



INSTITUT DE GÉOLOGIE DU BASSIN D'AQUITAINE

CONTRAT CNEXO - IGBA N° 83/2891

ÉTUDE SUR LA COURANTOLOGIE DE DÉRIVE
ESTUAIRES - PLATEAU

Université de Bordeaux I
351, Cours de la Libération - 33405 Talence
Téléphone : (56) / 80.60.50 - 80.61.09



INSTITUT DE GÉOLOGIE DU BASSIN D'AQUITAINE

CONTRAT CNEXO - IGBA N° 83/2891

ÉTUDE SUR LA COURANTOLOGIE DE DÉRIVE
ESTUAIRES - PLATEAU

Université de Bordeaux I
351, Cours de la Libération - 33405 Talence
Téléphone : (56)/80.60.50 - 80.61.09

CONTRAT CNEXO - IGBA N° 83/2891

ÉTUDE SUR LA COURANTOLOGIE DE DÉRIVE
ESTUAIRES - PLATEAU

Par Patrice CASTAING, Jean-Marie FROIDEFOND et Jean-Pierre JAI

Juillet 1984

SOMMAIRE

RESUME

I	- OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	1
II	- CALENDRIER DES OPERATIONS.....	3
III	- LES BOUEES DERIVANTES ET LE SYSTEME DE POSITIONNEMENT ARGOS.	4
	1. La bouée SUBER BDS 82 et l'ancre flottante.....	4
	2. Le système de positionnement ARGOS.....	5
IV	- COURANTOLOGIE DE DERIVE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL DU GOLFE DE GASCOGNE.....	7
	1. Courantologie de dérive sur le plateau continental aquitain.....	7
	2. Courantologie de dérive à l'embouchure de la Gironde.....	15
	3. Remarques générales sur les vitesses et les directions de déplacement des masses d'eau du plateau continental du Golfe de Gascogne.....	18
	4. Comparaison des mesures de courantologie en nature et des prédictions par modèles mathématiques.....	29
V	- CONCLUSIONS.....	32
	1. Compatibilité du système ARGOS - bouée dérivante avec les impératifs de la courantologie en zone côtière.....	32
	2. Résultats courantologiques sur le plateau continental du Golfe de Gascogne.....	34

REMERCIEMENTS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RESUME

Ce rapport porte sur l'étude des modalités du passage des suspensions des estuaires aux océans.

Les masses d'eau sont tracées au moyen de bouées légères munies d'une ancre flottante et d'une balise ARGOS permettant le positionnement par satellite.

* Deux campagnes de courantologie de dérive ont été menées sur le plateau continental du Golfe de Gascogne.

. Lors de la première campagne (Février-Mai 1983), deux bouées ont été lâchées, l'une au centre du plateau nord-aquitain sur les fonds de 100 m, l'autre près du talus continental. Les eaux superficielles du plateau se déplacent sous l'action conjuguée de la marée et du vent. Les vitesses et les directions de déplacement fluctuent rapidement dans l'espace et le temps.

A cette période de l'année (fin d'hiver et printemps), on n'a pas observé de mouvements résiduels des eaux superficielles vers les abysses. Les déplacements des masses d'eaux sont importants, mais s'effectuent autour d'une zone restreinte où elles sont ramenées systématiquement après plusieurs jours de dérive. Il semble donc qu'à cette saison, les transferts de suspensions aux abysses à partir du plateau continental ne s'effectuent pas dans la couche d'eau supérieure. Les suspensions issues du continent sont bloquées sur le plateau continental.

. La seconde campagne a été effectuée en Septembre-Octobre 1983 dans la zone côtière entre la Gironde et la Loire. Une des deux bouées lâchées à l'embouchure de la Gironde est parvenue à l'embouchure de la Loire 9 jours plus tard, ce qui représente une vitesse de déplacement des masses d'eau de 20 à 40 cm/s vers le Nord. Les eaux superficielles longent la côte sur les fonds de 30 à 40 m comme si elles étaient canalisées entre ces isobathes.

* Les résultats de la première campagne de courantologie ont été comparés aux prédictions de deux modèles numériques du plateau. Les prédictions des modèles divergent assez largement des trajectoires observées.

I - OBJECTIFS DE L'ETUDE.

Ce rapport constitue la conclusion des études engagées au titre du contrat CNEXO-IGBA n° 83/2891 et fait suite au contrat CNEXO-IGBA n° 82/6841.

Sur un plan général, l'objectif était d'étudier les modalités du passage des suspensions des estuaires aux plateaux, puis aux abysses au moyen de bouées dérivantes positionnées par satellites (système ARGOS) et servant de traceurs.

Plus précisément dans le Golfe de Gascogne, il s'agissait :

- de mettre en évidence les circuits de distribution des suspensions à partir des embouchures de la Gironde et de la Loire ;
- de déterminer les temps moyens de transit des suspensions du continent aux abysses.

Dans le premier contrat (n° 82/6841), on s'est attaché à mettre au point une méthode fiable d'étude des courants de dérive. Après avoir testé plusieurs modèles de drogues et effectué des essais de précision du système de positionnement ARGOS, on a procédé au lacher de deux bouées dérivantes.

Aux termes du second contrat (n° 83/2891), les opérations suivantes étaient prévues :

- en Février 1983, au cours de la campagne TRANSEPLAT II à bord du NOROIT, lacher d'une bouée à l'Ouest de la Gironde sur les fonds de 100 m et d'une autre bouée en bordure du talus. Récupération en fin de campagne à la fin du mois de Mars ;
- à la fin du mois de Mars, nouveau lacher des deux bouées à l'embouchure de la Gironde, une à l'entrée de la passe Sud, l'autre à l'entrée de la passe Ouest ;

- en Septembre/Octobre 1983, lacher simultané des deux bouées, une à l'embouchure de la Gironde, l'autre à l'embouchure de la Loire.

Ce programme a pu être suivi dans ses grandes lignes, malgré quelques modifications décrites dans le cours du rapport.

II - CALENDRIER DES OPERATIONS.

Le présent contrat a été conclu pour une durée de douze mois à compter du 1er Mai 1983. Il est venu à expiration le 30 Avril 1984.

- Février 1983 : lacher des deux bouées sur le plateau continental nord-aquitain au cours de la campagne TRANSEPLAT II et suivi pendant trois mois.

- Mai 1983 : récupération des deux bouées sur la côte vendéenne et sur l'île d'Oléron.

- Septembre 1983 : lacher des deux bouées à l'embouchure de la Gironde.

- Octobre 1983 : récupération des deux bouées, l'une à l'embouchure de la Loire, l'autre en Vendée.

III - LES BOUEES DERIVANTES ET LE SYSTEME DE POSITIONNEMENT ARGOS.

Ces différents appareillages ainsi que les performances que l'on peut en attendre ont été décrits en détail dans le précédent rapport (CASTAING, JAI, 1983).

Nous rappellerons seulement les caractéristiques essentielles de la bouée SUBER et de la balise ARGOS.

1. La bouée SUBER BDS 82 et l'ancre flottante (fig. 1)

Le choix de la bouée a été dicté par quatre critères :

- la prise au vent minimum,
- l'autonomie de plusieurs mois, quant à l'énergie électrique,
- la maniabilité maximum,
- le coût.

La bouée SUBER est construite en stratifié épais. Sa forme sphérique (72 cm de diamètre) offre une faible prise au vent. Elle est prolongée par une quille de 22 cm de diamètre et 95 cm de longueur. Son poids total (65 kg) et ses dimensions hors tout (170 cm) en font un engin parfaitement maniable en mer, même sur un petit bateau.

L'émetteur ARGOS et son antenne circulaire se trouvent dans la partie sphérique de la bouée. L'alimentation électrique de l'ensemble est assurée par 7 blocs de 23 piles alcalines de 1,5 V. Cinq blocs assurent l'autonomie de la balise ARGOS pendant cinq mois ; deux blocs, ceux de la balise radiogoniométrique O.A.R. de 27 MHz destinés à faciliter la récupération de l'ensemble.

L'ancre flottante est constituée essentiellement d'une bache plastifiée de 2 x 3 m, ourlée et munie d'oeillets permettant le transfilage de la bache sur deux tubes supports en acier galvanisé. Le lest en plomb est calculé de façon à tendre parfaitement la drogue et à s'affranchir de l'effet de trainée.

Les essais ont montré que l'ancre flottante s'orientait toujours perpendiculairement au courant, prouvant ainsi la parfaite adaptation de la bouée droguée aux études de courantologie de dérive.

