

APPROCHE DE LA COURANTOLOGIE DANS LA BAIE DE PORT-CROS ET DANS LA PASSE ENTRE PORT-CROS ET BAGAUD

A. JEUDY de GRISSAC *

Résumé : Une campagne de mesures de courants a été réalisée en 1979 dans les eaux du Parc National de Port-Cros, et notamment dans la baie de Port-Cros et dans la passe entre les îles de Port-Cros et de Bagaud.

Les principaux résultats montrent que la courantologie de ces sites est régie par l'influence du courant liguro-provençal ou géostrophique, les régimes de vent et la morphologie littorale.

Les mesures ont permis de préciser la circulation :

- d'une part, dans la passe entre Port-Cros et Bagaud, par régime de vent d'ouest à nord-ouest. Le déplacement des masses d'eau s'effectue du nord vers le sud. Les débits dans cette passe sont directement liés au régime de vent établi. Ils ont été mesurés entre 0,4 et 2 millions de m³ par heure pour des vents entre 3 et 12 m par seconde. L'amortissement de la vitesse du courant entre la surface et le fond est comprise entre 45 et 50 % de la valeur de surface ;
- d'autre part, dans la baie de Port-Cros, le système de circulation est proche de celui que l'on rencontre dans les calanques du littoral provençal. Par régime d'ouest débutant puis se renforçant, le temps de renouvellement de l'eau de la baie passe de 2 heures à 3/4 d'heure.

Summary : The marine currents have been measured in 1979 around Port-Cros island (National Park) and specially in the channel between Port-Cros and Bagaud islands and in the Port-Cros bay.

The main results show that the currents in these areas are under the influence of the « liguro-provençal » current, the climatic conditions (wind) and the coastal morphology.

The measures allow to precise the circulation :

- in the channel between Port-Cros and Bagaud islands, with a wind coming from the north-north-west. The water goes from north to south. The volume passing in this channel is strictly connected to the blowing wind. It has been measured between 0,4 and 2 millions cubic meters an hour for 3 to 12 m/s winds. The amortization of the current speed between surface and bottom varies from 45 to 50 % of the surface value ;
- in the Port-Cros bay, the circulation is the same that in the « calanques » of the provençal shore. With a wind coming from the west and becoming stronger, the water bay renewal time varies from 2 hours to 3/4H.

* Laboratoire de Géologie Marine, Centre Universitaire de Marseille-Luminy, 13288 Marseille Cedex 9.

1. — INTRODUCTION

La connaissance de la courantologie dans les eaux du Parc National de Port-Cros constitue un élément important pour toutes les disciplines de l'océanographie, ainsi que pour la protection du milieu marin et la prévention contre les nuisances.

La circulation des eaux autour de Port-Cros est conditionnée par trois facteurs :

— la circulation générale de la région,

— les régimes de vent,

— la morphologie et l'orientation du littoral.

a. La circulation générale

Le littoral français méditerranéen voit, de façon générale, au large, ses eaux se déplacer de l'Italie vers l'Espagne. Ce courant, situé à une distance variable de la côte, et dirigé d'est en ouest, est nommé géostrophique (en relation avec la rotation de la terre) ou plus simplement liguro-provençal. Sa vitesse normale, de 0,5 à 1 nœud, peut être accélérée ou réduite en fonction du régime de vent établi.

Contre les côtes, ce courant induit une dérive littorale des masses d'eaux dans le même sens, d'est en ouest, mais, lorsque la morphologie littorale n'est plus rectiligne (baies ou caps), les déplacements des masses d'eaux présentent des variations et même des inversions (exemple des baies).

Entre le littoral des Maures au nord et les îles d'Hyères (Giens, Porquerolles, Bagaud, Port-Cros, le Levant et leur prolongement sous-marin) au sud, se trouve la terminaison du canyon des Stoéchades. Une branche du courant liguro-provençal pénètre dans ce chenal et tend à ressortir :

— entre les îles du Levant et de Port-Cros,

— entre les îles de Port-Cros et de Bagaud,

— entre les îles de Bagaud et de Porquerolles (Grande Passe),

— entre l'île de Porquerolles et la presqu'île de Giens (Petite Passe).
Si la sortie d'eau est relativement facile dans la Grande Passe, elle est beaucoup plus difficile dans les trois autres cas, et s'effectue avec de fortes accélérations des vitesses et des phénomènes annexes (tourbillons...).

