0 °C, S<sup>0/00</sup> : 38,10) trouvée par TOURNIER au centre du golfe, apparaît à la fin du mois au point E à 300 m (12,34 °C - 37,95<sup>0/00</sup> le 7 mars; 13,09 °C - 38,18<sup>0/00</sup> le 28).

#### *Parallèlement à la côte*

Des stations aux points situés au Nord du cap Béar ont été effectuées une fois par mois entre août 1966 et octobre 1967. L'isobathe 55 m



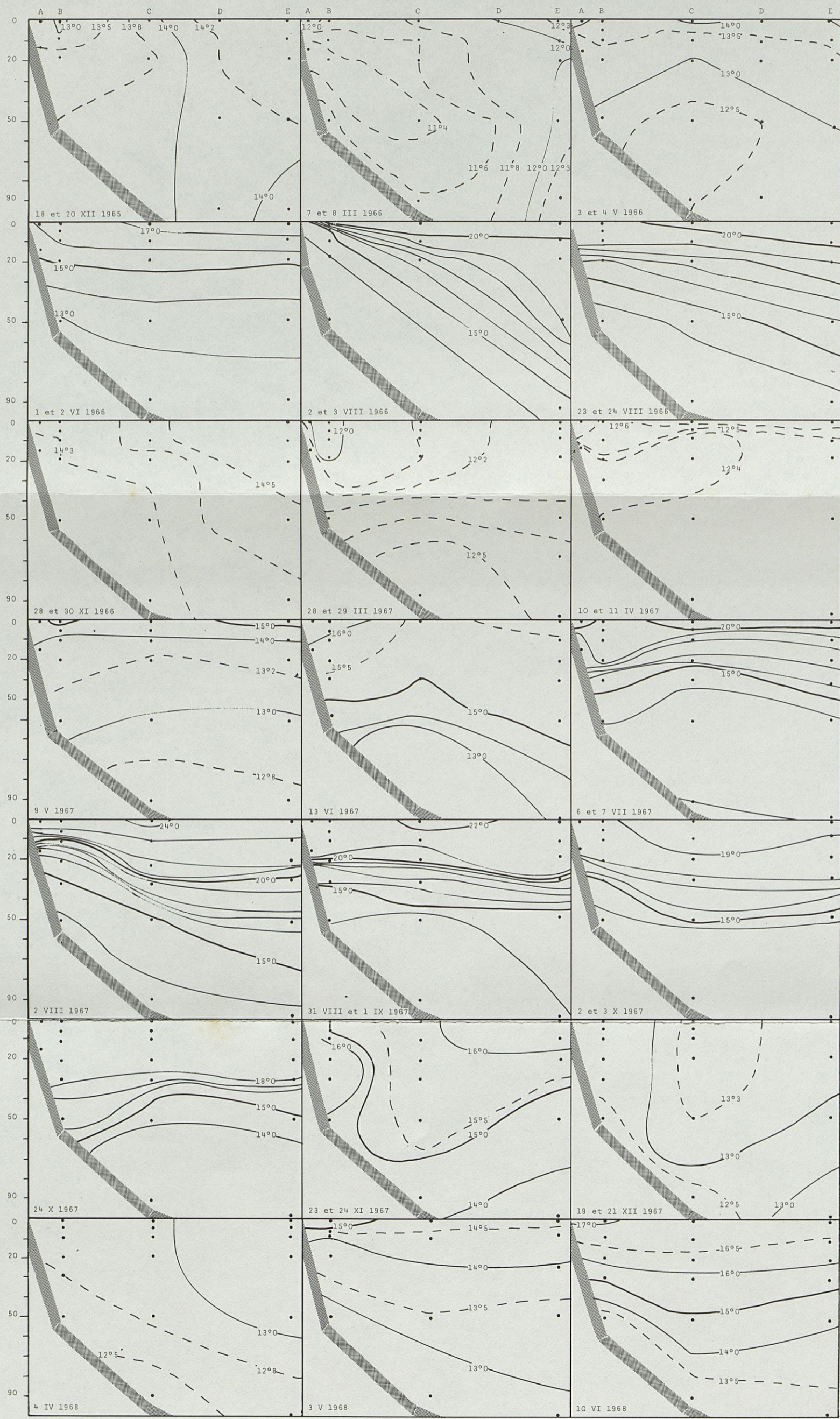


FIG. 8. — Variations des caractéristiques thermiques vers le large de 1965 à 1968.