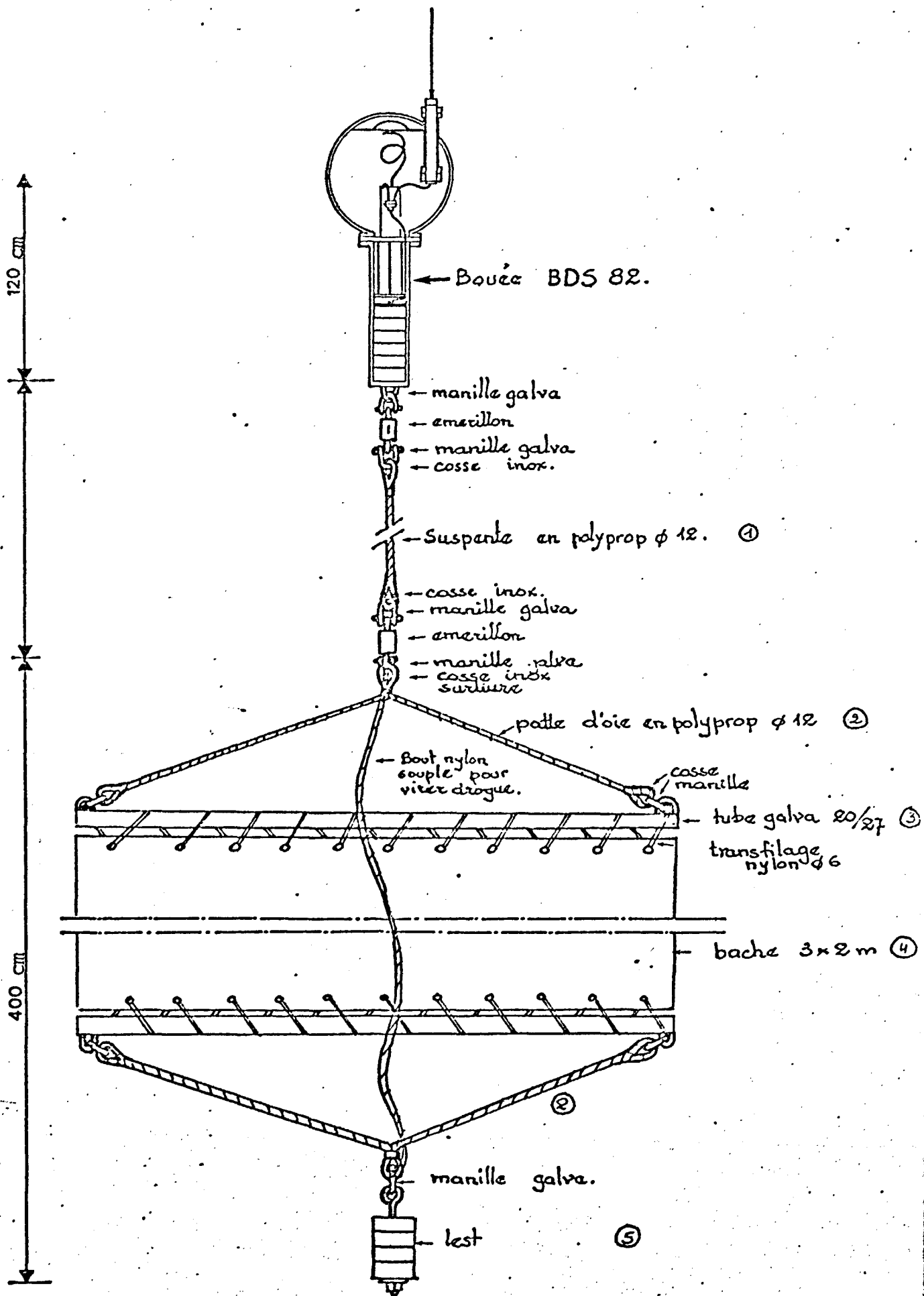


Fig. 1 - Schéma de montage de l'ancre flottante équipant la bouée SUBER BDS 82.

2. Le système de positionnement ARGOS.

Le système de localisation et de collecte de données ARGOS permet de localiser des plates-formes fixes ou mobiles et de collecter sur toute la surface du globe, les informations qu'elles émettent.

Les équipements sont embarqués à bord des satellites NOAA lancés de façon à en maintenir deux simultanément en fonctionnement.

Chaque bouée est équipée d'une électronique de transmission de faible prix (9 000-15 000 FF), permettant d'assurer la liaison vers les satellites. Toutes les balises émettent à la fréquence de 401,650 MHz à intervalles réguliers, toutes les 40 à 60 s. pour la localisation.

Pour chaque plate-forme, la localisation est faite uniquement à partir des mesures de l'effet Doppler sur la fréquence porteuse des messages reçus.

On a procédé à une étude expérimentale à terre de la précision du positionnement. La position géographique de la balise étant exactement connue, on a relevé les positions satellites pendant un peu moins de trois jours. La dispersion des positions ARGOS par rapport à la position réelle de la balise est représentée figure 2.

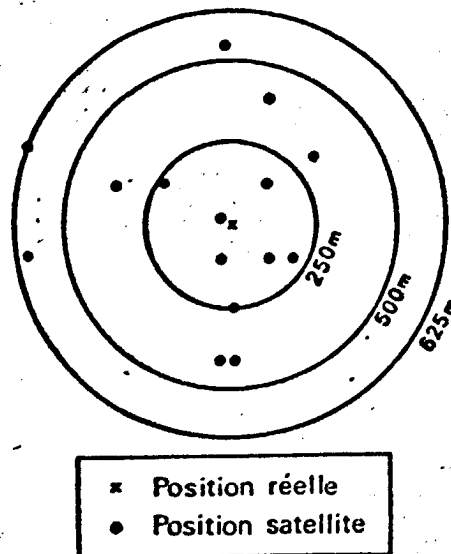


Fig. 2 - Etude expérimentale de la précision du positionnement ARGOS.

En résumé,

- la valeur du positionnement n'est pas influencée par le moment où le point est déterminé (pas d'influence du jour ou de la nuit) ;
- le rayon d'incertitude maximum est de 625 m (un point), le rayon d'incertitude minimum de 25 m (un point) ;
- 50 % des positions ARGOS sont à moins de 250 m de la position réelle ;
- 85 % des positions ARGOS sont à moins de 500 m de la position vraie.

Nous en avons déduit que la précision du positionnement ARGOS est très bonne et largement suffisante pour effectuer des mesures de courantologie de dérive, même lorsque les déplacements sont limités dans l'espace.

IV - COURANTOLOGIE DE DERIVE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL DU GOLFE DE GASCOGNE.

Les essais mis à part (Septembre-Octobre 1982), deux campagnes de courantologie ont été entreprises sur le plateau continental. La première a intéressé le plateau aquitain de Février à Mai 1983 ; la seconde a débuté à l'embouchure de la Gironde en Septembre de la même année.

1. Courantologie de dérive sur le plateau continental aquitain.

1.1. Déroulement des opérations.

Nous avons saisi l'opportunité de la campagne océanographique TRANSEPLAT II à bord du NOROIT pour lâcher deux bouées munies d'ancres flottantes fixées à faible profondeur pour suivre les courants vers -10 m (sommet de l'ancre à -9 m, base à -12 m). L'avantage essentiel est qu'en plaçant les drogues à faible profondeur, on peut suivre les courants sur tout le plateau à partir des petits fonds de l'embouchure des fleuves. Les bouées ont été lâchées dans des zones différentes afin d'étudier la structure horizontale des courants sur une vaste aire géographique.

La première bouée (n° 4108) a été lâchée le 24 Février 1983 à 7 h 45 T.U. par 45°30' N et 2°15' W ; la seconde (n° 4109) le même jour à 14 h 15 T.U. par 45°08' N et 2°43'W. La bouée n° 4108 se trouvait donc au centre du plateau aquitain sur des fonds de 100 m et la bouée n° 4109 a été placée en bordure du talus continental sur des fonds de 150 m (fig. 3).

Le suivi en temps réel par télex à partir du bateau s'étant avéré impossible, il a été effectué à partir du laboratoire de Talence (interrogation de la banque de données du CNES à Toulouse au moyen d'un terminal relié au réseau téléphonique). Nous étions tenus au courant des positions par radio tous les deux ou trois jours afin de pouvoir intervenir au moindre incident.

Au cours du mois de Mars, la bouée n° 4108 s'est déplacée vers le Nord et l'Est avant de revenir vers le 15 Avril à une position très proche du point du lâcher (fig. 3). Par la suite, à partir de la fin du mois d'Avril, elle s'est dirigée vers la côte. Après être passée à l'ouvert des Pertuis Charentais, elle est remontée vers le Nord en longeant la côte. Puis, son ancre flottante ayant été enlevée par un pêcheur, elle s'est échouée le 7 Mai à Saint-Gilles Croix-de-Vie (Vendée).

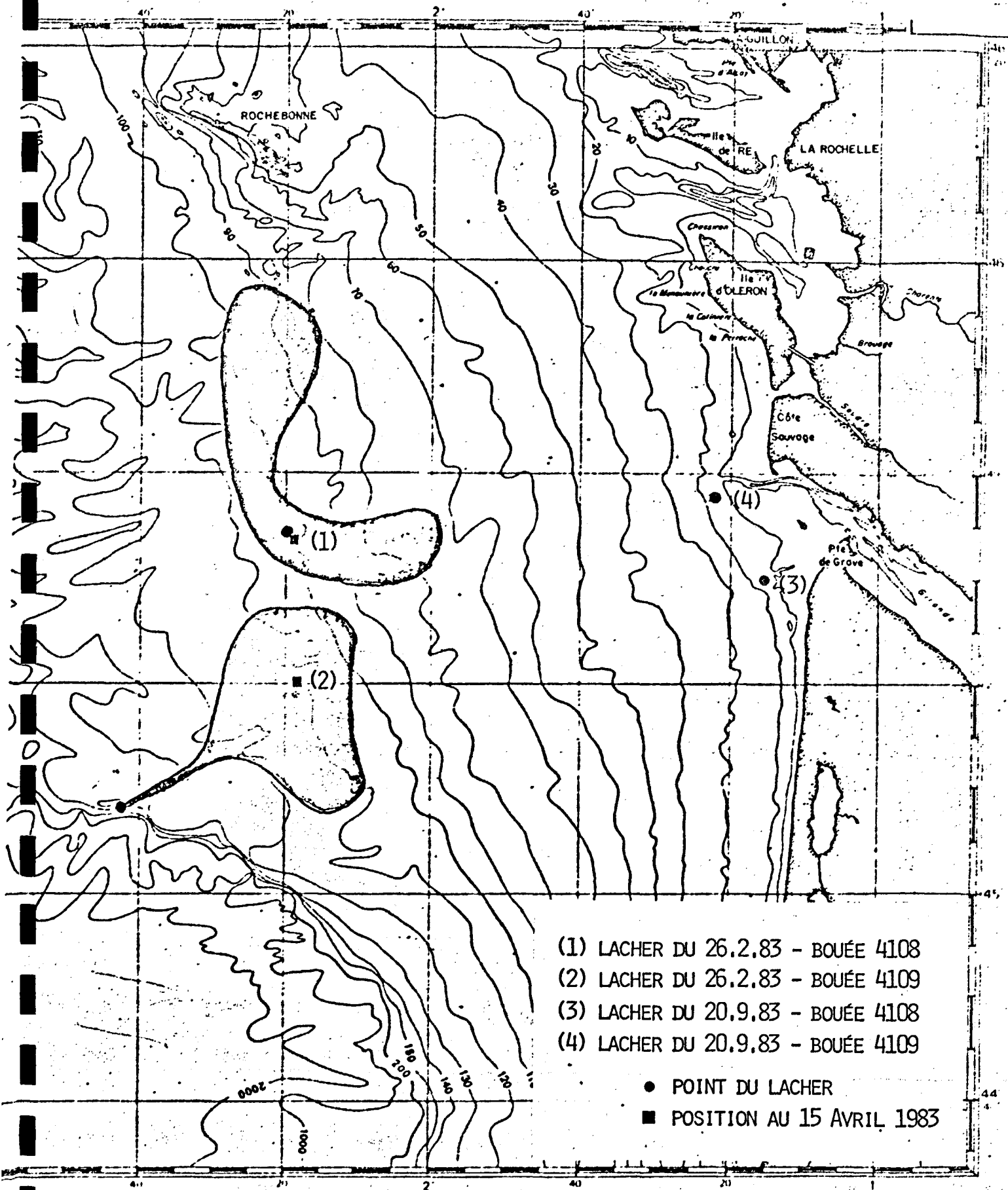


Fig. 3 - Points de lacher des bouées ARGOS et aire d'évolution des bouées jusqu'au 15 Avril 1983.