Une étude de cette branche du courant liguro-provençal située au nord de Port-Cros a été entreprise par le B.E.A. de la Marine Nationale, mais les résultats ne sont pas encore disponibles.

Ce bassin, situé entre les îles et la côte des Maures, se comporte comme une petite mer intérieure. Par temps calme prolongé, on peut constater des phénomènes de marée dans les passes entre le nord et

le sud de Port-Cros. De tels phénomènes ne pourraient être étudiés avec précision que par des enregistrements en continu sur de longues durées (courants, houles, vents...).

b. Les conditions météorologiques

A Port-Cros, deux régimes de vent dominant largement :

- les vents dits « d'ouest »,
- les vents d'est avec deux composantes secondaires de nord-est et d'est-nord-est.

De direction opposée, ces deux régimes engendrent généralement des courants inverses.

c. La morphologie littorale

La passe entre Port-Cros et Bagaud a la forme d'un entonnoir se refermant vers le sud. Son axe central est orienté 25° - 205°. Cette orientation facilite la pénétration du courant liguro-provençal. On peut penser que, par temps calme, les mouvements d'eaux liés à ce courant seraient plus importants contre Bagaud que contre Port-Cros.

Vers la partie la plus étroite, alors que la côte de Bagaud reste rectiligne, celle de Port-Cros s'avance vers l'ouest et doit jouer un rôle de canalisateur pour les courants.

L'orientation de la baie de Port-Cros avec un axe central 300° - 120°, fait qu'elle est ouverte aux vents de nord-ouest, même si ceux-ci sont gênés par la présence de l'île de Bagaud. Les vents d'est ont une influence beaucoup plus faible, la baie servant d'abri sûr par ce régime.

II. — METHODE ET MATERIEL

L'étude a comporté deux types de mesures :

— des coupes verticales réalisées en un temps très court (15 à 30 minutes) et répétées au même point pour divers régimes de vent, à l'aide d'un courantomètre portable Braystoke type BFM 008 ;

— des mesures en continu à poste fixe à 0,50 m du fond pour effectuer des corrélations avec les données précédentes. Ces mesures ont été réalisées avec un courantomètre Ben Comex prêté et mis en place par la Marine Nationale (BEA, PCP Tiné).

Les stations de mesure sont représentées sur la figure 1. Elles sont réparties comme suit :

- 1 à 3 dans la passe Port-Cros - Bagaud, au centre ;
- 21 à 23 de même, au sud ;
- 4 à 9 dans la baie de Port-Cros ;
- 30 à 0 m 50 du fond dans la passe, au sud.

Lors de la mesure A, sur toute la tranche d'eau, aux trois points de station, le courant se dirige vers le sud. Les vitesses sont variables. On constate une diminution générale de Bagaud vers Port-Cros, et de la surface vers le fond. Le rapport vitesse au fond / vitesse en surface est d'environ 45 %.

+ Directions et vitesses.

B - vent d'origine nord-nord-ouest de 4 à 5 m/s.

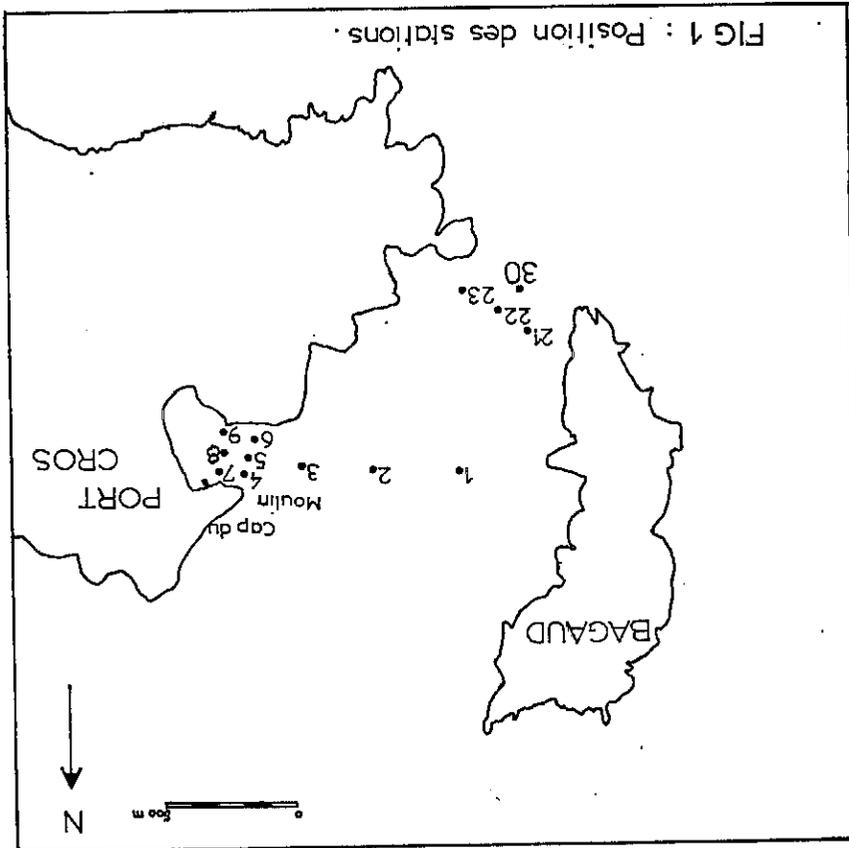
A - vent d'origine ouest-nord-ouest de 7 à 12 m/s.

