

1

## OBSERVATIONS DE COURANT EN BAIE DE SEINE.

*LE HIR P.\* , L'YAVANC J.\*.*

### 1. INTRODUCTION

Les mesures de courant demeurent un outil d'investigation indispensable pour l'étude courantologique d'un secteur donné : non seulement elles constituent une vérification, voire un moyen de réglage de modèles mathématique ou physique, mais surtout elles permettent une évaluation des différentes composantes de vitesse et de leur variabilité temporelle ou spatiale (dans les trois dimensions).

Pour la Baie de Seine, d'anciennes mesures de courant en surface fournissaient une information assez complète de l'évolution du courant au cours de la marée (SHOM, 1974). Cependant ces données ne rendaient pas compte d'un éventuel gradient vertical et les informations près du fond - si utiles au sédimentologue ou au benthologue - faisaient défaut. De plus, les mesures disponibles étaient de trop courte durée pour permettre une évaluation des courants moyens susceptibles d'entraîner les masses d'eau pendant des temps assez longs.

Pour combler ces lacunes, il a été décidé de procéder à des mesures de courant de longue durée dont l'analyse, jointe à l'utilisation de modèles numériques devait conduire à la présentation schématique de la circulation instantanée et résiduelle qui anime la baie de Seine.

### 2. LES CAMPAGNES DE MESURE

De 1979 à 1982, 3 campagnes de mesures courantométriques ont été organisées (figure 1a). La première a fait l'objet d'une collaboration entre le Centre National pour l'Exploitation des Océans, le Service Hydrographique et Oceanographique de la Marine et l'Université de Bretagne Occidentale.

Toutes les mesures furent réalisées en des points fixes (mesures eulériennes) à l'aide de courantomètres mouillés. Trois sortes de mouillages ont été mis en oeuvre (figure 1b et l'Yavanc et Kerdreux, 1983) :

- des mouillages de surface comportant un appareil suspendu à une structure flottante reliée de manière simple à une bouée de marquage ; les courantomètres électromécaniques utilisés étaient du type Mécabolier (pour 1979) ou V.A.C.M. Suber (pour 1979, 1981 et 1982), ces derniers offrant l'avantage d'enregistrer des moyennes vectorielles et d'être moins sensibles à l'agitation de surface,
- des mouillages subsurface comportant un courantomètre suspendu à un flotteur relié au fond,

\* Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer - B.P. 337 -  
29273 BREST CEDEX.

Point	Type	1979				1981				1982				
		J	J	A	S	J	J	A	S	J	F	M	A	M
1	S													
	F													
	M													
2	S													
	F													
	M													
3	F													
4	S													
	F													
5	F													
6	F													
7	F													
8	S													
	S													
9	S													
	S													
10	S													
	F													
11	F													
12	S													
13	S													
14	S													
15	S													

TYPES DE MOUILLAGES  
 S surface  
 S sub-surface  
 F fond  
 M marégraphe

Les positions des points sont indiquées sur la figure 3

a) DATES DES MOUILLAGES

Fig. 1 : Présentation des campagnes de mesures

- des mouillages de fond pour lesquels l'appareil, solidaire d'une structure posée sur le fond, garde une position fixe, ce qui améliore la qualité des mesures.

Pour les mouillages fond et subsurface, des courantomètres à rotor Aanderaa ont été employés.

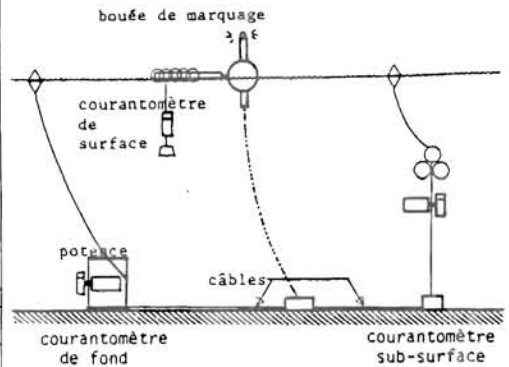
Le choix des durées de mesures résulte d'un compromis entre les possibilités logistiques (bateaux, plongeurs) et la nécessité d'entretien des appareils (à cause du fouling), sachant que si l'on s'intéresse aux circulations moyennes, un enregistrement n'est jamais trop long. La période retenue, un mois en moyenne, permettait en outre de faire une analyse harmonique fine des mesures (cf. § 3). La durée totale de chaque campagne était de 3 mois environ, et à deux exceptions près, il n'y a pas eu de mesure en automne ou en hiver.