Au cours du mois de Mars, la bouée n° 4109 s'est déplacée vers le Nord-Est et le 15 Avril, elle est repérée sur les fonds de 100 m par 45°20' N et 2°18' W (fig. 3). Par la suite, elle s'est dirigée vers le haut-fond de Rochebonne près duquel elle reste plusieurs jours. Elle s'est ensuite dirigée vers l'Est jusqu'à l'ouvert du Pertuis d'Antioche et a été récupérée le 24 Mai par un pêcheur près de la Cotinière (île d'Oléron).

1.2. Conditions dynamiques au cours de la campagne.

Trois facteurs sont susceptibles d'influer sur les déplacements de la masse d'eau superficielle : les courants de marée, le vent, la houle.

a) La marée.

La marée du Golfe de Gascogne est du type semi-diurne ; sa période étant de 12 h 25 mn. CAVANIE et HYACINTHE (1976) ont établi la carte de propagation de la composante principale M2 de la marée semi-diurne dans le Golfe de Gascogne (fig. 4)

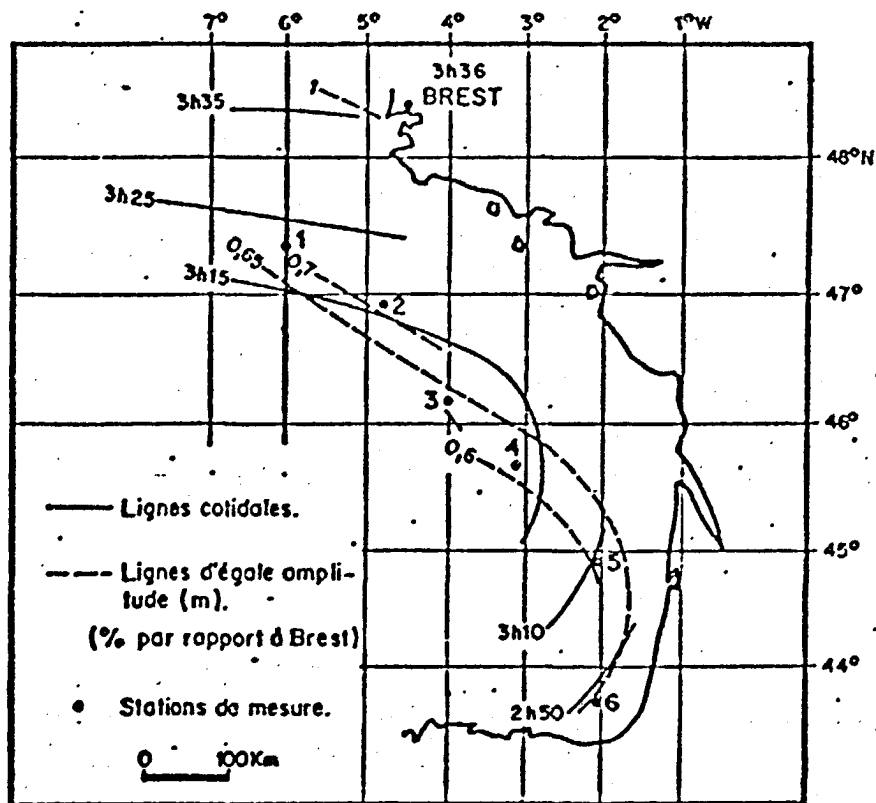


Fig. 4. - Propagation de l'onde de marée lunaire principale M2 dans le Golfe de Gascogne (d'après CAVANIE et HYACINTHE, 1976).

Les lignes cotidiales ont été fixées en partant de l'heure cotidiale 3 h 35 pour l'onde M2 à Brest. Le tracé de ces lignes fait apparaître le caractère stationnaire de l'onde M2 sur le plateau continental. Les lignes cotidiales (surtout celle de 3 h 15) ont une courbure calquée sur celle de la côte.

Les lignes d'égale amplitude donnent les valeurs constantes du pourcentage de l'amplitude de l'onde M2 par rapport à celle de Brest. Sur le plateau continental ces valeurs sont comprises entre 0,6 au Sud en bordure du plateau et 1 au Nord près de Brest.

L'onde de marée aborde la côte des Landes perpendiculairement et l'embouchure de la Gironde par l'Ouest-Sud-Ouest.

Les conditions de marée au cours de la période d'étude sont données figure 5.

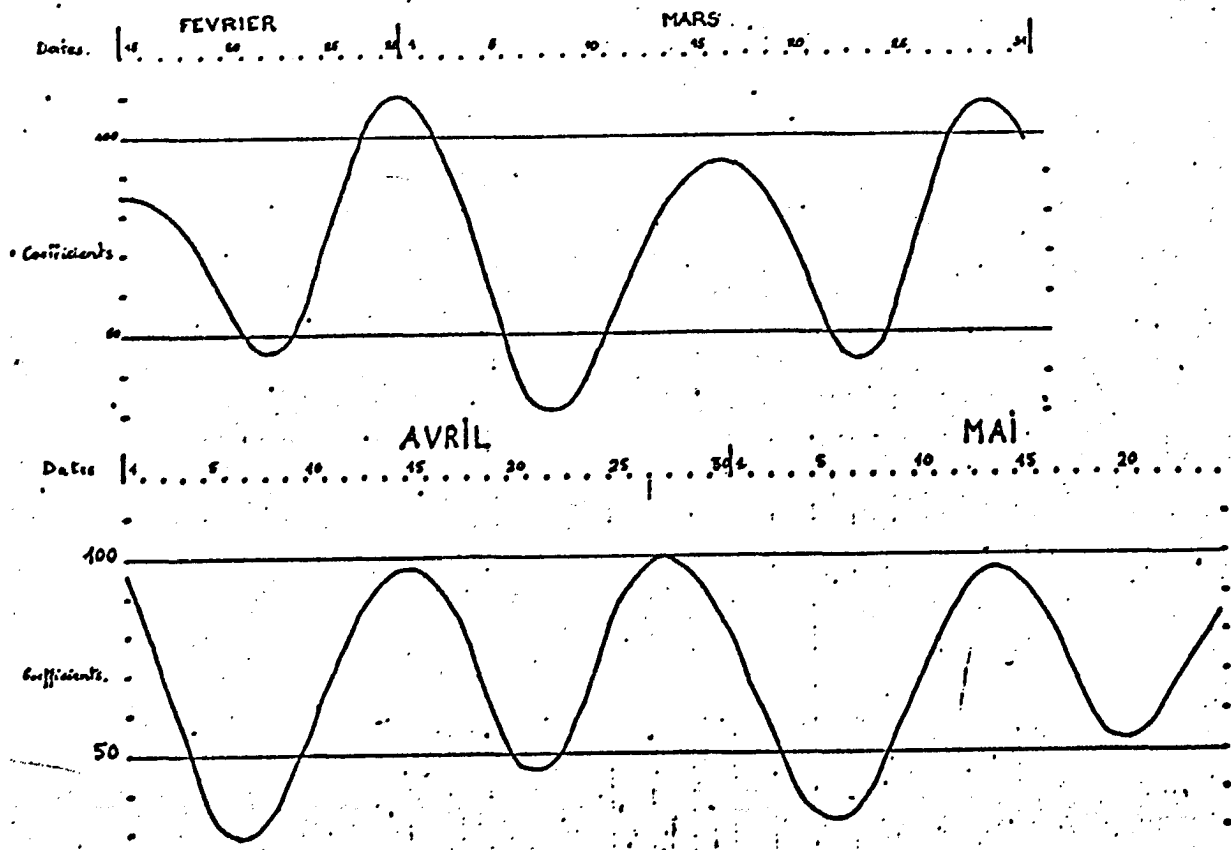


Fig. 5 - Evolution des coefficients de marée de Février à Mai 1983.

Les bouées ont été lâchées le 24 Février en période de revif d'un cycle qui a atteint le coefficient 110, le 28 Février et le 1er Mars. Les mortes-eaux suivantes ont atteint leur minimum (31) le 8 Mars. Les vives-eaux et mortes-eaux du cycle suivant sont de moindre amplitude : coef. 93 le 16 Mars et 43 le 23 Mars. On observe ensuite des grandes vives-eaux les 29 et 30 Mars (coef. 108) et le 27 Avril (coef. 100). Les grandes mortes-eaux correspondantes ont lieu les 6 et 7 Avril (coef. 29), et les 5 et 6 Mai (coef. 32-33). Les autres marées des mois d'Avril et de Mai ne présentent pas de coefficients exceptionnels.

b) Le vent (fig. 6)

Les informations concernant le vent ont été recueillies à bord du "NOROIT" et au sémaphore du Cap-Ferret à partir du 22 Mars. Les vitesses données en m/s sont une moyenne des observations journalières. Les directions sont représentées par des vecteurs orientés par rapport au Nord. Dès le début de la campagne, on enregistre un coup de vent d'Ouest, les 26 et 27 Février (force 8). Début Mars, le vent passe au Nord-Est jusqu'au 11 et souffle avec beaucoup moins de force. Ensuite, le vent s'établit progressivement au Nord-Ouest, puis à l'Ouest jusqu'au 23 Mars avec un nouveau coup de vent, plus bref, le 21 Mars (force 7-8). Ensuite, le vent monte au Nord-Ouest, puis tourne au Nord-Est avant de revenir au secteur Ouest jusqu'au 8 Avril. Les vitesses moyennes diminuent vers la fin du mois de Mars, puis augmentent jusqu'au 8 Avril.

Après une courte période de vents d'Est (14-19 Avril), les vents s'orientent définitivement au secteur Ouest avec cependant quelques périodes de vent Sud-Ouest ou de Nord-Ouest. Au cours de cette période, les vitesses moyennes ont tendance à diminuer, excepté vers le 10 Mai où on note une augmentation sensible.