Deux séries de mesures A et B ont été réalisées par régime de vent d'ouest.

1) La coupe suivant les stations 1 - 2 - 3

a. La circulation dans la passe entre Port-Cros et Bagaud

III. — RESULTATS



Station	Vitesse Surface CM/S	Vitesse Fond CM/S	V. Fond
			V. Surface %
1	28,8	14,4	50,2 %
2	28,3	11,3	39,9 %
3	22,9	10,0	43,7 %

Lors de la série B, le courant se dirige vers le sud sur toute la tranche d'eau station 1, mais la tendance est dirigée vers la baie de Port-Cros pour les eaux de fond station 2, les eaux de fond et intermédiaires station 3.

On constate les mêmes diminutions que précédemment pour les vitesses, de Bagaud vers Port-Cros et de la surface vers le fond (rapport \approx 47 %).

Station	Vitesse Surface CM/S	Vitesse Fond CM/S	V. Fond
			V. Surface %
1	16,2	7,3	45,1
2	10,4	5,5	52,9
3	11,3	5,0	44,2

Si l'on considère la vitesse moyenne pour toute la tranche d'eau des trois stations pour les deux séries de mesures et sur toute la coupe, on obtient les valeurs :

	Station 1	Station 2	Station 3	Vitesse moyenne coupe CM/S
V. Moyenne Série A CM/S	19,5	11,7	16,0	17,7
V. Moyenne Série B CM/S	14,0	8,0	7,4	9,8

Calcul de la « surface mouillée » pour les coupes 1-2-3

La « surface mouillée » est la surface de la tranche d'eau concernée par les trois coupes 1-2-3. Elle va de Bagaud à l'entrée de la baie de Port-Cros. Par mesure graphique, elle a été estimée à 1700 m² environ.

Calcul du débit

On peut donc calculer le débit lors des deux séries en utilisant la vitesse moyenne calculée précédemment.

	V. Moyenne Série C CM/S	V. Moyenne Série D CM/S
Station 23	43,6	20,9
Station 22	45,1	20,3
Station 21	27,0	18,9
Vitesse moyenne coupe	38,6	20,0

Les vitesses moyennes sont les suivantes :

Station	Vitesse Surface CM/S	Vitesse Fond CM/S	V. Fond / V. Surface %
21	27,0	14,0	51,8
22	26,1	9,5	36,4
23	22,9	14,0	61,1

Lors des mesures D, les courants sont d'une façon générale dirigés vers le sud. Le rapport fond/surface avoisine les 50 %.

Station	Vitesse Surface CM/S	Vitesse Fond CM/S	V. Fond / V. Surface %
21	51,2	22,5	43,9 %
22	52,1	29,6	56,8 %
23	33,2	14,4	43,4 %

Lors de la série C, sur toute la tranche d'eau, le courant se dirige vers le sud-sud-ouest. On constate comme précédemment une diminution des courants de Bagaud vers Port-Cros et de la surface vers le fond (48 %).

+ Directions et vitesses

D - avec vent d'origine nord de 2 à 4 m/s.

C - avec vent d'origine nord-ouest à nord de 4 à 6 m/s.

Deux séries de mesures C et D ont été réalisées :

2) La coupe suivant les stations 21 - 22 - 23

On constate que la force du vent semble intervenir directement dans la vitesse des courants puisque pour un doublement approximatif de la vitesse lors des mesures, on a un doublement du débit.