#### Remarques sur la présentation des mesures

. Dans leur grande majorité les mesures ont été corrigées en fonction d'un étalonnage récent des appareils, en direction et en intensité. L'expérience montre que ces corrections modifient peu les résultats et qu'en particulier les valeurs résiduelles (cf. § 4) y sont peu sensibles, sans doute en raison d'une "compensation" partielle des erreurs pendant le flot et le jusant.

. Il est important de rappeler la grande variabilité que présentent les enregistrements de courant, comme l'illustre la figure 2 ci-contre. En particulier on observe que même des vents faibles (< 10 noeuds) sont susceptibles de modifier notablement le courant de surface.

. Les mesures de fond étant réalisées à 1.5 m du fond en général, il serait



b) SCHEMAS DE MOUILLAGES

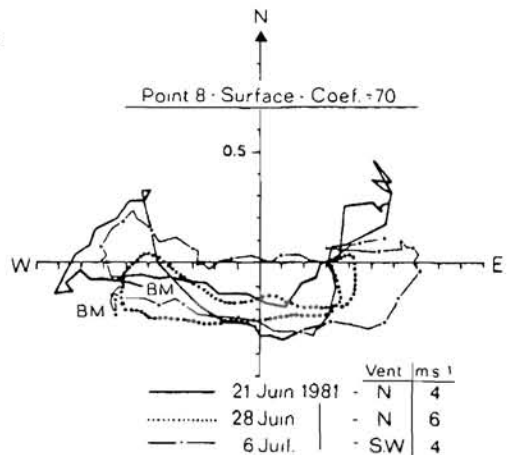


Fig. 2. Hodographe de vitesses au pt. 8

nécessaire de les corriger d'un facteur voisin de 1,4 avant toute comparaison avec les mesures de mi-profondeur ou de surface, si l'on suppose que le profil de vitesse suit une loi logarithmique classique avec longueur de rugosité de 1cm.

### 3. LE COURANT DE MAREE

Compte tenu de l'ouverture de la baie de Seine sur la Manche, l'onde de marée constitue un phénomène majeur et est marquée par une déformation progressive de l'Ouest vers l'Est engendrée par la topographie locale.