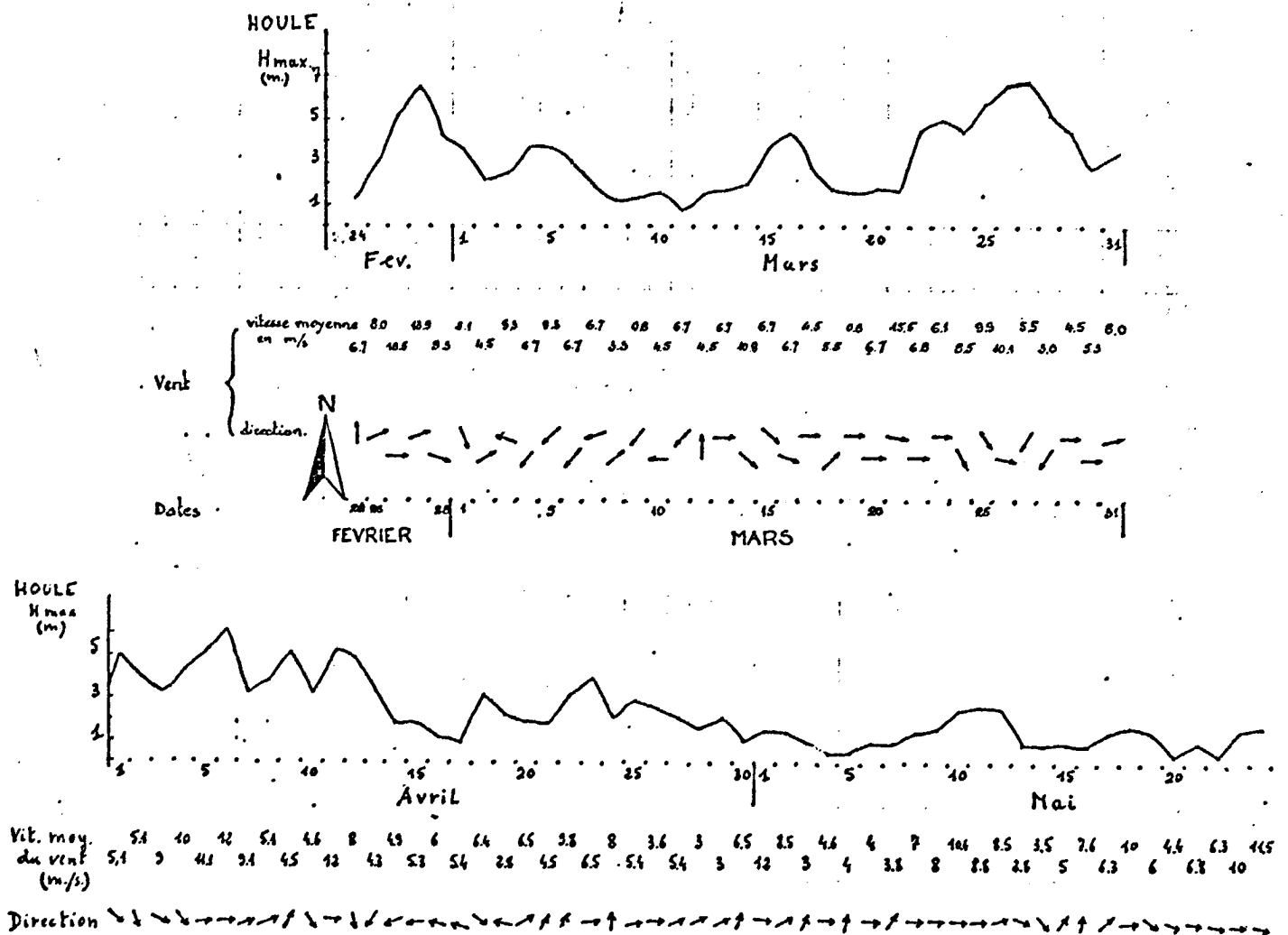


Fig. 6 - La houle et le vent dans le Golfe de Gascogne de Février à Mai 1983.

c) La houle (fig. 6)

Les données de houle proviennent du houlographe du Centre d'Essai des Landes (C.E.L.) de Biscarrosse, sauf pour le mois de Mai où l'on a utilisé les observations du sémaphore du Cap-Ferret. Le houlographe est implanté à quelques kilomètres des côtes sur des fonds de 30 m. Le houlogramme des amplitudes maximales (H max.) suit assez fidèlement les variations des vitesses moyennes du vent. On trouve des fortes houles à la fin du mois de Février (H max. = 6,5 m), à partir du 22 Mars jusqu'au 29 Mars (H max. supérieur à 4,5 m

et jusqu'à 6,80 m) et dans la première quinzaine du mois d'Avril (H max. supérieur à 5 m). A partir du 15 Avril, l'amplitude des houles décroît et au mois de Mai, H max. ne dépasse jamais 3 m.

La bonne corrélation vent/houle est attestée par plusieurs observations. Ainsi par exemple, une petite période d'amplitude assez forte se situe les 15 et 16 Mars faisant suite au passage des vents de l'Ouest au Nord-Ouest dans la journée du 14. Vers la fin du mois de Mars, à la suite de vents violents le 21, on note dès le 22 une très forte augmentation de l'amplitude de la houle. Les vents violents de Nord-Ouest et d'Ouest du 3 au 6 Avril lèvent une houle forte (H max. = 6,10 m le 6 Avril).

En résumé, au cours de cette première campagne de courantologie, les bouées dérivantes ont été soumises à des conditions dynamiques assez dures, habituelles dans le Golfe de Gascogne en période hivernale.

1.3. Trajectoires des bouées dérivantes ARGOS.

Les trajectoires des bouées 4108 et 4109 ont été tracées à l'aide d'une table BENSON 132. Les positions des bouées fournies par le service ARGOS sous forme de listings sont exprimées en degrés et millièmes. Elles sont introduites sous cette forme dans l'unité de traitement DIGITAL Pdp11. Les trajectoires obtenues sont données sur les figures 7 et 9 pour la période du 24 Février au 15 Avril et sur la figure 8 à partir de cette dernière date. Sur les figures, les dates sont exprimées en jours calendaires.

a) Bouée dérivante n° 4108.

Cette bouée a été lâchée le 24 Février 1983 au Centre du plateau par 45°30' N et 2°15' W. Les figures 7 et 8 reproduisent les déplacements de la bouée à partir de cette date (jour calendaire 55) jusqu'au 15 Avril (jour calendaire 105) d'une part, et jusqu'au 6 Mai (jour calendaire 126) d'autre part. Dans un souci de clarté, on n'a reporté sur les figures que les positions correspondant aux pleines-mers (PM) par rapport au marégraphe de Cordouan situé à l'embouchure de la Gironde.

BOUEE 4108 POSITION AUX P.M. CORDOUAN

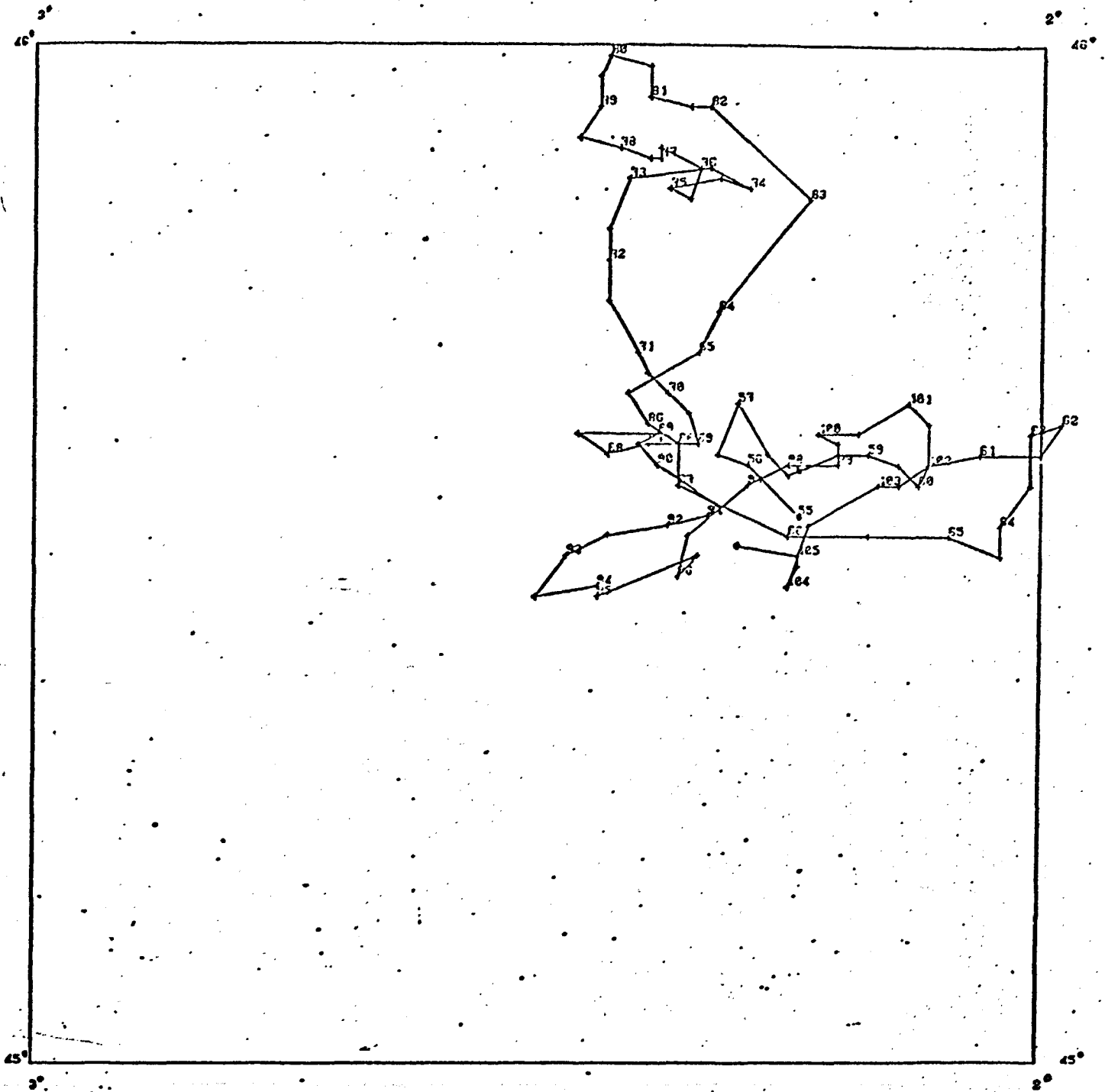


Fig. 7 - Trajectoire de la bouée 4108 sur le plateau continental du 24.2. au 15.4.83. Positions près des pleines mers par rapport à Cordouan.