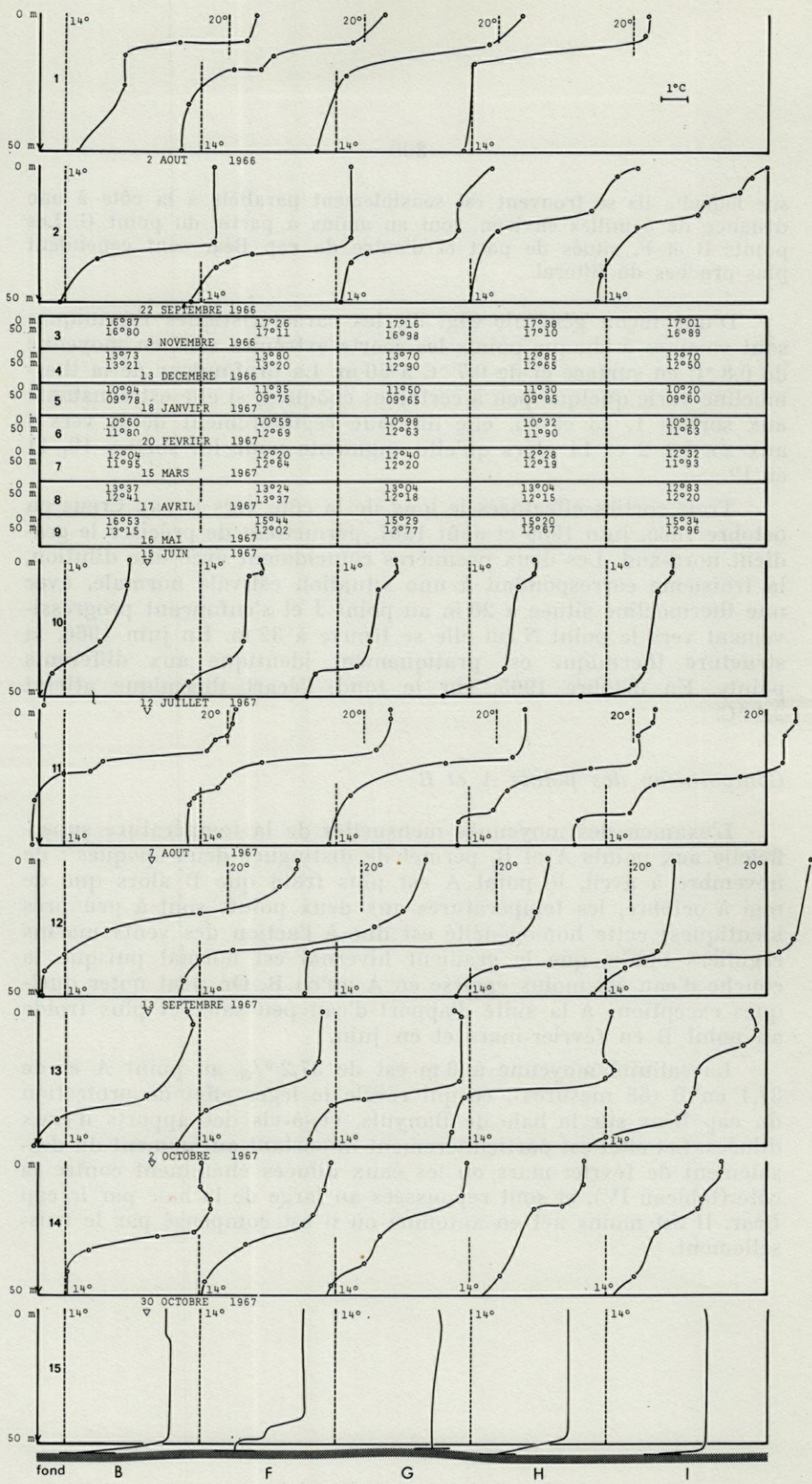


FIG. 9. — Variations des caractéristiques thermiques le long de l'isobathe 55 mètres : août 1966 - octobre 1967.



sur laquelle ils se trouvent est sensiblement parallèle à la côte à une distance de 5 milles environ, tout au moins à partir du point G. Les points B et F, situés de part et d'autre du cap Béar sont cependant plus proches du littoral.

D'une façon générale (fig. 9), les caractéristiques thermiques sont voisines à chaque point; les écarts extrêmes sont en moyenne de 0,8 °C en surface et de 0,7 °C à 50 m. La profondeur de la thermocline varie quelque peu à certaines époques; si elle est constante aux sorties 1, 13 et 15, elle diminue régulièrement de B vers I aux sorties 2 et 14 alors qu'elle augmente pour les sorties 10, 11 et 12.

Trois sorties effectuées le long de la côte vers le cap Creus en octobre 1965, juin 1966 et août 1967, permettent de préciser le gradient nord-sud. Les deux premières coïncidaient avec une dilution, la troisième correspondait à une situation estivale normale, avec une thermocline située à 20 m au point J et s'enfonçant progressivement vers le point N où elle se trouve à 32 m. En juin 1966, la structure thermique est pratiquement identique aux différents points. En octobre 1965, sur le fond, l'écart thermique atteint 2,4 °C.

#### *Comparaison des points A et B*

L'examen des moyennes mensuelles de la température superficielle aux points A et B, permet de distinguer deux époques : de novembre à avril, le point A est plus froid que B alors que de mai à octobre, les températures aux deux points sont à peu près identiques; cette homogénéité est due à l'action des vents marins réguliers tandis que le gradient hivernal est normal puisque la couche d'eau est moins épaisse en A qu'en B. On peut noter quelques exceptions à la suite d'apport d'eau peu salée et plus froide au point B en février-mars et en juin.

La salinité moyenne à 0 m est de 37,2 ‰ au point A et de 37,1 en B (58 mesures), ce qui révèle le léger effet de protection du cap Béar sur la baie de Banyuls, vis-à-vis des apports d'eaux diluées. Cet effet est particulièrement important au moment du desalement de février-mars où les eaux diluées cheminent contre la côte (tableau IV), et sont repoussées au large de la baie par le cap Béar. Il est moins net en automne où il est compensé par le ruissellement.



TABLEAU IV  
Conditions hydrologiques comparées aux points A et B.

Moyenne mensuelle	Températures de surface			Observations
	A	B	A - B	
Mai	14,80	14,77	+ 0,03	Température très voisines (exception Juin)
Juin	18,52	18,21	+ 0,31	
Juillet	20,19	20,24	- 0,05	
Août	21,07	21,11	- 0,04	
Septembre	20,29	20,21	+ 0,06	
Octobre	18,50	18,55	- 0,05	
Novembre	14,90	15,21	- 0,31	A plus froid que B (exceptions : Février, Mars)
Décembre	12,24	13,88	- 0,64	
Janvier	11,43	11,64	- 0,21	
Février	10,92	10,62	+ 0,30	
Mars	11,75	11,56	+ 0,19	
Avril	12,84	13,03	- 0,19	
7.2.1966	35,23	36,29	- 1,09	Dessalements : Rhône + Aude + Hérault Effet de protection du cap Béar
28.2.1966	35,36	36,18	- 0,82	
20.2.1967	34,47	35,29	- 0,77	
3.11.1965	31,47	31,62	- 0,15	Lors des crues des fleuves locaux : effet de protection du cap, compensé parfois par augmentation du ruissellement
15.11.1965	37,09	36,87	+ 0,22	
21.10.1967	37,41	37,69	- 0,23	
18.8.1966	37,88	37,82	+ 0,06	Influence nappe de dilution du Rhône venant du large en été
2.8.1967	37,65	37,61	+ 0,02	
4.1.1966	37,91	38,05	- 0,14	Influence des eaux du large de forte salinité
31.1.1966	37,68	38,00	- 0,32	
19.12.1966	37,84	37,97	- 0,13	
18.8.1966	37,88	37,82	+ 0,06	Nappe de dilution rhodanienne venant du large
2.8.1967	37,65	37,61	+ 0,04	
3.11.1965	31,47	31,62	- 0,15	Effet de protection du cap Béar lors des crues locales compensé par le ruissellement
15.11.1965	37,09	36,87	+ 0,22	
21.10.1967	37,41	37,69	- 0,28	
4.1.1966	37,91	38,05	- 0,14	Arrivée d'eaux du large de forte salinité
31.1.1966	37,68	38,00	- 0,32	
19.12.1966	37,84	37,97	- 0,13	
7.2.1966	35,23	36,29	- 1,09	Eaux du Rhône + Aude + Hérault venant du nord Effet de protection du cap Béar
28.2.1966	35,36	36,18	- 0,82	
20.2.1967	34,47	35,29	- 0,77	



Dans les périodes d'influence des eaux du large de salinité élevée, le gradient s'inverse sans que l'écart de salinité entre A et B dépasse 0,04 ‰. Si ces eaux du large ont une salinité relativement basse (courant rhodanien), la salinité est supérieure en A.