#### 3.1. Vue synoptique des courants de marée

Les hodographes des vitesses présentés sur la figure 3 ont été sélectionnés en

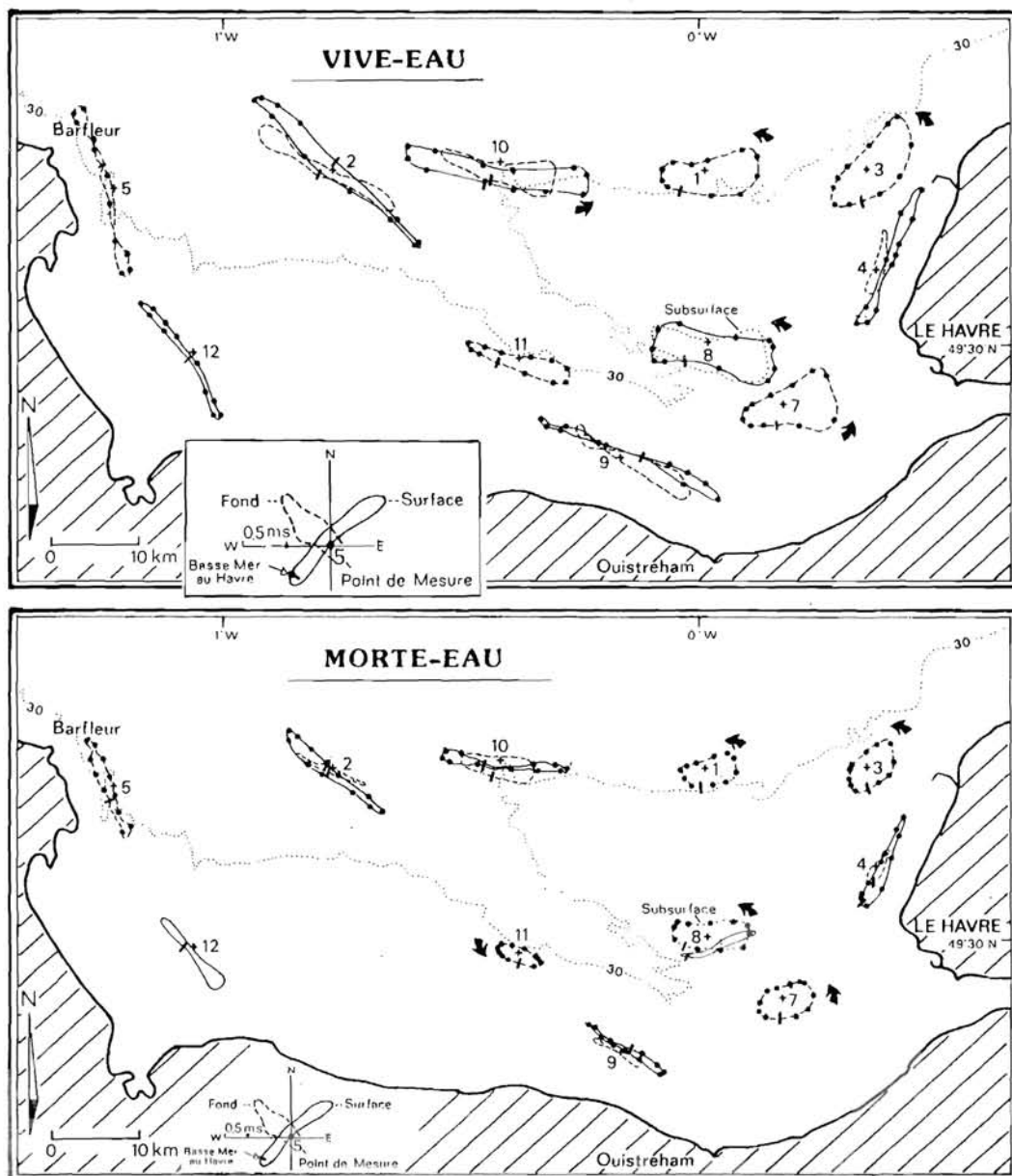


Fig. 3. Roses de courants en Baie de Seine (un point pour chaque valeur horaire).

fonction de conditions météorologiques calmes, et par conséquent illustrent le courant de marée pour une morte-eau moyenne (coef. 45) et une vive eau moyenne (coef. 95). On observe des courants alternatifs à l'Ouest, d'amplitude  $1,4 \text{ m.s}^{-1}$  en vive eau, qui diminuent légèrement lorsque l'on approche le côté Est (de l'ordre de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ ). Simultanément, une dissymétrie entre le flot et le jusant apparaît et s'amplifie pour atteindre un rapport 1,3 devant l'estuaire de la Seine ; corrélativement le flot dure alors moins longtemps. De plus, le courant devient giratoire, en particulier durant le flot (Ce phénomène est dû au voisinage de l'estuaire de la Seine : en début de flot les courants convergent vers l'embouchure de la rivière pour remplir l'estuaire ; par la suite le courant est dévié vers le nord-est (courant de Verhaule) jusqu'à la fin du flot). En morte-eau les ellipses de courant sont similaires avec des vitesses environ deux fois plus faibles.

Les excursions des particules d'eau au cours d'une marée, déduites de ces mesures sont de l'ordre de 16 km au Nord de la baie (pt. 10) et diminuent vers le Sud-Est (11 km au pt. 8).