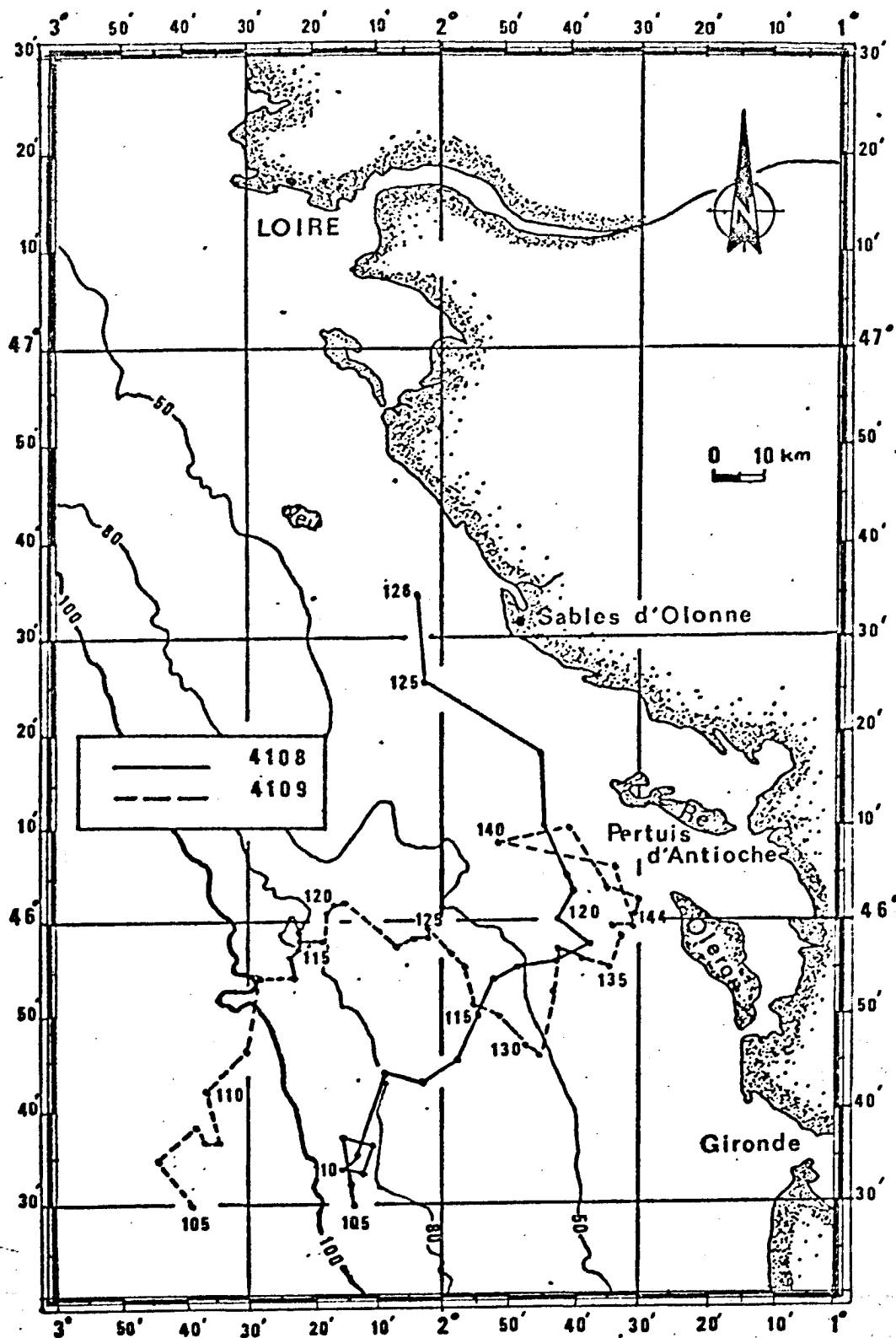


Fig. 8 - Trajectoires des bouées 4108 et 4109 sur le plateau continental du 15 Avril 1983 (J 105) au 24 Mai 1983 (J 144). Une position par jour près de la pleine mer par rapport à Cordouan.

BOUEE 4109 POSITION AUX P.M. CORDOUAN

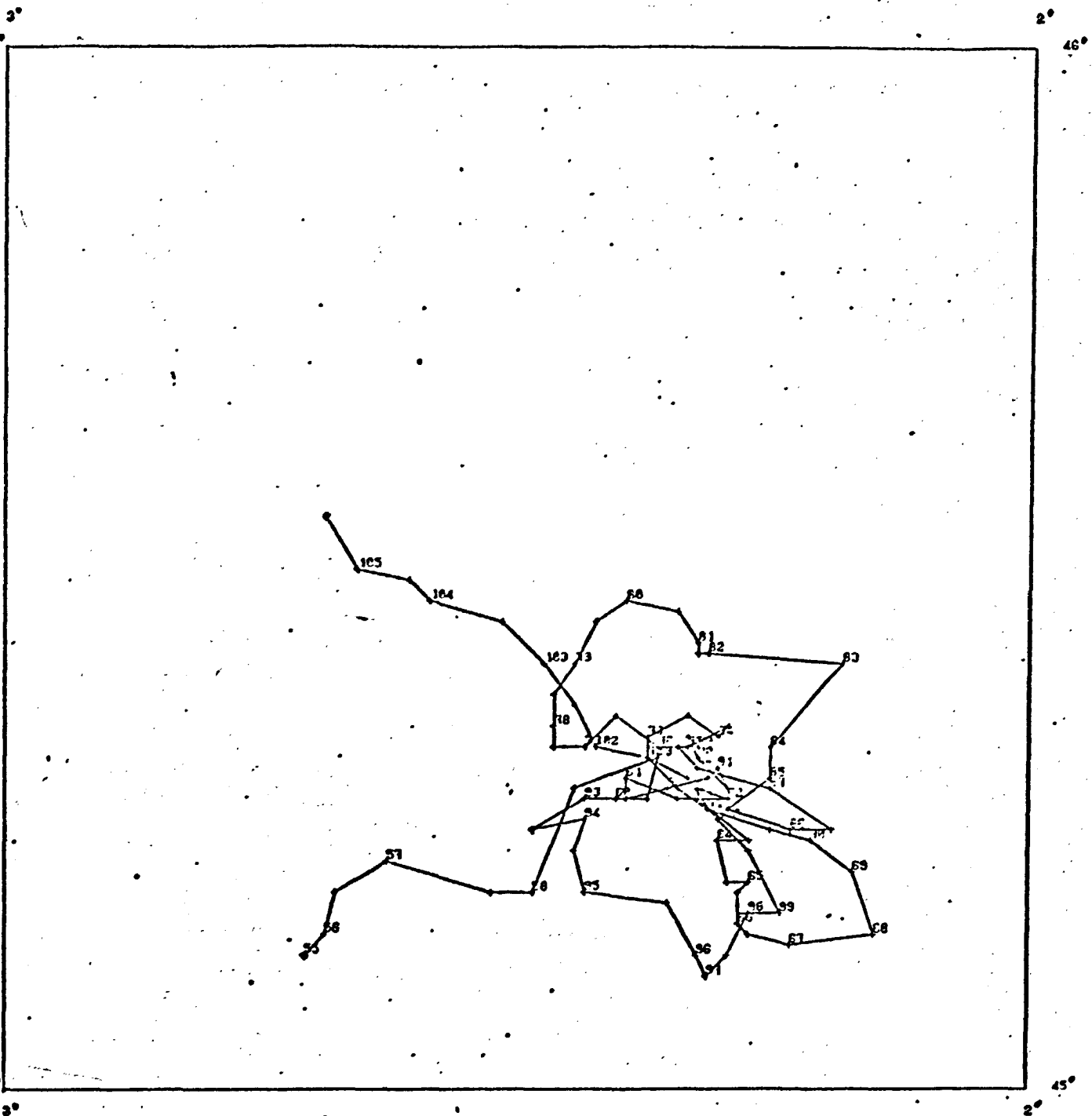


Fig. 9 - Trajectoire de la bouée 4109 sur le plateau continental du 24.2. au 15.4.83. Positions près des pleines mers par rapport à Cordouan.

Première constatation : après 50 jours de déplacement (J 105), la bouée est presque revenue à sa position de lacher (à quelques milles près dans le Sud-Ouest) (fig. 7). Pendant la première semaine (jusqu'au 62^e jour), les déplacements résultants se sont effectués vers l'Est. Ensuite, la bouée est revenue vers l'Ouest (jusqu'au 67^e jour), est montée vers le Nord en direction de Rochebonne (jusqu'au 80^e jour), est redescendue vers le Sud-Est, vers le Sud-Ouest, puis le Sud jusqu'au 91^e jour. Elle a enfin entamé un nouvel aller-retour sensiblement orienté Est-Ouest, semblable à celui des premiers jours, mais légèrement décalé en position vers l'Ouest.

A partir du 104^e jour, la bouée amorce une dérive vers le Nord-Est qui va s'effectuer de façon continue et régulière jusqu'au 119^e jour (fig. 8). A ce moment, la bouée se trouve près de l'île d'Oléron sur les fonds de 30 - 40 m. La trajectoire est alors déviée vers le Nord-Nord-Ouest, parallèlement à la côte. Les vitesses de déplacement restent relativement faibles jusqu'au 124^e jour, même au passage devant le Pertuis d'Antioche. Le 124^e jour (4 Mai), la bouée subit une brutale accélération au passage au large du Pertuis Breton. La distance parcourue ce jour-là est grande bien que l'on soit en mortes-eaux et que le vent de Sud-Ouest soit faible (3,5 à 4,5 m/s en moyenne). Il faut voir là un effet de chasse provoqué par l'accélération des courants entre l'île de Ré et le continent. Le 6 Mai (J 126), la bouée parvient au Nord des Sables d'Olonne où elle perd son ancre flottante et est drossée à la côte le 7 Mai.

b) Bouée dérivante n° 4109.