A : $1\,700\text{ m}^2 \times 0,177\text{ m/s} = 300,9\text{ m}^3/\text{s}$

B : $1\,700\text{ m}^2 \times 0,098\text{ m/s} = 166,6\text{ m}^3/\text{s}$

La surface mouillée a été estimée graphiquement à 600 m².

Les débits lors des mesures étaient donc d'environ :

$$C : 600 \times 0,386 = 231,6 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$D : 600 \times 0,200 = 120,0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Les corrélations entre la vitesse du vent établi et les courants apparaissent toujours valables, bien que le vent de secteur nord (D) ait, semble-t-il, une action plus forte par rapport à sa vitesse initiale faible.

Série de mesure	Date	Vent direction	Vent vitesse M/S	Courant CM/S V. Moyenne	Débit M ³ /S
A	24-09-79	O-NO	7 à 12	17,7	300,9
B	21-09-79	N-NO	4 à 5	9,8	166,6
C	25-09-79	N-NO	4 à 6	38,6	231,6
D	27-09-79	N	2 à 4	20,0	120,0

3) Les mesures en continu au fond : station 30

Les résultats de cet enregistrement en continu à 0,50 m du fond au centre de la Passe sud entre Port-Cros et Bagaud sont résumés sur la figure 2. Les îles et la station 30 étant figurées, chaque point représente en direction et en intensité l'extrémité du vecteur courant relevé chaque heure sur les enregistrements.

Du point de vue direction, les courants « entrant » et « sortant » se répartissent chacun sur deux grands axes :

— entrant dirigé à 15° et 60°,

— sortant dirigé à 235° et 275°.

En ce qui concerne les vitesses, hormis les vitesses inférieures à 10 cm/s, le nombre de mesures est porté dans le tableau suivant avec les vitesses maximales et moyennes.

Vitesse Direction	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	V. Max.	V. Moy.
rentrant 15°	6	4	5	3	—	47 cm/s	27,7 cm/s
rentrant 60°	5	6	1	—	—	31 cm/s	21,7 cm/s
sortant 235°	3	11	5	4	2	63 cm/s	31,4 cm/s
sortant 275°	8	4	7	9	2	64 cm/s	32,7 cm/s

Les relations direction - vitesse entre le courant et le vent pour la période 25 septembre - 26 septembre, sont représentées sur la figure 3.

Si l'on considère comme limite arbitraire des régimes de courant et de vent entrant et sortant l'axe 120° - 300°, on a les subdivisions suivantes (le courant liguro-provençal étant supposé agir de façon permanente).

Les vitesses maximales enregistrées sont de 63 à 64 cm/s. Elles peuvent être rattachées aux coupes précédentes. Lors de mesures simultanées, les vitesses au fond étaient égales à la moitié des vitesses

- après quelques heures d'action, il y a renforcement de ce courant SN,
 - par vent de secteur sud, il y a une inversion SN, est NS,
 - en son absence ou par vent de secteur nord faible, le courant — le facteur primordial est le vent,
- Il apparaît que :

- vent entrant NS secteur 15° - 60°,
- courant sortant SN secteur 235° - 275°,
- vent accélérant : secteur nord 300° à 120°,
- vent freinant ou inversant : secteur sud 120° à 300°.