3.2. Prédiction des courants de marée

La durée relativement longue des enregistrements de courant a permis d'en faire une analyse harmonique afin d'évaluer les amplitudes et phases des différentes composantes de marée. Une méthode d'analyse comportant des replis d'ondes secondaires sur des ondes porteuses de fréquences voisines a été spécialement mise au point pour des enregistrements de 30 jours minimum (Bertherat, Carcel et le Provost, 1981). Il devient alors possible de prédire le courant de marée avec une bonne précision, comme le montre la figure 4.

COURANT AU Pt. 4 FOND  
COMPOSANTE NORD-SUD

*La reconstitution est établie à partir de constantes harmoniques déterminées à l'aide d'un enregistrement du mois précédent portant sur 29 j.*

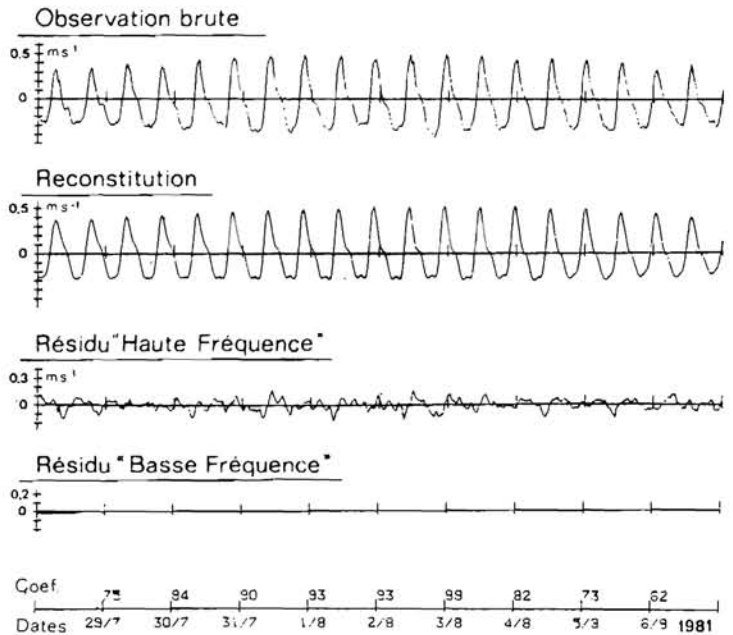


Fig. 4 : Comparaison entre courant prédit et courant mesuré (d'après LE PROVOST et RABATEL, 1981)

#### 4. VITESSES RESIDUELLES

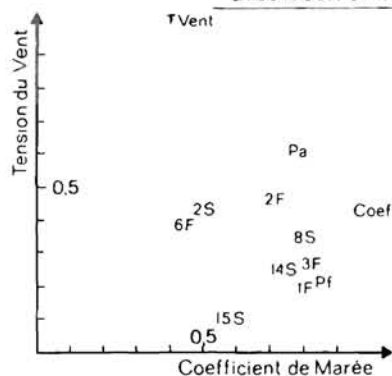
La notion de circulation résiduelle est précisée dans un autre article du présent recueil. En ce qui concerne les mesures de courant eulériennes, on s'intéresse aux vitesses résultant d'un filtrage des fréquences inférieures à 1 jour. Pour cela les enregistrements de courant ont été lissés à l'aide d'un filtre numérique mis au point par Demerliac (1973) pour la détermination du niveau moyen : il est spécialement conçu pour éliminer les composantes de marée jusqu'aux périodes diurnes.