Cette bouée a été lachée au bord du plateau continental le 24 Février 1983, par 45°08' N et 2°43' W. Les figures 9 et 8 reproduisent les déplacements de la bouée jusqu'au 15 Avril d'une part, et jusqu'au 24 Mai d'autre part. La bouée s'est déplacée vers le Nord-Est jusqu'au 59^e jour. Elle s'est peu déplacée ensuite jusqu'au 64^e jour. Ensuite (64^e - 71^e jour), elle a décrit une boucle vers le Sud dans le sens inverse des aiguilles d'une montre qui l'a ramenée dans la zone de départ où elle reste jusqu'au 76^e jour. Elle décrit ensuite une autre boucle, cette fois-ci vers le Nord, dans le sens des aiguilles d'une montre, avant de revenir dans la zone de départ vers le 88^e jour. Elle stationne dans la zone jusqu'au 92^e jour, refait une boucle vers le Sud, en sens inverse des aiguilles d'une montre, revient dans la zone de départ le 100^e jour, puis s'éloigne vers le Nord-Ouest à partir du 102^e jour et jusqu'au 106^e jour.

A partir de ce moment (fig. 8), la bouée dérive vers le Nord-Est (zone du plateau de Rochebonne) jusqu'au 121^e jour, animée d'une vitesse de plus en plus lente, bien que les coefficients atteignent 100 le 117^e jour. Ensuite, pendant 10 jours (J 121 - J 131), elle se déplace vers l'embouchure de la Gironde (vers le Sud-Est). Parvenue sur les fonds de 50 m, elle oblique vers le Nord-Nord-Est, semblant vouloir pénétrer dans le Pertuis d'Antioche. Elle est alors déportée vers le Nord-Ouest (J 137) jusqu'au large de l'île de Ré où elle décrit une boucle qui la ramène au large de Chassiron où elle est recueillie par un pêcheur le 24 Mai (J 144).

c) Comparaison des trajectoires des deux bouées.

* Dans les deux cas, au bout de 50 jours, les déplacements résultants sont faibles : moins de 5 km vers le Sud-Ouest pour la bouée 4108 ; une trentaine de kilomètres vers le Nord pour l'autre bouée. Par contre, les déplacements effectifs sont importants (fig. 7 et 9).

* Les déplacements effectifs se sont effectués autour d'un centre de gravité, ceci est particulièrement net pour la bouée 4109. Les bouées après des déplacements plus ou moins longs sont ramenées à leur point de départ.

* Lorsque les bouées se déplacent vers le Nord, elles décrivent une boucle dans le sens des aiguilles d'une montre. Lorsqu'elles se déplacent vers le Sud, c'est le contraire.

* Les trajectoires des deux bouées sont dans le détail calquées l'une sur l'autre et semblent être réglées par les mêmes processus dynamiques.

"Par exemple, du 55^e au 57^e jour, les 2 bouées dérivent vers le Nord ; vers le Sud, du 62^e au 64^e jour ; vers le Nord-Nord-Est très rapidement du 68 au 69^e jusqu'au 80^e jour, pour ensuite se diriger vers l'Est-Sud-Est jusqu'au 83^e jour, puis vers le Sud-Ouest jusqu'à la mi-journée du 85^e jour".

A partir du 102^e jour (n° 4109) et du 104^e jour (n° 4108), les bouées amorcent un mouvement vers le Nord-Est qui finalement les conduira à la côte. On peut remarquer que les mouvements vers le Nord débutent avec les périodes de revif et se poursuivent pendant les vives-eaux. Jusqu'au 15 Avril (J 105), la progression vers le Nord cesse au moment où les mortes-eaux commencent. Ce n'est qu'à partir de cette date que la progression vers le Nord est continue même en mortes-eaux (fig. 8) (il y a cependant un ralentissement entre J 105 et J 110 pour la bouée n° 4108). La question se pose de savoir pourquoi un tel phénomène se produit alors et pas auparavant.

Il y a tout lieu de penser que cette migration définitive vers le Nord est liée à la conjonction des mortes-eaux avec une période de vents forts orientés au Sud-Ouest. Si on observe le cycle déterminant, la progression vers le Nord aurait dû cesser avec les vives-eaux, c'est-à-dire vers le 19 ou 20 Avril (J 110). Mais en ce début de mortes-eaux (coef. 49-46), des vents forts soufflent du Sud-Ouest du 22 au 24 Avril (fig. 6). Ceci suffit pour induire un mouvement général des eaux vers le Nord-Est, relayé ensuite par les vives-eaux jusqu'au 30 Avril (J 120). La bouée n° 4108 est alors près des côtes (fig 8) et entraînée vers le Nord par le courant côtier Sud-Nord. L'autre bouée atteindra ce courant 10 jours plus tard (J 130), après avoir dérivé vers le Sud-Est pendant les mortes-eaux sous l'action d'un vent d'Ouest à Sud-Ouest. Ensuite, pendant les vives-eaux (J 130 - J 139), la bouée progresse vers le Nord, bien que les vents du secteur Ouest soient souvent forts. Ce n'est qu'au moment des mortes-eaux (J 140) que la bouée reprend une direction Nord-Ouest/Sud-Est parallèle à celle qu'elle avait du 120^e au 130^e jour.

2. Courantologie de dérive à l'embouchure de la Gironde.

2.1. Déroulement des opérations.

Deux bouées dérivantes SUBER (n° 4108 et n° 4109) équipées de balises ARGOS ont été lâchées depuis le navire océanographique COTE D'AQUITAINE du CNRS, le 20 Septembre 1983, une heure après la pleine mer (PM + 1) par rapport au marégraphe de Cordouan. La première bouée (n° 4108) a été placée à l'entrée de la passe sud de la Gironde, la seconde (n° 4109) à l'entrée de la nouvelle passe de navigation. Les positions de lâcher sont les suivantes :

- 45°30'21" et 1°15'07" pour la bouée n° 4108 ;
- 45°39' et 1°20'09" pour la bouée n° 4109.

Les ancrs flottantes ont été placées entre 3 et 6 m de profondeur.

Les bouées ont dérivé vers le Nord, parallèlement à la côte jusqu'au 15 Octobre pour la première et jusqu'au 5 Octobre pour la seconde. Le suivi des bouées a été effectué depuis le laboratoire de Talence par interrogation de la banque de données du CNES à Toulouse. En fin de campagne, une bouée s'est échouée à la côte, l'autre a été recueillie par un pêcheur.

2.2. Conditions dynamiques au cours de la campagne (fig. 10)

a) La marée.

Les opérations ont débuté en marée moyenne (coef. 67) au début d'un cycle de marée de vives-eaux moyennes qui ont atteint le coef. 90, quatre jours plus tard. Les bouées ont ensuite enregistré les déplacements des courants engendrés pendant la période de déchet (25 Septembre - 1er Octobre), puis la nouvelle période de revif jusqu'aux grandes vives-eaux (coef. 112) du 7 Octobre. La bouée n° 4109 a été recueillie durant cette période de revif. La bouée n° 4108 s'est échouée le 15 Octobre en mortes-eaux à la fin de la période de déchet qui a suivi.

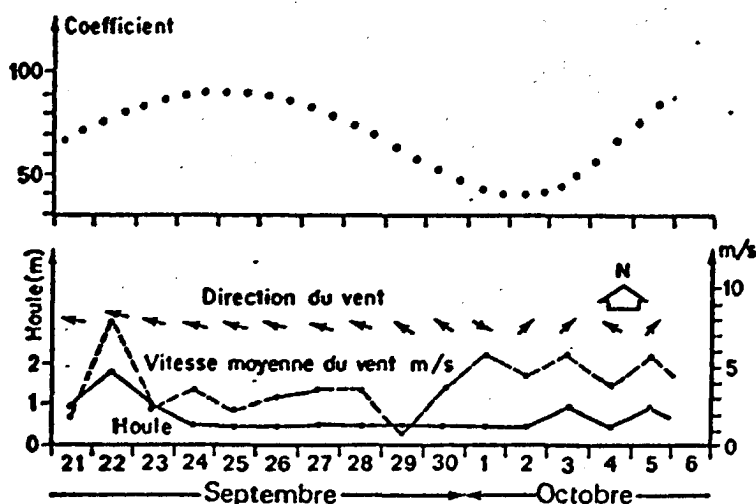


Fig. 10 - Conditions dynamiques dans le Golfe de Gascogne en Septembre-Octobre 1983.

b) Le vent et la houle.

La majeure partie de la campagne s'est déroulée pendant une période de grand beau temps. Les vents toujours faibles ou nuls étaient la plupart du temps orientés à l'Est-Sud-Est. Ce n'est qu'au début du mois d'Octobre qu'ils s'orientent au Sud-Ouest en conservant des vitesses faibles (toujours inférieures à 8-10 m/s) jusqu'au 14 où le vent forçait pour atteindre et dépasser 15 m/s.

De ce fait, il y a eu peu ou pas de houle jusqu'au 13 Octobre où un petit coup de vent du Sud-Ouest a levé une houle de même direction de 4 m d'amplitude maximum.

2.3. Trajectoires des bouées dérivantes ARGOS (fig. 11).

Sur la figure 11, on n'a reporté qu'une position par jour au moment d'une des deux pleines mers par rapport à Cordouan afin de ne pas surcharger le dessin, mais on dispose de 7 à 10 points par 24 h.

a) Bouée dérivante n° 4109.

La bouée lâchée à l'entrée de la passe ouest a très rapidement transité vers le Nord-Nord-Ouest, en longeant la côte sur les fonds de 30 à 40 m. A la latitude des Sables d'Olonne, elle a obliqué vers l'Ouest, pour ensuite reprendre sa progression vers le Nord, laissant l'île d'Yeu à l'Est, avant d'atteindre l'embouchure de la Loire, le 29 Septembre en mortes-eaux. Les jours suivants, toujours en mortes-eaux, elle a progressé vers la Pointe Saint-Gildas, puis à partir du 2 Octobre (revif) a amorcé un mouvement vers le Nord-Ouest et l'Ouest en longeant la côte, avant d'être recueillie le 5 Octobre au large du Croisic. Le transit a été extrêmement rapide, puisqu'il n'a fallu que 9 jours (du 20 au 29) pour aller de l'embouchure de la Gironde à celle de la Loire.

b) Bouée dérivante n° 4108.