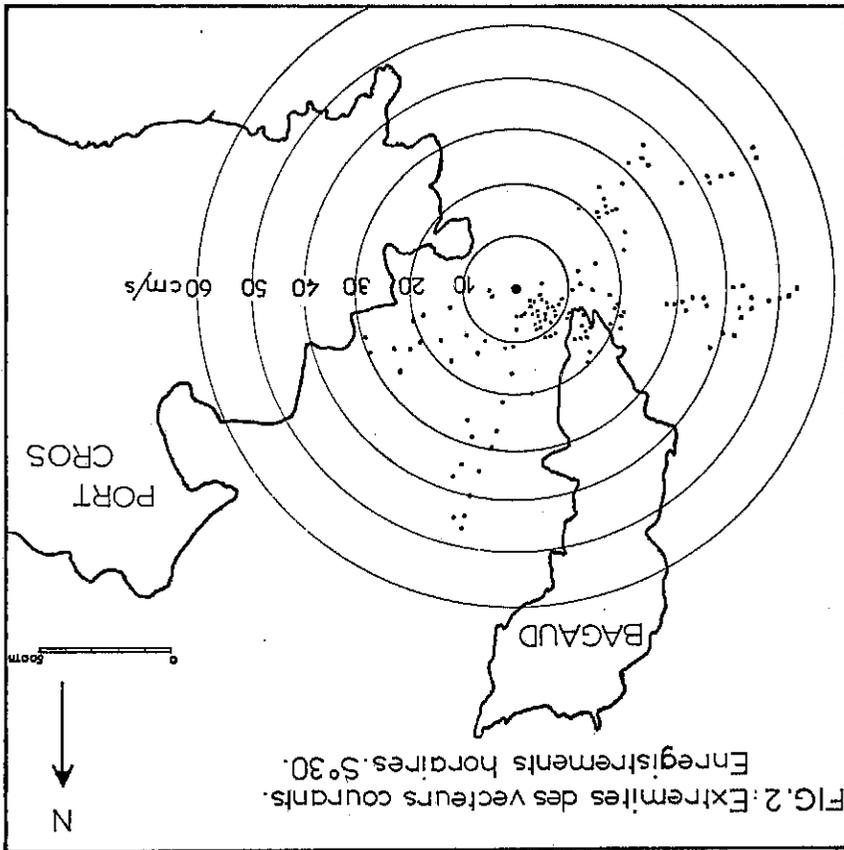
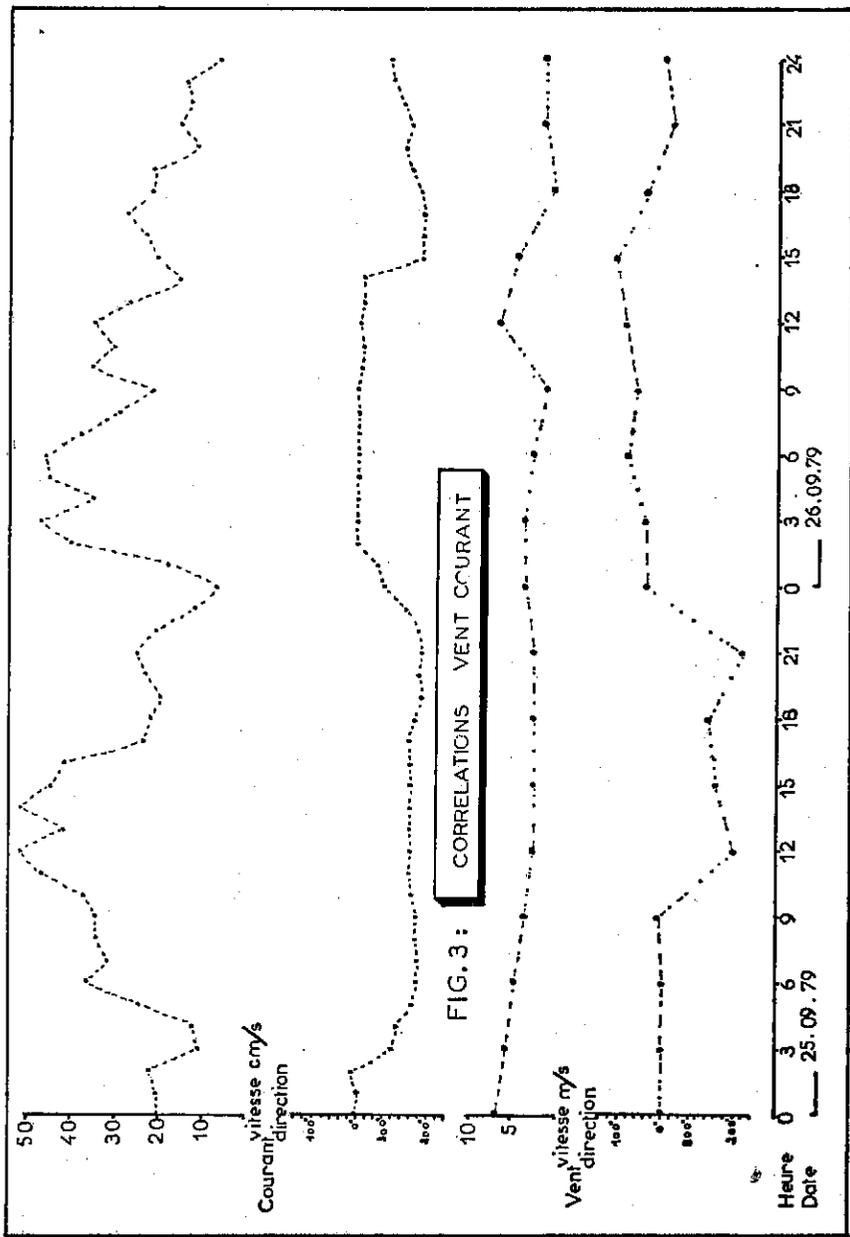


FIG. 2: Extrêmes des vecteurs courants. Enregistrements horaires. S° 30.