##### 4.1. Analyse en composantes principales (A.C.P.)

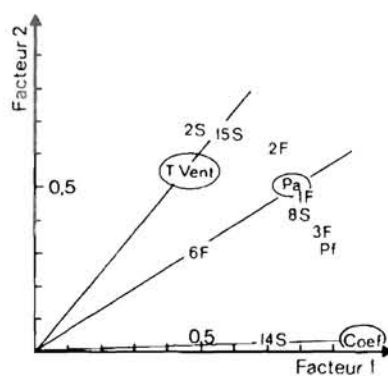
Pour essayer de dégager certaines tendances des courants résiduels un certain nombre d'A.C.P. complexes ont été réalisées. Les données sont réparties selon une matrice variable/stations où les variables sont des vecteurs représentant les courants résiduels (i.e. filtrés), la météorologie (vent et pression atmosphérique) et la marée (par le coefficient) et où les stations sont des instants de mesure. La technique consiste à calculer la matrice hermitienne des corrélations empiriques entre les variables vectorielles ( $A_{ij} = \sum u_i^* u_j / (\sqrt{\sum u_i^* u_i} \cdot \sqrt{\sum u_j^* u_j})$ ), les sommes étant effectuées sur toutes les stations), à la diagonaliser pour en extraire des vecteurs propres rangés par valeurs propres décroissantes et à calculer les coordonnées des variables sur les axes factoriels définis par ces vecteurs propres. Ce calcul a été réalisé à l'aide d'un programme d'analyse multispectrale (Laurec, 1979).

La figure 5 présente un exemple de résultats obtenus pour une série de variables assez nombreuses mais malheureusement trop courtes pour que les interprétations

a) Modules des Coefficients de Corrélation avec Coeff et T.Vent



b) A.C.P. Modules des Saturations complexes



c)

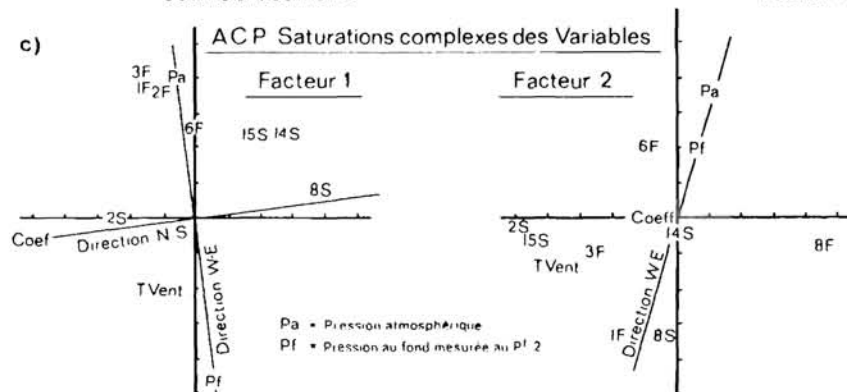


Fig. 5 : Analyse de corrélation - mesures du 24-6 au 3-7-1979

qui suivent puissent être "garanties" (le filtrage réduit l'échantillonnage à 1 jour environ).

On observe dans le plan factoriel 1-2, (Fig. 5b), un étalement des variables entre les paramètres coefficient de marée-pression atmosphérique-tension du vent. Pourtant il n'y a aucune structure évidente des corrélations entre ces variables et le coefficient ou le vent (fig. 5a) sans doute parce que le vent et la marée ne sont pas indépendants (pour la série considérée). Au contraire l'A.C.P. montre que le courant de surface aux points 2 et 15 sont "près" du vent qui est naturel - alors que le point 14 suit mieux le coefficient de marée. Le courant de fond en 2 semble quant à lui "influencé" par le vent et la pression près du fond, elle même corrélée au coefficient de marée. Ce sont là des manifestations de phénomènes résiduels induits par la marée qui sont décrits plus loin. Pour d'autres séries, l'A.C.P. indique aussi un effet de la marée sur le courant au point 10.

L'examen des projections des variables (saturations) sur les axes factoriels (avec parties réelle et imaginaire) est intéressant car il indique les angles formés par les variations des vecteurs-variables relativement à un facteur donné. L'orientation des axes de représentation de ces saturations complexes, quelconque a priori, a pu être déterminée grâce à l'orientation arbitraire des variables scalaires selon des directions géographiques privilégiées : ainsi le coefficient de marée a été choisi comme une variable orientée Est-Ouest tandis que la pression atmosphérique était "dirigée" Nord-Sud. On voit alors qu'en ce qui concerne le courant résiduel au point 8 surface, les variations relatives à l'axe 1, caractéristique de la marée puisque le module de la saturation du coefficient est grand, sont dirigées Nord-Sud tandis que les variations relatives à l'axe 2, caractéristique de la météorologie, sont orientées Est-Ouest. La remarque inverse pourrait être faite pour le courant de fond au point 2.