La bouée lâchée à l'entrée de la passe sud y a dérivé pendant plus de 24 h, animée d'un mouvement alternatif Sud-Ouest/Nord-Est lié aux courants de marée, la faisant même remonter jusqu'à la Pointe de Grave. Ce n'est qu'à la pleine mer du 23 Septembre qu'elle parvient à l'entrée de la passe de l'ouest à une position proche de celle où la bouée n° 4109 a été lâchée le 20. Ensuite, la trajectoire suivie par la bouée de la passe sud est analogue à celle de

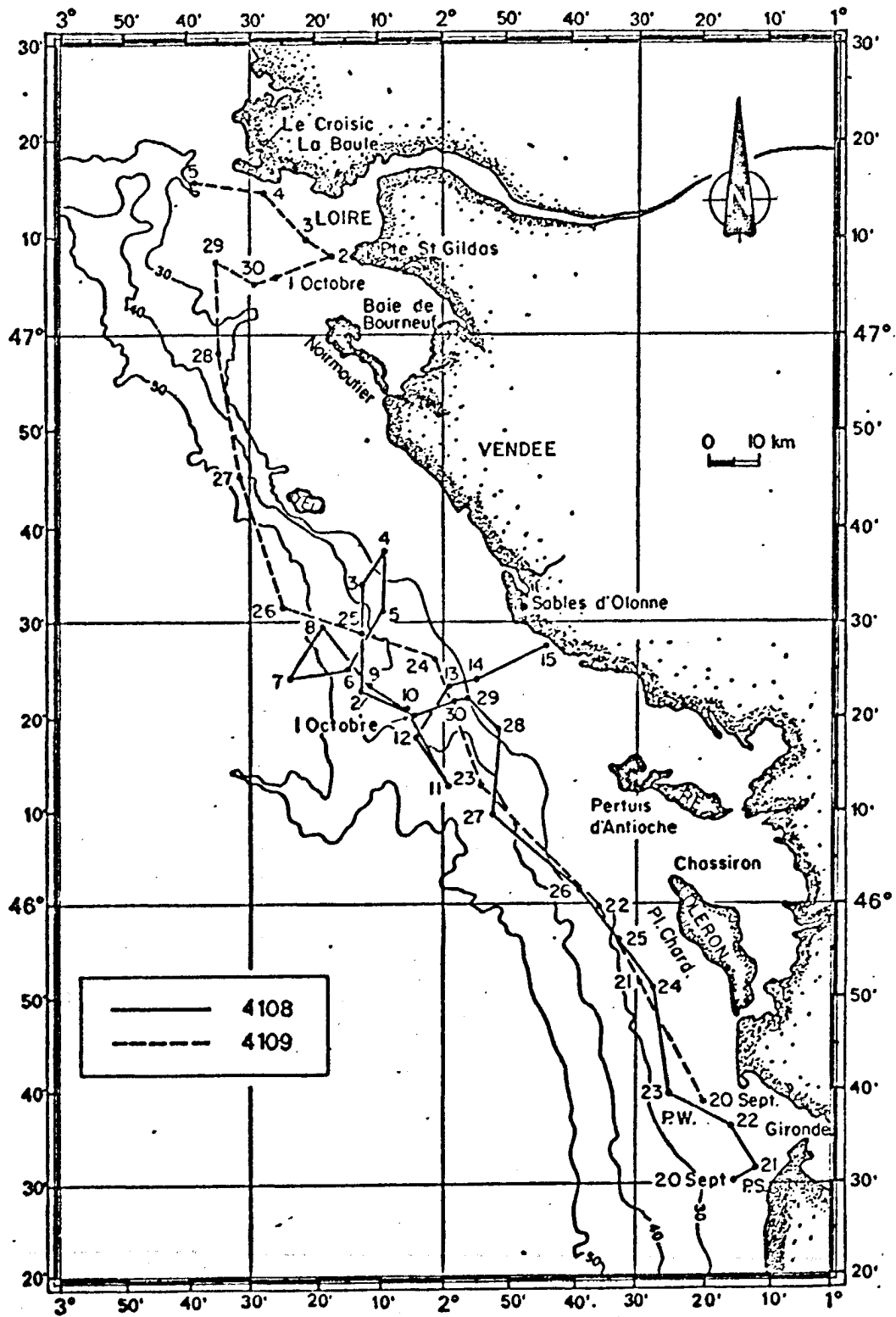


Fig. 11 - Trajectoires des deux bouées dérivantes entre la Gironde et la Loire au cours de la campagne de courantométrie de Septembre-Octobre 1983.

l'autre bouée jusqu'à l'ouvert du Pertuis d'Antioche (27 Septembre). Puis, la bouée continue à dériver vers le Nord jusqu'au 4 Octobre (Sud de l'île d'Yeu) avant de repartir en sens inverse jusqu'au 11 Octobre après avoir décrit une boucle vers l'Ouest. A partir du 12 Octobre (mortes-eaux), elle est poussée vers la côte par les vents de Sud-Ouest qui forçissent jusqu'au 15, date à laquelle elle s'échoue en Vendée au Sud des Sables d'Olonne.

La bouée n° 4108 n'est donc pas parvenue à franchir la latitude de l'île d'Yeu, bien qu'elle ait suivi la même route que la bouée n° 4109. Nous essayerons de fournir une explication à cette constatation.

3. Remarques générales sur les vitesses et les directions de déplacement des masses d'eau du plateau continental du Golfe de Gascogne.

Pour commodité pour la suite de l'exposé, les divers lachers effectués seront numérotés de 1 à 4. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- ARGOS 1 - Date du lacher : 24 Février 1983 (bouée n° 4108)

Position L. : 45°30' N
G. : 02°15' W

Date échouage : 07 Mai 1983

Position L. : 46°30'46" N
G. : 01°38'52" W

- ARGOS 2 - Date du lacher : 24 Février 1983 (bouée n° 4109)

Position L. : 45°08' N
G. : 02°42' W

Date échouage : 24 Mai 1983

Position L. : 45°57'54" N
G. : 01°31'01" W

- ARGOS 3 - Date du lacher : 20 Septembre 1983 (bouée n° 4108)

Position L. : 45°30'21" N
G. : 01°15'07" W

Date échouage : 15 Octobre 1983

Position L. : 46°27'25" N
G. : 01°42'39" W

- ARGOS 4 - Date du lacher : 20 Septembre 1983 (bouée n° 4109)

Position L. : 45°39' N
G. : 01°20'09" W

Date échouage : 05 Octobre 1983

Position L. : 47°15'54" N
G. : 02°38'49" W

ARGOS 1 et 2 correspondent donc à la campagne de courantologie sur le plateau continental aquitain ; ARGOS 3 et 4 à la campagne effectuée à l'embouchure de la Gironde.

3.1. Données statistiques générales.

a) Vitesses et déplacements résultants.

Si on ne considère que les points de départ et d'arrivée des bouées, on peut définir des vitesses et des caps de déplacement résultants comme cela a déjà été fait par plusieurs auteurs avec divers types de flotteurs (BENARD, 1905 ; SITARZ, 1955 ; PASQUAY et BONNOT, 1971).

Bouée ARGOS	Déplacement Km	Nombre de jours	Vitesse Km/h	Vitesse cm/s	Cap (degrés)
1	111,800	72	0,070	2	23
2	138	89	0,065	1,8	50
3	111,500	25	0,190	5,25	342
4	206,500	15	0,585	16,25	331

Dans le cas d'ARGOS 1 et 2, les vitesses résultantes de déplacement sont très faibles et équivalentes. Cette vitesse est trois fois plus élevée pour ARGOS 3. Toutes les bouées sont déplacées vers le secteur Nord (entre le Nord-Nord-Ouest et le Nord-Nord-Est).

b) Distribution des vitesses et des directions de déplacement.

A partir des listings des positions, les vitesses et les directions des déplacements ont été calculées par informatique. De ces calculs ont été tirées des statistiques des vitesses de dérive (par intervalles de 10 cm/s) et des directions (par intervalles de 10°). Les résultats sont reportés sous forme d'histogrammes pour les vitesses (fig. 12a) et de diagrammes polaires pour les directions (fig. 12b). Le nombre de mesures est le suivant :

ARGOS 1 : 503 mesures
ARGOS 2 : 587 mesures
ARGOS 3 : 190 mesures
ARGOS 4 : 109 mesures

* Histogrammes des vitesses (fig. 12a).

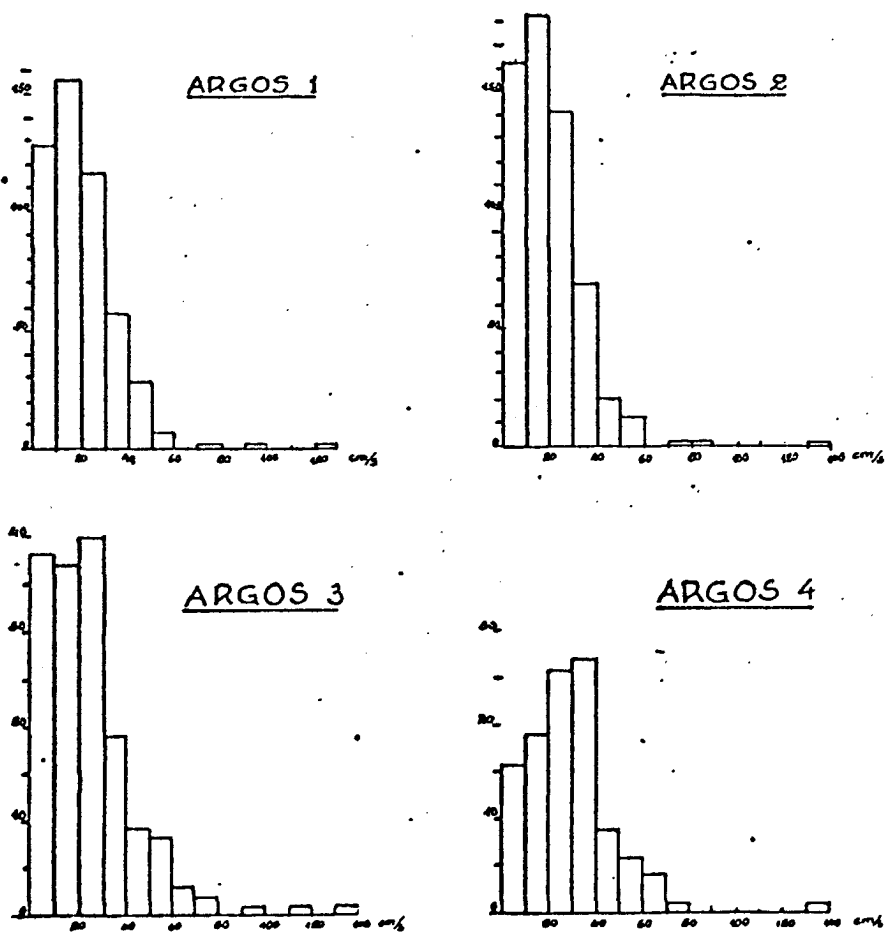
Pour ARGOS 1 et 2, 80 % des vitesses de dérive sont inférieures à 30 cm/s. Le mode principal se situe entre 10 et 20 cm/s, le mode secondaire entre 0 et 10 cm/s. Il y a un mode encore très représentatif entre 20 et 30 cm/s. Ensuite le nombre de cas décroît rapidement.