## B) RÉGIME DES SALINITÉS

### 1. BILAN D'EAU DOUCE DANS LE GOLFE DU LION

La Méditerranée qui ne reçoit que quelques grands fleuves constitue un bassin de concentration. Le bilan moyen d'eau douce s'établit ainsi (d'après plusieurs travaux cités dans TCHERNIA, 1960) :

évaporation	— 1 440 mm d'eau par an
précipitations	+ 340 mm d'eau par an
ruissellement	+ 129 mm d'eau par an
<hr/>	
Déficit	— 971 mm d'eau par an

Chaque secteur méditerranéen s'écarte plus ou moins de ce bilan général. Ainsi le bassin liguro-provençal présente un bilan encore plus négatif (GOSTAN, 1968) : les apports du ruissellement ne sont que de 60 mm pour une superficie de bassin voisine de 100 000 km<sup>2</sup>.

Le débit moyen des fleuves qui se déversent dans le Golfe du Lion est proche de 2 200 m<sup>3</sup>, l'apport du Rhône étant de 1 900 m<sup>3</sup>/s. Si l'on considère que ces apports influent seulement sur les eaux recouvrant le plateau continental dont la superficie est approximativement de 14 000 km<sup>2</sup> (du cap Creus au cap Sicié), la lame d'eau douce correspondante est voisine de 4 100 mm; en prenant pour l'évaporation et pour les précipitations les valeurs citées par TCHERNIA, le bénéfice annuel d'eau douce est de 3 000 mm. Les basses valeurs de salinité doivent donc être considérées comme normales dans la région de Banyuls.

### 2. RÉGIME DES PRINCIPAUX FLEUVES \*

L'augmentation du débit des seuls fleuves locaux (Tech, Têt et Agly) ne peut expliquer toutes les baisses de salinité et il est

\* Les débits des fleuves nous ont été aimablement communiqués par la Direction de l'Agriculture de Perpignan, les Ponts et Chaussées de Carcassonne et d'Avignon et la 5<sup>e</sup> Circonscription électrique de Toulouse.

Les stations de relevés, Vinça (Têt), Can Partère (Tech), St Laurent (Agly), St Marcel (Aude), Montagnac (Hérault) et Beaucaire (Rhône), sont parfois distantes de 50 km de l'embouchure, mais les apports supplémentaires au-delà de ces stations sont toujours faibles.



nécessaire de considérer le régime hydrologique des autres fleuves importants, l'Aude, l'Hérault et bien sûr, le Rhône.

### *Fleuves locaux*

Le débit total des trois fleuves roussillonnais est généralement inférieur à 20 m<sup>3</sup>/s (fig. 10). A la suite de pluies exceptionnelles il peut s'élever au-dessus de 300 m<sup>3</sup>/s (octobre 1965). Leur régime est commandé par les pluies méditerranéennes post-équinoxiales irrégulières et violentes. Le débit de l'Agly, le plus torrentiel des trois fleuves, augmente parfois en hiver (février 1967).

### *Aude et Hérault*

Leur débit dépend des précipitations méditerranéennes et aussi de l'influence atlantique d'hiver. Inférieure à 40 m<sup>3</sup>/s en été, les débits de l'Aude et de l'Hérault évoluent parallèlement; ils sont le plus souvent supérieurs à 60 m<sup>3</sup> d'octobre à avril. Le débit moyen de l'Hérault, mesuré sur trente années, est de 114 m<sup>3</sup> en décembre, 61 en janvier, 51 en février, 105 en mars et 67 en avril.

Les débits des mois d'octobre 1965, février 1966 et 1967 ont été très élevés; ceux de mars et de décembre 1966 et d'octobre-novembre-décembre 1967, particulièrement bas.

### *Rhône*

Trois facteurs qui se succèdent dans le temps règlent le débit du Rhône : les pluies méditerranéennes d'automne, les pluies océaniques hivernales et l'influence alpestre au printemps (BRUN, 1967). Les extrêmes mensuels sont assez peu éloignés : 2 036 m<sup>3</sup>/s en mars, 1 169 en juillet (moyenne des années 1920 à 1967); de juillet à octobre inclus, le débit moyen est inférieur à 1 400 m<sup>3</sup>/s; il est supérieur à 1 800 tout le reste de l'année, avec des maximums en mars et en novembre.

Entre 1965 et 1968, les variations de débit ont été proches du schéma normal. Cependant les valeurs ont été relativement élevées en automne 1965, en janvier et en février 1966; elles sont basses en septembre 1966 et de juin à décembre 1967.