Les A.C.P. permettent donc de mettre en évidence les influences de certains phénomènes sur la circulation résiduelle et d'orienter ces influences. De plus elles permettent parfois de sectoriser le champ des variables (mais dans le cas ci-dessus, la séparation entre points situés à l'Est ou à l'Ouest de la baie, que l'on peut observer sur le plan factoriel (1,2), semble fortuite).

#### 4.2. Description schématique de la circulation résiduelle

La figure 6 présente une carte des vitesses résiduelles moyennes pour l'ensemble des mesures. On note des différences souvent importantes entre les valeurs au fond et en surface : il s'agit alors d'effets résiduels induits par le vent ou les gradients de densité. On peut découper la baie de Seine en deux moitiés au fonctionnement bien individualisé :

##### a) la baie de Seine Occidentale

Les vitesses de surface et de fond n'y sont pas très différentes. Tous les enregistrements mettent en évidence un tourbillon anticyclonique centré au Nord/Nord-Ouest du point de mesure n° 2. La nature de ce tourbillon sera précisée au § 4-3.

##### b) La baie de Seine Orientale

Marquée par l'estuaire de la Seine, cette région a une structure hydrologique plus complexe : les gradients horizontaux de densité y sont importants et entraînent un courant inversé en surface et en profondeur, dirigé au fond vers les zones moins denses (Salomon, 1985 ; Le Hir et al, 1985). Compte tenu de la disposition concentrique des isopycnes en baie de Seine orientale, les courants de densité doivent donc avoir une allure convergente au fond et divergente en surface. Cette configuration, que l'on peut rapprocher d'une situation estuarienne, est confirmée par les mesures au fond (cf. figure 3). Les vitesses sont comprises entre 2 et 5 cm/s, sauf au point 7, où elles atteignent 7 cm/s (cf. fig. 8b) : c'est le point le plus près de l'estuaire où les gradients sont plus élevés ;



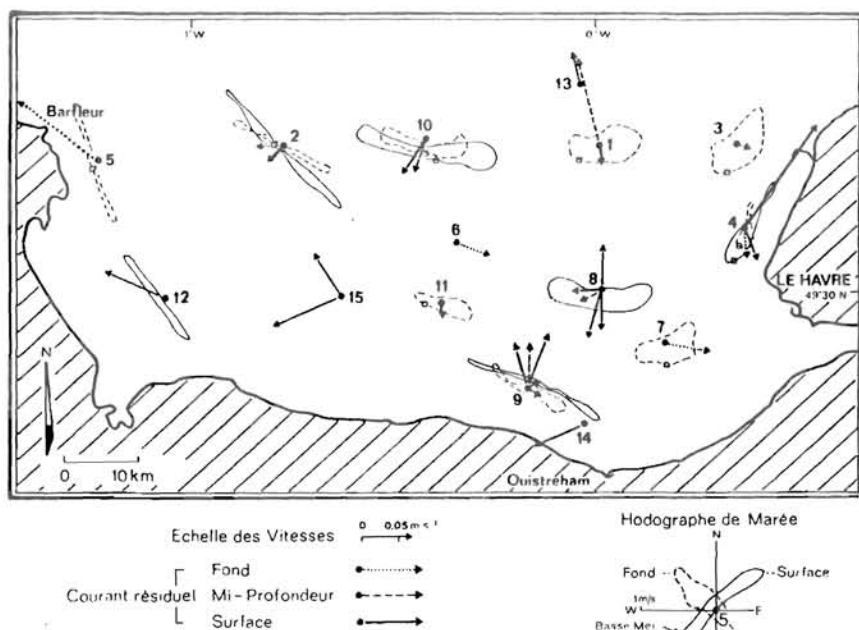


Fig. 6 : Courants moyens mesurés en Baie de Seine.

c'est aussi la seule mesure d'hiver où le débit fluvial est plus grand. En surface la situation est moins claire : le vent y est plus sensible qu'en baie de Seine occidentale en raison de l'exposition du secteur aux vents dominants, mais aussi des accélérations locales dues à la topographie du fond (Le Hir et al, 1985).