Le vent de secteur est, fortement atténué par les reliefs de l'île de Port-Cros, agit sur le plan d'eau de la baie et entraîne la tranche d'eau de surface vers l'ouest. Cette sortie d'eau de la baie en surface est compensée par des entrées d'eau au niveau du fond. Si l'on décompose le plan d'eau en 3 zones nord, centre et sud et la tranche d'eau en 3 épaisseurs surface, intermédiaire et fond (correspondant chacune au 1/3 de la tranche d'eau, on peut sur un schéma simple indiquer les eaux entrantes (E) et sortantes (S) avec le cas échéant les déviation indiquées à côté. La coupe correspond à l'entrée de la baie.

2) Circulation par régime d'Est

La circulation par temps calme est fortement influencée par les mouvements dans la passe entre Port-Cros et Bagaud, et, plus fortement quand ceux-ci sont dirigés du nord vers le sud. Par friction, cette masse d'eau entraîne les eaux à l'entrée de la baie et provoque un déficit dans la partie aval de la baie qui est compensée par une entrée en amont et la présence d'une cellule circulaire dans la zone des apports. La vitesse de renouvellement du plan d'eau de la baie est alors faible et permet le dépôt, dans la zone centrale de la baie, des particules sédimentaires en suspension.

1) Circulation par temps calme

— la circulation installée dans la passe entre Port-Cros et Bagaud, l'avancée du cap du Moulin à vent qui modifie la circulation vers le large par vent d'est et vers l'intérieur par vent d'ouest, — le chenal marin situé au centre de la baie qui sert de tracé préférentiel aux courants.

et notamment :

Mais ce schéma est modifié par certaines caractéristiques locales

Les mesures font apparaître que le système général de courant présent en baie de Port-Cros correspond à celui défini par BLANC (1958) dans les calanques de Marseille.

La baie de Port-Cros, orientée nord-ouest - sud-est est soumise aux deux principaux régimes de vent locaux (est et ouest).

b. La circulation dans la baie de Port-Cros

Ceci expliquerait certaines structures sédimentaires rencontrées à grande profondeur au sud de la passe Port-Cros - Bagaud (CLAIRE-FOND, JEUDY de GRISSAC, 1979).

de surface, ceci nous donnerait des vitesses correspondantes de 130 cm/s. La vitesse moyenne de la tranche d'eau avoisinerait les 1 m/s. Le débit serait donc de 600 m³/s pour les 600 m² de surface mouillée (2 millions de m³ par heure).

Par régime d'est, on a le schéma :

	NORD	CENTRE	SUD
Surf.	S	S	S
Inter.	S	E	S
Fond	E	S	E

L'eau intermédiaire est sortante au nord et au sud mais entrante au centre. La profondeur diminuant vers les bords, elle est au même niveau que l'eau de fond entrante des sites nord et sud. Au fond et au centre, le courant est sortant avec des vitesses faibles. Cette eau est en quelque sorte piégée dans le chenal central situé au centre de la baie.

Les mesures effectuées par vent de secteur est variant entre 6 et 8 m/s ont permis de calculer à partir des vitesses de courant le temps nécessaire au renouvellement de l'eau de la baie. Il est de 2 heures environ.

3) Circulation par régime d'Ouest

L'action des vents d'ouest n'est gênée que par l'île de Bagaud qui arrête les houles. Mais, entre Bagaud et Port-Cros, le « fetch », ou distance sur laquelle agit le vent, est suffisant pour permettre aux vents forts d'engendrer une houle d'amplitude 0,40 à 0,60 m et de période courte 2 à 3 secondes ressemblant plus à un fort clapot.

Les mesures par ce régime permettent d'établir un schéma de circulation plus complet.

L'influence première de ce régime est de provoquer une surélévation du plan d'eau dans le fond de la baie au niveau du récif barrière de Posidonies.