## 3. VARIATIONS ANNUELLES DE LA SALINITÉ

Le trait essentiel du régime hydrologique est lié à l'importance de ces apports d'eau douce. A Banyuls, des salinités inférieures à



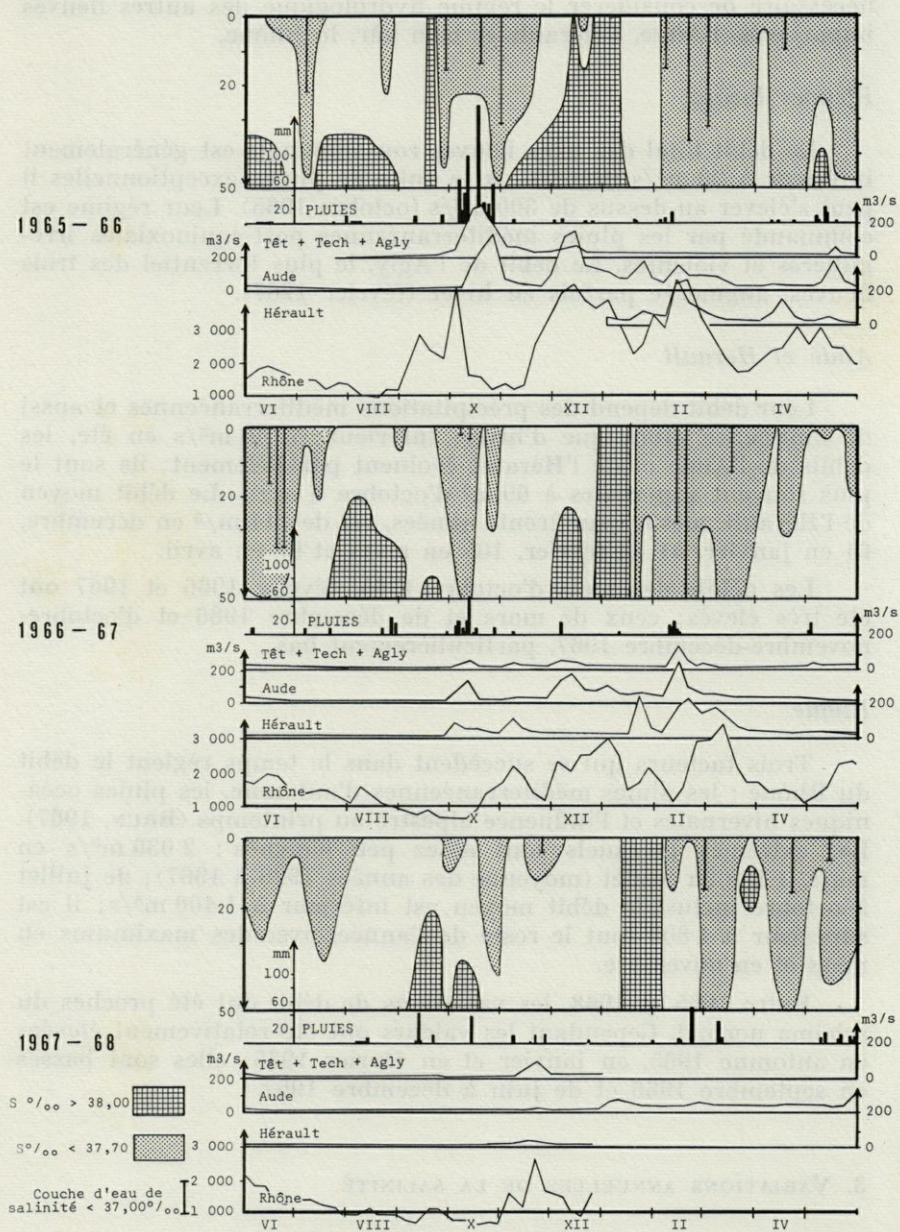


FIG. 10. — Variations de la salinité, 1965-1968, en relation avec les précipitations locales et le débit des principaux fleuves du Golfe du Lion.



37,70 ‰ au-delà des vingt premiers mètres sont assez fréquentes alors qu'elles n'apparaissent jamais, à ces profondeurs là, dans le golfe de Marseille (MINAS, 1968b).

Des salinités superficielles comprises entre 37,70 ‰ et 38,00 ‰ étant normales en Méditerranée nord-occidentale, nous porterons une attention particulière aux valeurs inférieures à 37,70 et à celles supérieures à 38,00.

### *Salinités inférieures à 37,70 ‰*

L'effet des précipitations directes qui ne peut être négligé est cependant fréquemment masqué, près des côtes, par le ruissellement.

On peut calculer l'apport approximatif d'eau douce nécessaire à un abaissement donné de la salinité. Une fois connue la « surface » de dessalement dans le plan vertical (limitée par l'isohaline 37,70 ‰), il faudrait déterminer la vitesse d'écoulement à travers cette surface. En prenant comme vitesse minimale, lors des dilutions, la valeur de 0,1 m/s, l'apport minimum d'eau douce est alors de : 400 m<sup>3</sup>/s pour des dilutions qui abaissent la salinité initiale de 0,30 ‰ sur l'ensemble de la couche d'eau et qui s'étendent jusqu'au point C (ex. : 7 et 8 mars 1966, 24 février 1967); 40 m<sup>3</sup>/s pour un abaissement équivalent limité à une étroite bande côtière (18 et 20 décembre 1965, 4 avril 1968).

L'ordre de grandeur de ces valeurs indique que seul le deuxième type de dilution peut être dû aux fleuves locaux.

Au cours de l'année, il est habituel d'observer trois périodes de basse salinité :

*Période automnale.* Elle est en relation directe avec les précipitations automnales dont l'importance et la date d'apparition sont très variables.

L'isohaline 37,70 ‰ atteint rarement le fond (fig. 10 et 11); celle de 37,00 ‰ n'a dépassé le niveau 10 m qu'en 1965. L'influence des précipitations directes et des fleuves locaux est alors prépondérante : en 1967, la seule valeur inférieure à 37,00 ‰ correspond à une augmentation de débit des fleuves roussillonnais, débit supérieur à 100 m<sup>3</sup>/s entre le 6 octobre et le 2 novembre.

L'extension vers le large de cette masse d'eau diluée est faible car la force de Coriolis accentue l'accumulation normale de ces eaux peu denses à la côte. En 1966 et 1967, cette dilution est à peine perceptible au point C. En 1968, le 4 décembre, les salinités de surface sont respectivement de 31,03 à la côte et de 37,92 au point C (avec un disque Secchi visible à 2 m en B, à 21 m en C).



*Période hivernale tardive.* Cette courte période se situe entre la fin du mois de janvier et le début du mois de mars; elle dure généralement une quinzaine de jours. La salinité moyenne de l'ensemble de la couche d'eau est souvent minimale en février alors qu'elle atteint son maximum annuel en janvier. L'isohaline 37,00 ‰ se situe souvent au-delà de 20 m et atteint parfois 50 m (février 1967). Cette masse d'eau diluée est canalisée entre la côte et l'eau du large plus salée et plus chaude. D'après TOURNIER (1967), les eaux du Rhône abondantes et froides, après avoir drainé l'eau des autres fleuves du Golfe, s'enfoncent et se mélangent près des côtes du Languedoc et surtout du Roussillon.