#### 4.3. Le tourbillon résiduel de Barfleur

En raison de la quasi stationnarité du champ de courant en baie de Seine occidentales vitesses résiduelles de marée en morte-eau et en vive-eau ont pu être déterminées. La figure 7 met en évidence un tourbillon résiduel de marée lié à la presqu'île du Cotentin qui se présente comme un épi perpendiculaire à la circulation alternative de la marée en Manche. De tels tourbillons ont souvent été observés (Zimmerman, 1981) : ils proviennent d'un excès de vorticité créé par le frottement latéral pendant la période de flot où le secteur considéré est à l'abri. Selon la figure 7, le tourbillon serait centré au nord du point 2 : son rayon serait environ 30 km et la vorticité de l'ordre de  $0,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  en vive eau. En morte-eau, le tourbillon semble plus grand avec une vorticité beaucoup plus faible. Ce tourbillon résiduel de marée est comparable à celui de la presqu'île de Portland, en Manche lui aussi (Pingree, 1978).

#### 4.4. Effet du vent

Un examen rapide des évolutions simultanées du vent et du courant résiduel fait ressortir d'importantes variations de courant

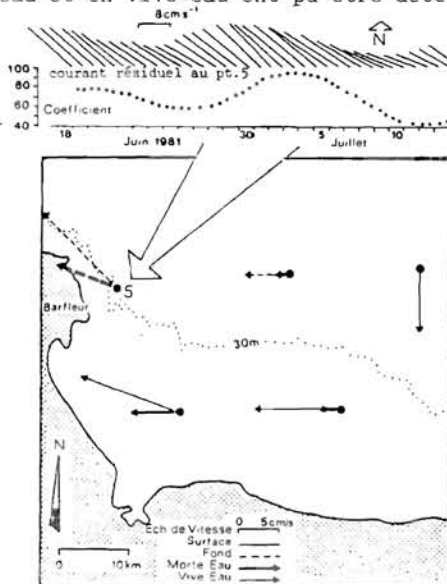


Fig 7 Tourbillon résiduel à Barfleur

induites par le vent, souvent bien supérieures aux résiduelles moyennes, même au fond (cf. Figure 8 ; Le Hir et l'Yavanc, 1984). Cependant, chaque vitesse résiduelle "instantanée" dépend non seulement de l'"histoire" du vent dans la baie, dont les effets sont principalement non linéaires, mais aussi, par les conditions à la limite, de la réponse du système Manche/mer du Nord au "forcing" météorologique. Il est donc impossible d'identifier une simple relation vent-courant à partir de mesures ponctuelles : ces dernières permettent surtout une vérification et une quantification de quelques configurations mises en évidence par modèles numériques (Le Hir et al, 1985).