Le vent poussant l'eau de surface vers l'est, celle-ci va chercher à ressortir en plongeant ou latéralement. Une sortie latérale peut être possible dans la partie nord abritée par le cap du Moulin à vent.

Par vent faible, on a le schéma suivant :

	NORD	CENTRE	SUD
Surf.	S	E	S
Inter.	E	E	S
Fond	S sud	S sud	S sud

Ceci est très proche de celui établi par temps calme avec déviation vers le sud au fond. La partie supérieure est déjà influencée par le vent au centre.

Vent direction	ONO débütant	10 m/s	6 cm/	2 h 00
	ONO établi	10 m/s	8,5 cm/s	1 h 30
Vitesse	ONO débütant	12 m/s	10 cm/s	1 h 15
	ONO établi	12 m/s	14 cm/s	0 h 45
Vitesse moyenne courant	Renouvellement			

Dans tous ces cas de figure, la vitesse de renouvellement du plan d'eau est variable, mais elle a pu être estimée et comparée avec les vitesses de vents par mistral débütant ou établi.

Surf.	S	CENTRE	SUD
Inter.	S sud		
Fond	S		

La protection du cap du Moulin à vent est efficace et permet la déviation vers le sud des eaux du nord.

Lorsque le vent tombe, il y a rétablissement du plan d'eau dans son niveau. Le phénomène est assez rapide et nécessite des compensations latérales en surface.

Surf.	S sud	CENTRE	SUD
Inter.	S sud		
Fond	S		

Les phénomènes de compensation font que le courant entrant est parfois remplacé au centre par un courant sortant. La tranche d'eau entrante a alors tendance à plonger. Le schéma est alors :

Surf.	S	CENTRE	SUD
Inter.	S		
Fond	S sud		

Le vent forçant dans l'axe de la baie, il y a entrée de surface au centre et au sud et relèvement du niveau en fond de baie qui est compensé par une sortie quasi générale avec légère déviation au sud au fond.

CONCLUSION

Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude, si elles apportent de nombreux renseignements, s'avèrent néanmoins insuffisantes pour avoir une idée exacte de la circulation dans la passe entre Port-Cros et Bagaud et dans la baie de Port-Cros.

Des enregistrements en continu en plusieurs points, couplés avec des enregistreurs météorologiques, et ce, sur de longues périodes, permettraient de préciser ces données générales.

Néanmoins, il apparait plusieurs éléments :

Les eaux du Parc National de Port-Cros sont renouvelées de façon importante par l'influence du courant liguro-provençal, par l'action des régimes de vent et par les échanges entre le bassin nord et la mer ouverte au sud des îles.

Dans le détail, c'est la morphologie littorale qui est le facteur principal régissant les courants côtiers et notamment dans la passe entre Port-Cros et Bagaud dont la forme en entonnoir provoque des accélérations importantes.

Dans cette passe, les débits ont pu être calculés à partir des mesures effectuées par divers régimes de vent : 0,4 million de mètres cubes par régime de nord-nord-ouest de 4 à 5 m/s, 0,8 pour un régime d'ouest à nord-ouest de 7 à 12 m/s et des valeurs maximales avoisinant les 2 millions de m³ heure.

Dans la baie de Port-Cros, en dehors d'une circulation similaire à celle que l'on rencontre dans les baies allongées et les calanques du littoral provençal, il est apparu que le renouvellement de l'eau s'effectuait de façon plus ou moins rapide selon le vent établi. Pour un vent d'ouest-nord-ouest débutant puis établi, le temps de renouvellement de l'eau dans la baie varie de 2 heures à 3/4 d'heure. Ceci est important quand on connaît la densité d'embarcations déversant leurs eaux usées dans la baie en période estivale (période où les vents sont généralement faibles). Ceci explique en partie les dégradations que subit l'herbier de Posidonies de la baie de Port-Cros.

BIBLIOGRAPHIE

- BLANC J., 1958. — Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. Thèse. Masson. 140 p.
- CLAIREFOND P., JEUDY DE GRISSAC A., 1979. — Description et analyse de structures sédimentaires en milieu marin : recensement de quelques exemples dans l'herbier de Posidonies autour de Port-Cros. Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros, 5 : 79-104.
- HARMELIN J.-G., LABOREL J., 1976. — Note préliminaire sur la morphologie d'un herbier profond de Posidonies, *Posidonia oceanica* (Linné) Delile, à Port-Cros. Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros, 2 : 105-113.