Nos observations confirment l'accumulation de ces eaux diluées à la côte; l'influence de l'Aude et de l'Hérault, relativement proches de Banyuls, n'est pas négligeable bien que leurs débits soient plus faibles que celui du Rhône. Ainsi en 1967, le débit du Rhône est voisin de 1 400 m<sup>3</sup>/s début février, valeur basse pour la période hivernale; par contre l'Aude et l'Hérault amorcent une crue le 15 février (30 m<sup>3</sup> le 14, 400 m<sup>3</sup> le 15), crue qui se poursuit quelques jours encore. Or, l'isohaline 37,00 ‰ située à 20 m le 15 (crue de l'Agly), atteint le fond au point B le 20, certainement à la suite des apports des deux fleuves languedociens.

*Période de la fin du printemps et du début de l'été.* A la fin du printemps apparaissent à nouveau des eaux de salinité relativement basse. Cette période peut prolonger la précédente mais elle en diffère par l'extension vers le large de la nappe de dilution et par le fait que l'isohaline 37,00 ‰ atteint rarement 20 m.

Cet abaissement de la salinité superficielle ne correspond pas à une augmentation des apports fluviaux dans le Golfe; ceux-ci sont, au contraire, en régression. Il ne faut cependant pas oublier que même lors de ses basses eaux, le Rhône déverse près de 1 000 m<sup>3</sup>/s, ce qui suffit à abaisser sensiblement la salinité superficielle sur une surface d'autant plus importante que la stratification thermique estivale empêche le mélange vertical de ces eaux. Il est vraisemblable que la nappe de dilution rhodanienne est rabattue, en été, vers nos côtes comme l'ont montré FURNESTIN (1960) et ALLAIN (1960); la montée des isohalines vers la côte (fig. 11) souligne cette orientation particulière de la nappe de dilution. Les valeurs estivales de la salinité à Banyuls semblent trop basses pour avoir comme origine une arrivée de l'eau du circuit cyclonique (courant superficiel méditerranéen) dont le minimum de salinité est aussi estival.





FIG. 11. — Variations des caractéristiques halines vers le large de 1965 à 1968.



### *Salinités supérieures à 38,00 ‰*

De telles valeurs sont rares à Banyuls; elles n'apparaissent qu'en deux occasions :

*en été, au-delà des vingt premiers mètres; des salinités supérieures à 38,00 ‰ ont été observées entre juin et septembre 1965, en août 1966 et en septembre-octobre 1967. En 1968, à la thermocline correspond une halocline, les salinités superficielles étant inférieures à 37,70 ‰. Cette situation correspond au recouvrement de l'eau méditerranéenne par l'eau du courant rhodanien.*

A Villefranche (BOUGIS et CARRÉ, 1960) et dans le golfe de Marseille (MINAS, 1968b), c'est en fin d'été que des salinités supérieures à 38,00 ‰ apparaissent avec le plus de régularité par suite de l'évaporation superficielle. Une telle situation est exceptionnelle (septembre 1965) à Banyuls.

*en hiver, sur l'ensemble de la couche d'eau; le refroidissement des couches superficielles qui crée une forte turbulence et l'évaporation activée par les vents continentaux n'expliquent que partiellement ce relèvement général de la salinité, marqué par l'apparition de l'isohaline 38,00 ‰ en surface.*

L'apport fluvial est presque équivalent en décembre-janvier à ce qu'il est en février-mars, période de basse salinité. Seule une connaissance approfondie des mécanismes hydrologiques des abords du Golfe du Lion, permettra d'expliquer pourquoi, en décembre-janvier, les eaux du large repoussent vers le nord les eaux de basse salinité. En 1968, les salinités superficielles ont été voisines de 38,20 ‰, ce qui semble indiquer que ces eaux étaient originaires de la zone de divergence de Méditerranée nord-occidentale.

### COMPARAISON AVEC QUELQUES AIRES VOISINES

Les caractéristiques météorologiques et hydrologiques de Barcelone (BALLESTER et coll., 1968), Banyuls (stations au point C), Marseille (MINAS, 1968b) et Villefranche-sur-Mer (BOUGIS et coll., 1960-1966) sont résumées dans le tableau V. Il faut noter que la localisation des points de prélèvements diffère beaucoup par leur distance à la côte et par la profondeur de leur fond.



TABLEAU V

Comparaison des caractéristiques météorologiques et hydrologiques de quelques régions voisines de Banyuls.

Caractéristiques	Barcelone	Banyuls	Marseille	Villefranche
Vent dominant pourcentage : flux engendré :	Nov-Fev   Mars-Sept N-NW   S-SW 32 %   34 % Reflux	NW 60 % leger Afflux	N-NW 40 % Reflux	Nov-Fev   Avr-Août N   SE 33 %   25 % Afflux
Insolation en heures (moyenne mensuelle) hiver : été :	—	210 142 287	243 148 347	231 144 328
Température de l'air (moyenne journalière)	17°	14°	14°	16°
Température eau superficielle maximum : minimum :	24 13	21 12	24 12	25 13
Stratification thermique (0-100 m) phase hétérogène (> 5°) phase homogène (< 1°)	Juin-Oct Dec-Fev	Juil <sup>t</sup> -Oct Dec-Avr	Juin-Oct Nov-Mars	Mai-Oct Nov-Avr
Salinité superficielle < 37,70 côte large	— fin printemps, début été	automne Fev-Mars fin printemps, début été	automne fin printemps, début été	automne fin printemps, début été
> 38,00 côte et large	Décembre-Avril	Décembre, Janvier	Fin été, pfs fin hiver	Fin été, pfs fin hiver

Il y a des différences notables dans la fréquence et la vitesse des vents dominants aux différentes localités. A Barcelone, dominant des vents des secteurs S-SW et N-NW, avec une vitesse moyenne de 3 m/s. A Banyuls ce sont ceux du secteur NW avec une vitesse moyenne de 5 m/s, à Marseille ceux de N-NW avec une vitesse de 4,5 m/s. A Nice, les vents de secteur N-NE (2,5 m/s) et les vents de S-SE (4 m/s) sont les plus fréquents. Les moyennes mensuelles d'insolation sont proches à Banyuls, Marseille et Villefranche, surtout pendant la période hivernale; en été les différences sont un peu plus marquées, Banyuls étant la station la moins ensoleillée.