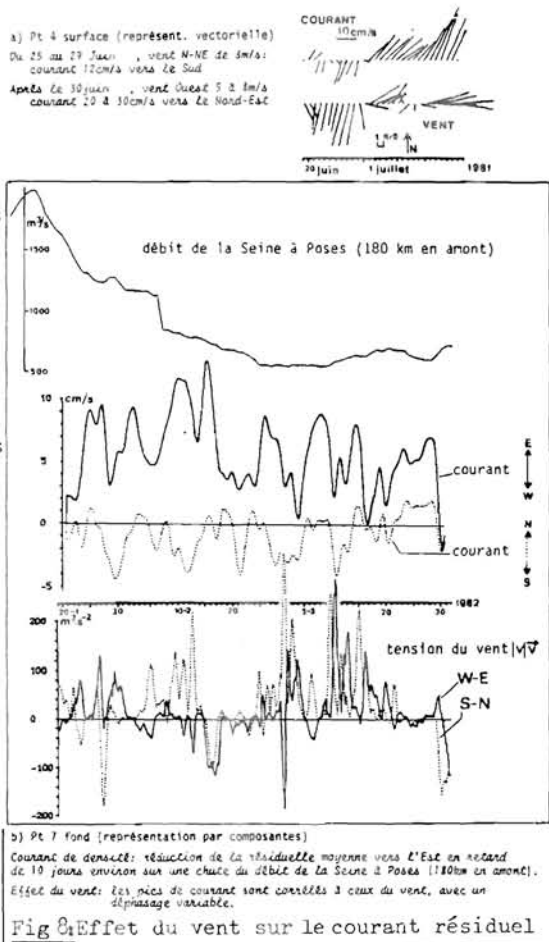
### 5. CONCLUSION

Les mesures de courant de longue durée ont fait progresser la connaissance de la courantologie en baie de Seine sur les points suivants :

- identification des vitesses près du fond en des secteurs clé pour la sédimentologie,
- mise en évidence ou confirmation de processus résiduels et des courants induits (en distinguant la surface et le fond) : tourbillons résiduels de marée, courants de densité, effets météorologiques.

Mais les informations recueillies sont souvent trop éparpillées pour fournir une vision synthétique de la courantologie, surtout en termes de résiduelle. Les modèles mathématiques sont un complément indispensable pour la compréhension des phénomènes. En particulier, pour traiter le problème du devenir des masses d'eau, il est nécessaire de connaître les trajectoires et d'estimer la circulation résiduelle lagrangienne, ce qu'on ne peut faire à partir d'observations en points fixes.

Par ailleurs, les mesures ont donné lieu à l'élaboration et la validation d'une méthode d'analyse harmonique permettant de prédire correctement le courant de marée. Enfin une méthode d'analyse en composantes principales de variables vectorielles a été mise au point et appliquée aux courants en zone littorale pour mettre en évidence l'influence de la marée et des paramètres météorologiques.



Bertherat L., Carcel R. & Le Provost C. (1981.- Analyse de courants et de niveaux en Baie de Seine (campagne 1979). Rapport Inst. Mécanique Grenoble. B.P. 68. 38402 St-Martin d'Hères.

Demerliac (1973).- Calcul du niveau moyen journalier de la mer. Rapport du Service hydrographique de la Marine.

Laurec A. (1979).- Analyse des données et modèles prévisionnels en écologie marine. Thèse Doct. Etat, Univ. Aix-Marseille II, 405 p.



- Le Hir P. & L'Yavanc J. (1984).- Etude des circulations moyennes en Baie de Seine à partir de mesures de longue durée. Société Hydrotechnique de France. Compte rendu XVIIe Journées de l'Hydraulique. Marseille Sept. 84.
- Le Hir P., Salomon J.C., Le Provost C., Chabert d'Hières G. & Mauvais J.L. (1985).- Approche de la circulation résiduelle en Baie de Seine. Ce volume, N°6.
- Le Provost C. & Rabatel A. (1984).- Analyse des courants en Baie de Seine (Campagne 1981). Rapport Inst. Mécanique Grenoble. B.P. 68 - 38402 St-Martin d'Hères.
- L'Yavanc J. & Kerdreux M. (1983).- Réalisation de mouillages côtiers pour mesures de courant. Rapport CNEXO - ELGMM.
- Pingree R.D. (1978).- The formation of the shambles and other banks by tidal stirring of the seas. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 58, 211-226.
- Salomon J.C. (1985).- Courantologie calculée en Baie de Seine. Ce volume, N° 2.
- S.H.O.M. (1974).- Courants de marée et hauteurs d'eau de Fécamp à Cherbourg. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Doc. n° 556.
- Zimmerman (1981).- Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies. Nature. Vol. 290, 16 april 1981.

Note - Les données météorologiques utilisées pour la comparaison entre vent et courant ont été aimablement fournies par le Service de Climatologie Marine de la Direction de la Météorologie.