Les minimums hivernaux de la température superficielle de l'eau sont voisins dans les quatre régions, mais le maximum thermique est nettement moins élevé à Banyuls.

La phase hétérogène débute tardivement à Banyuls; elle est précoce à Villefranche.



La présence d'eaux de basse salinité varie d'une année à l'autre dans le bassin nord-occidental. Ainsi, en 1959-60, à Villefranche, la salinité superficielle est restée inférieure à 37,50 ‰ de la mi-novembre au mois de juillet, ce qui est tout à fait exceptionnel.

Les précipitations automnales provoquent des abaissements variables de la salinité côtière; ces dilutions sont importantes vers Banyuls, elles le sont moins dans le golfe de Marseille et à l'entrée de la rade de Villefranche; elles n'apparaissent pas au large de Barcelone et de Villefranche. La dilution de février-mars semble limitée à la région de Banyuls. Par contre, l'apparition d'eaux relativement peu salées (37,40 à 37,70 ‰) est générale entre les mois de mai et de juillet.

La salinité est toujours élevée en fin d'été à Villefranche et, à un degré moindre, à Marseille. Ces « conditions estivales tardives » dues à l'évaporation sont peu marquées à Barcelone et à Banyuls. A Banyuls, en été, les eaux superficielles sont nettement moins salées que les eaux sous-jacentes alors qu'à Villefranche la salinité diminue de la surface jusqu'à 75 m environ.

Certaines années, la salinité dépasse à nouveau 38 ‰ à la fin de l'hiver et au début du printemps à Marseille et à Villefranche. A Barcelone et à Banyuls, la salinité s'élève dès le début du mois de décembre; ces valeurs fortes persistent jusqu'à la fin du mois d'avril à Barcelone alors qu'à Banyuls l'arrivée d'eau dessalée vient interrompre prématurément cette phase au cours du mois de février.

## CONCLUSION

L'évolution hydrologique de la région de Banyuls est influencée par la force et la fréquence des vents ainsi que par l'importance des apports fluviaux dans le Golfe du Lion.

Si les variations de la température de l'eau suivent le cycle normal des saisons, il n'en va pas de même de celles de la salinité.

Les quatre phases du cycle thermique se différencient par l'importance du gradient vertical :

— au printemps, le réchauffement est régulier sur tout le plateau continental; la température superficielle augmente de 4 °C, celle proche du fond de 2° environ. Les vents dominants (la « Tramontane » représente 60 % des observations supérieures à 5 m/s) refroidissent, par évaporation, l'eau superficielle, homogénéisant ainsi les températures des premiers mètres;



— en été, s'établit une forte stratification qui se maintient jusqu'en octobre. La thermocline se situe à 20 m en août et à 40 m environ au début et à la fin de cette phase. Les vents dominants ne sont pas assez forts pour annuler le gradient de la couche superficielle; les vents de secteur sud à sud-est provoquent seulement une remontée de la thermocline dans la zone côtière;

— en automne, l'homogénéisation des températures de l'ensemble de la couche d'eau se fait plus ou moins progressivement. Le gradient thermique de la couche superficielle étant plus faible, les vents peuvent activer l'homogénéisation des premiers mètres. Sur des fonds inférieurs à 60 m, le retour à une situation d'homothermie peut être brutal et s'établir pour des valeurs élevées qui peuvent atteindre 20 °C;

— en hiver et jusqu'en avril, le gradient thermique est faible. On peut alors observer des densités élevées qui provoquent parfois des plongées d'eaux sur le plateau continental; ces phénomènes ont été très peu importants de 1965 à 1968.

Le régime halin à Banyuls dépend non seulement des débits fluviaux, mais aussi de l'extension vers la côte d'eau du large. La fréquence de salinités inférieures à 37,70 ‰ est due au débit des fleuves qui se déversent dans le Golfe du Lion, débit voisin de 2 200 m<sup>3</sup>/s.

Il y a généralement à Banyuls trois époques de basses salinités (tableau VI) : celle d'automne est liée aux pluies locales, celle de février aux arrivées d'eaux du Rhône et des fleuves languedociens, ces dilutions étant limitées à une étroite bande côtière. En été, par contre, apparaissent, venant du large, des eaux de salinité relativement basse qui correspondent à la nappe de dilution rhodanienne rabattue vers le littoral.

En décembre-janvier, des eaux de salinité supérieure à 38,00 ‰ sur l'ensemble de la couche d'eau envahissent le plateau. Il s'agit soit du courant superficiel méditerranéen, soit, dans le cas de valeurs supérieures à 38,15 ‰ d'eau provenant vraisemblablement de la zone de divergence.

Les mécanismes complexes qui commandent les situations respectives de l'aire de dilution rhodanienne, de la zone de divergence et du courant superficiel sont à l'origine des différences de salinités observées à la côte en hiver (maximum annuel en décembre-janvier, minimum annuel en février-mars).

Les températures mesurées devant le Laboratoire de 1965 à 1968, comparées au cycle moyen (fig. 4) ne montrent que des différences de faible amplitude. On peut cependant observer quelques périodes plus froides (printemps 1967, étés 1965 et 1966, fin d'au-



TABLEAU VI  
Régime des salinités à Banyuls de 1965 à 1968.

Salinité	Localisation	Profondeur	Périodes d'apparition	Origine	Exemples
< 37,7	Côte	0-20	diverses (surtout automne)	locale	Octobre 1965 Août 66 Septembre 67
		0-50	Février-Mars	Rhône + Aude + Hérault (eaux tassées à la côte)	chaque année
	Côte et large	0-30	Mai-Juillet	extension aire de dilution Rhône	chaque année
37,7 à 38,0	Côte et large	0-30	été	Salinité habituelle du courant méditerranéen superficiel	chaque année en Août
		0-100	très rare		Novembre 66
> 38,0	Côte et large	sous thermocline 38,05	entre Juin et Septembre		fréquent en été 65, 66 et 67, constant en 68
			fin été		évaporation
		0-100	Décembre-Janvier	eaux du large	chaque année

tomme les trois années) et des périodes plus chaudes (fin du printemps en 1965 et 1966, été 1967).

La comparaison de données climatiques et hydrologiques indiquent que si les conditions topographiques et bathymétriques de Marseille et de Banyuls sont voisines, les grands traits de leurs régimes hydrologiques apparentent, en fait Marseille à Villefranche et Banyuls à Barcelone. La fréquence des apports d'eaux douces singularise la zone littorale de Banyuls.

### RÉSUMÉ

Une étude des principaux facteurs influençant l'évolution hydrologique de la région de Banyuls-sur-Mer met en évidence l'action prépondérante des vents et des apports d'eau douce.

Les vents de secteur nord dominants, ils refroidissent les eaux superficielles et favorisent l'insolation. Le nombre d'heures d'insolation double au cours du mois de mars, il est maximum en juillet (300 heures) et minimum en novembre (130 heures).



Les vents de secteur sud-est provoquent en été un léger reflux des eaux superficielles qui entraîne une montée de la thermocline près de la côte.

Le cycle de la température de l'eau superficielle est voisin de celui de la température atmosphérique. Le maximum est atteint en juillet-août (moyenne mensuelle 21 °C environ), le minimum en février (10 °C).

La stratification thermique de l'eau est forte et constante de juillet à octobre. L'homogénéité hivernale s'établit plus ou moins rapidement selon les années et la profondeur du fond.

Le cap Béar protège la baie de Banyuls des influences du courant côtier N.S., mais sur les fonds de 50 m l'évolution thermique est très semblable en chaque point.

Le cycle halin comporte trois époques de basses salinités : en février-mars (eaux du Rhône cheminant le long de la côte), au début de l'été (nappe de dilution rhodanienne rabattue du large vers le littoral) et en automne (pluies locales). La fréquence de ces dilutions est en relation avec les apports fluviaux, voisins de 2 200 m<sup>3</sup>/s pour l'ensemble du Golfe du Lion (bénéfice annuel en eau douce de 3 000 mm).

Des valeurs de salinité supérieures à 38,00 ‰ n'apparaissent qu'en deux occasions : en été, sous la thermocline, ce qui correspond à l'eau du courant méditerranéen recouverte par l'eau diluée; en décembre-janvier, de la surface au fond, lors de l'envahissement de l'ensemble du plateau continental par les eaux du courant superficiel méditerranéen ou par des eaux originaires de la zone de divergence.

Les grands traits du régime hydrologique apparentent la région de Banyuls à celle de Barcelone et l'éloignent de celle du littoral provençal.

## SUMMARY

A study of the main factors affecting the hydrological evolution in the region of Banyuls-sur-Mer shows the leading part played by the winds and by the inflow of fresh water.

The prevailing winds blow from the North, they cool the surface water and are favourable to insolation. The hours of insolation double in March; being at a maximum in July (300 hours) and a minimum in November (130 hours).

In summer, the south-east winds cause a slight ebbing of the surface waters which produce a rise of the thermocline near the coast.



The temperature cycle of the surface water follows closely that of the atmosphere. The maximum is reached in July-August (the monthly average being about 21 °C), the minimum in February (10 °C).

The thermic stratification of the water is marked and constant from July to October. Winter homogeneity is achieved more or less quickly, depending on the year and the depth of the bottom.

Cap Béar protects the bay of Banyuls from the influence of the N-S coastal currents but at 50 m the thermic evolution is constant.

The marine hydro-cycle has three periods of low salinity : in February-March (with the Rhône river waters flowing along the coast), in early Summer (with the fresh water layer from the Rhône pushed onshore) and in Autumn (local rains). The frequency of these dilutions is related to rivers inflow amounting to about 2 200 m<sup>3</sup> in the whole of the Golfe du Lion (the annual increase in fresh water amounts to 3 000 mm).

Salinities greater than 38,00 ‰ only occurs in two occasions : in summer, under the thermocline, which corresponds to the water of the mediterranean current underlying the diluted water; in December-January, from the surface to the bottom, due to the flooding of the continental shelf by the mediterranean surface current or by the waters coming from the zone of divergence.

The principal characteristics of the hydrological conditions in the Banyuls area resemble those of the region of Barcelona while differing from those of the Provençal coast.

## ZUSAMMENFASSUNG

Eine Untersuchung der Faktoren, die den stärksten Einfluss auf die hydrologische Entwicklung der Gegend von Banyuls-sur-Mer ausüben, zeigt deutlich die überwiegende Wirkung der Winde und der Süßwasserzuflüsse.

Die Winde aus dem Sektor Nord herrschen vor; sie kühlen das Oberflächenwasser ab und begünstigen die Einstrahlung. Die Zahl der Sonnenstunden verdoppelt sich im Laufe des Monats März, erreicht ihr Maximum im Juli (300 Stunden) und ihr Minimum im November (130 Stunden).

Die Winde aus dem Sektor Südost verursachen einen leichten Rückfluss des Oberflächenwassers, der in Küstennähe ein Aufsteigen der Sprungschicht nach sich zieht.



Der Temperaturzyklus des Oberflächenwassers ist dem der Atmosphäre sehr ähnlich. Das Maximum fällt in die Monate Juli und August (Monatsmittel etwa 21 °C), das Minimum ist im Februar erreicht (10 °C).

Die Temperaturschichtung des Wassers ist stark ausgeprägt und konstant von Juli bis Oktober. Die für den Winter charakteristische Homogenität stellt sich — je nach Jahr und nach Wassertiefe — mehr oder weniger schnell ein.

Das Cap Béar schirmt die Bucht von Banyuls gegen die Einflüsse der von Norden nach Süden entlang der Küste verlaufenden Strömung ab, bei Tiefen von 50 m dagegen ist die Entwicklung der Temperaturen an allen Stellen sehr ähnlich.

Der Salinitätszyklus zeigt drei Abschnitte mit niederen Salzgehalten : Februar-März (entlang der Küste strömendes Rhonewasser), Frühsommer (vom offenen Meer küstenwärts verfrachtete Rhone-Mischwasserschicht) und Herbst (lokale Niederschläge). Die Häufigkeit dieser Vermischungen steht im Zusammenhang mit dem Zustrom aus den Flüssen, der nahezu 2 200 m<sup>3</sup>/s für den gesamten Golfe du Lion beträgt (jährlicher Süßwasserertrag 3000 mm).

Salzgehalte über 38,00 ‰ treten nur zu zwei Zeiten auf : im Sommer unter der Sprungschicht, also im Wasser des Mittelmeerstroms, das von Mischwasser überlagert ist; im Dezember und Januar von der Oberfläche bis zum Grund durch das Eindringen von Wasser des Mittelmeer-Oberflächenstromes oder solchem aus der Divergenzzone über den gesamten Schelf.

Die grossen Züge der hydrologischen Vorgänge nähern die Region von Banyuls derjenigen von Barcelona an und setzen sie von der des provenzalischen Litorals ab.

#### RÉFÉRENCES

- ALLAIN, C., 1960. Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée (golfe du Lion, mer Catalane, mer d'Alboran et ses abords, secteurs à l'Est de la Corse). *Revue Trav. Inst. Pêch. marit.*, 24 (1) : 121-145.
- BALLESTER, A., E. ARIAS, A. CRUZADO, D. BLASCO et J.M. CAMPS, 1967. Estudio hidrografico de la costa catalana, de junio de 1965 a mayo de 1967. *Investigacion pesq.*, 31 (3) : 621-662.
- BHAUD, M., G. JACQUES et C. RAZOULS, 1967. Données météorologiques et hydrologiques de la région de Banyuls-sur-Mer. Année 1965-1966 (Point côtier). *Vie Milieu*, 18 (1-B) : 137-151.



- BOUGIS, P., 1968. Le problème des remontées d'eaux profondes à Villefranche-sur-Mer. *Cah. océanogr.*, 20 (7) : 597-603.
- BOUGIS, P. et C. CARRÉ, 1960. Conditions hydrologiques à Villefranche-sur-Mer pendant les années 1957 et 1958. *Cah. océanogr.*, 12 (6) : 392-408.
- BOUGIS, P., M. GINAT et M. RUIVO, 1957. Contribution à l'hydrologie de la mer Catalane. *Vie Milieu*, 2 (sup. 6) : 123-164.
- BRACONNOT, J.C., C. CARRÉ, J. GOY, P. LAVAL et E. SENTZ-BRACONNOT, 1966. Conditions hydrologiques pendant les années 1963 et 1964 en un point au large de Villefranche-sur-Mer (A. M.). Particularités dues à l'hiver froid de 1963. *Cah. océanogr.*, 18 (5) : 423-437.
- BRUN, G., 1967. Etude écologique de l'estuaire du « Grand Rhône ». *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 66 (1371) : 46.
- CASANOBE, G., 1962. Sécheresse estivale. *Annls climat. Pyrénées orient.* : 11-18.
- CASANOBE, G., 1966. La Tramontane. *Annls climat. Pyrénées orient.* : 20-49.
- COSTE, B. et H.J. MINAS, 1967. Premières observations sur la distribution des taux de productivité et des concentrations en sels nutritifs des eaux de surface du golfe du Lion. *Cah. océanogr.*, 19 (5) : 417-429.
- FURNESTIN, J., 1960. Hydrologie de la Méditerranée occidentale (golfe du Lion, mer Catalane, mer d'Alboran, Corse orientale), 14 juin-20 juillet 1947. *Revue Trav. Inst. Pêch. marit.*, 24 (1) : 5-119.
- GAUDY, R., 1962. Biologie des Copépodes pélagiques du golfe de Marseille. *Recl Trav. Sin mar. Endoume*, 27 (42) : 93-182.
- GOSTAN, J., 1967. Remarques sur les minimums de salinité observés dans les eaux littorales du golfe de Gênes. *Cah. océanogr.*, 19 (6) : 469-476.
- GOSTAN, J., 1968. Contribution à l'étude hydrologique du bassin Liguro-Provençal entre la Riviera et la Corse. Thèse Doc. Fac. Sci. Univ. Paris : 206 pp.
- JACQUES, G., C. RAZOULS et A. THIRIOT, 1968. Données météorologiques et hydrologiques de la région de Banyuls-sur-Mer. Année 1966-1967. *Vie Milieu*, 19 (1-B) : 185-195.
- JACQUES, G., C. RAZOULS et A. THIRIOT, 1969. Données météorologiques et hydrologiques de la région de Banyuls-sur-Mer. Année 1967-1968. *Vie Milieu*, 20 (1-B) : 63-73.
- LACOMBE, H., 1965. Cours d'océanographie physique. Gauthier-Villars éd., Paris : 392 pp.
- LAUBIER, L., 1966. Le coralligène des Albères. Monographie biocénétique. *Annls Inst. océanogr. Paris*, 43 (2) : 140-316.
- MARKGRAF, H., 1961. Klimatologie des Mittelsmeeres. I-Windkarten. *Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg.*, 29 : 6 p., 99 pl.
- MARKGRAF, H., 1963. Klimatologie des Mittelsmeeres. II - Temperatur, Bewölkung, Niederschlag, Nebel. *Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg.*, 37 : 2 pp., 120 pl.



- METEOROLOGICAL OFFICE, 1962. Weather in the Mediterranean. I - General meteorology. *H.M.S.O., London* : 362 pp.
- MINAS, H.J., 1968a. A propos d'une remontée d'eaux « profondes » dans les parages du golfe de Marseille (octobre 1964). Conséquences biologiques. *Cah. océanogr.*, 20 (8) : 647-674.
- MINAS, H.J., 1968b. Recherches sur la production organique primaire dans le bassin méditerranéen nord-occidental. Rapports avec les phénomènes hydrologiques. Thèse Doc. Fac. Sci. Univ. Aix-Marseille : 18-34.
- TCHERNIA, P., 1960. Hydrologie d'hiver en Méditerranée occidentale. *Cah. océanogr.*, 12 (3) : 184-198.
- THIRIOT, A., 1966. Variations annuelles de la température de l'eau côtière superficielle de Banyuls-sur-Mer. *Vie Milieu*, 17 (1-B) : 243-252.
- TOURNIER, H., 1967. Aspect hydrologique du golfe du Lion en hiver. *Revue Trav. Inst. Pêch. marit.*, 31 (4) : 339-342.

Reçu le 1<sup>er</sup> avril 1969