Pour ARGOS 2 et 3, les vitesses enregistrées sont plus rapides, ce qui est logique puisque la campagne s'est effectuée près des côtes. 76 % à 80 % des vitesses sont inférieures à 40 cm/s. Pour ARGOS 3, on note trois modes à peu près équivalents entre 0 et 30 cm/s. Cependant, le mode principal se situe entre 20 et 30 cm/s.

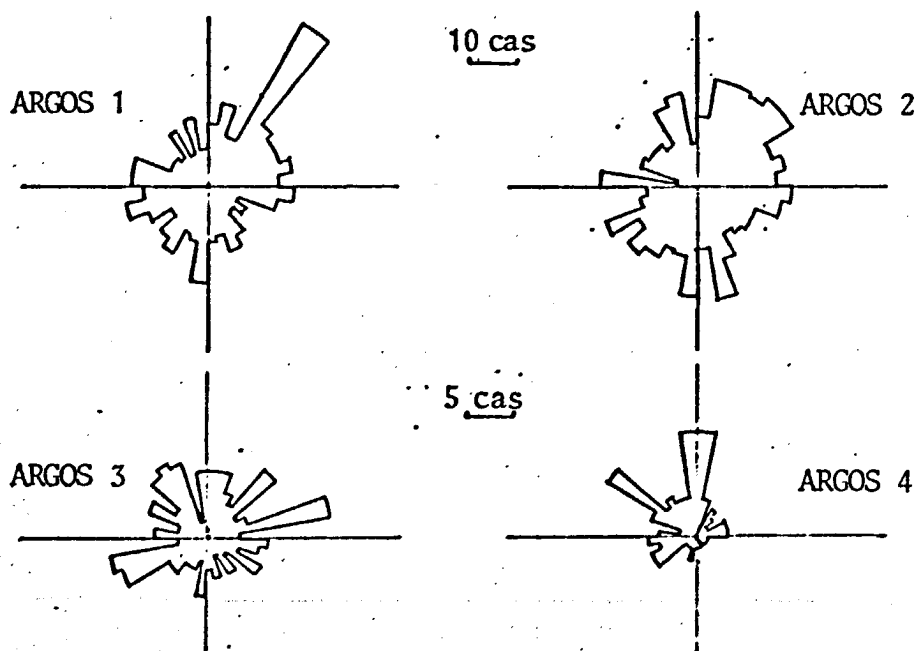
Pour ARGOS 4, les vitesses sont encore plus élevées puisque le mode principal se trouve entre 30 et 40 cm/s, avec un mode secondaire important entre 20 et 30 cm/s. Il est intéressant de remarquer que les vitesses inférieures à 20 cm/s sont largement déficitaires.

Les vitesses maximales enregistrées varient beaucoup en fonction de la zone. De plus, certaines vitesses très supérieures à la moyenne doivent être prises avec des réserves car, calculées sur des temps courts, la moindre erreur de positionnement fausse le calcul. Nous n'avons donc pris en compte que les vitesses enregistrées sur un laps de temps suffisamment grand.

26 Février - ARGOS 1 : 59 cm/s ; Cap : 264° ; Coef. 86/93 ; Vent : 280°/9 m/s
16 Mai - ARGOS 2 : 83 cm/s ; Cap : 035° ; Coef. 86/81 ; Vent : 240°/13 m/s
22 Septembre - ARGOS 3 : 125 cm/s ; Cap : 247° ; Coef. 84/87 ; Vent : 100°/2 m/s
22 Septembre - ARGOS 4 : 70 cm/s ; Cap : Nord ; Coef. 84/87 ; Vent : 80°/2 m/s



12a - Histogrammes des vitesses.



12b - Diagrammes des directions.

Fig. 12 - Statistique des vitesses et des directions de déplacement des bouées lors de la campagne de courantologie de Septembre-Octobre 1983.

Les trois dernières séries de mesures proviennent de la zone côtière ce qui explique les vitesses élevées. La vitesse de 125 cm/s correspond à la traversée en jusant du plateau de Cordouan à l'embouchure de la Gironde.

Dans tous les cas, on se trouve en période de petites vives-eaux. Le vent ne semble pas jouer un rôle déterminant. Il souffle dans la même direction que le courant le 16 Mai, mais en sens inverse le 26 Février.

× Diagrammes des directions (fig. 12b).

<u>ARGOS 1</u>	-	Quart Nord-Est : 33 %	;	Quart Sud-Est : 20 %
		Quart Sud-Ouest : 25 %	;	Quart Nord-Ouest : 22 %
<u>ARGOS 2</u>	-	Quart Nord-Est : 30 %	;	Quart Sud-Est : 24 %
		Quart Sud-Ouest : 25 %	;	Quart Nord-Ouest : 21 %
<u>ARGOS 3</u>	-	Quart Nord-Est : 29 %	;	Quart Sud-Est : 17 %
		Quart Sud-Ouest : 26 %	;	Quart Nord-Ouest : 28 %
<u>ARGOS 4</u>	-	Quart Nord-Est : 25 %	;	Quart Sud-Est : 05 %
		Quart Sud-Ouest : 22 %	;	Quart Nord-Ouest : 48 %

Les directions Nord (Nord-Est + Nord-Ouest) sont partout majoritaires, mais ce caractère est particulièrement accentué pour ARGOS 3 et surtout ARGOS 4 où les directions Nord-Ouest représentent la moitié du total.

Le caractère rotatif des courants est assez bien affirmé sur le plateau externe (ARGOS 2) où les diverses directions sont à peu près également représentées. Ce caractère est déjà altéré sur le plateau interne (ARGOS 1) où on observe un mode dominant vers le Nord-Nord-Est (30-40°) et plus encore près des côtes où le quart Sud-Est est fortement déficitaire (ARGOS 3 et 4). Le courant est quasiment unidirectionnel vers le Nord-Nord-Ouest dans le cas d'ARGOS 4.

3.2. Influence de la morphologie des fonds (fig. 13).

Sur la figure 13 on a représenté les distances parcourues par ARGOS 3 (n° 4108) et ARGOS 4 (n° 4109) entre deux pleines mers successives depuis l'entrée du chenal de navigation de la Gironde.

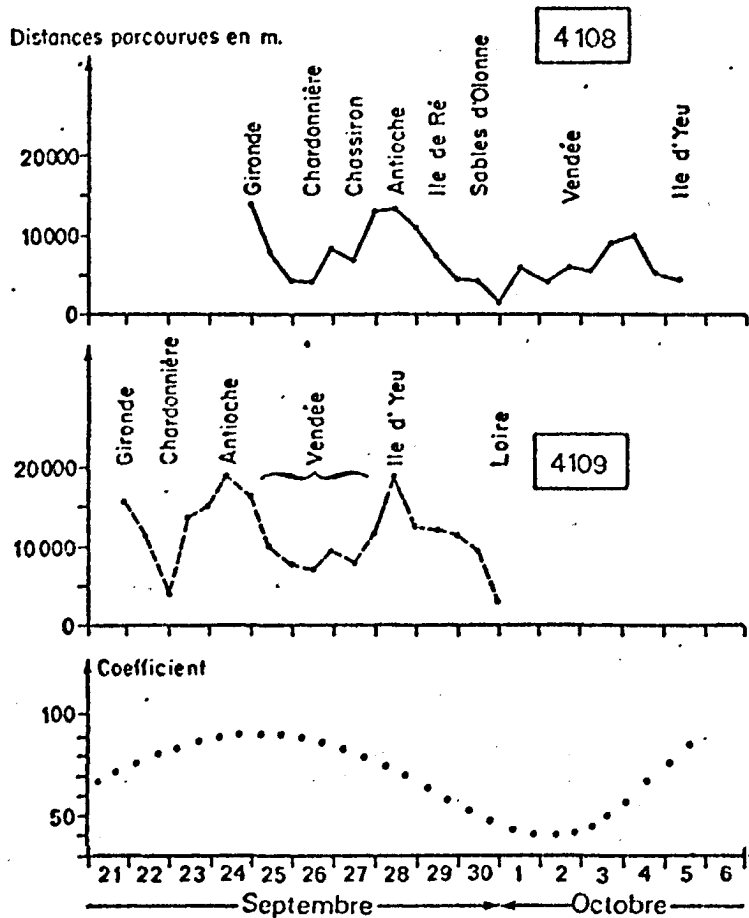


Fig. 13 - Influence de la morphologie des fonds sur la vitesse de déplacement des bouées.

Première constatation, ARGOS 4 s'est déplacée vers le Nord beaucoup plus vite qu'ARGOS 3. La première bouée a mis 10 jours pour atteindre le Sud de l'île d'Yeu, alors qu'il n'a fallu que 5 à 6 jours à la seconde bouée pour atteindre la même latitude. Nous verrons plus loin l'explication que l'on peut donner à cette différence de vitesse.

Seconde constatation, la vitesse varie beaucoup en fonction de la zone, c'est-à-dire de la morphologie des fonds. Dans les deux cas, les plus grandes distances parcourues le sont près de l'estuaire de la Gironde et du Pertuis d'Antioche. Ces distances sont faibles au large de la Vendée et dans les zones de hauts-fonds. A cet égard, l'exemple du plateau de Chardonnière au large de l'île d'Oléron est particulièrement démonstratif (fig. 11). Ainsi, la bouée n° 4109 a parcouru 19 km entre deux pleines mers le 23 Septembre dans la zone du Pertuis d'Antioche. Elle ne s'est déplacée que de 4 km, le 21 Septembre sur le plateau de Chardonnière. Les coefficients de marée ont peu varié : 80-84 le 21 et 87-89 le 23 Septembre ; le vent faible soufflait de l'Est dans les deux cas.

Cette constatation met en lumière l'influence essentielle de la morphologie du fond sur la vitesse des courants dans les zones côtières (CASTAING, 1984). Ceci montre l'importance d'une excellente représentation de la bathymétrie et du dessin des côtes sur les modèles physiques et surtout mathématiques où ces paramètres sont souvent trop grossièrement schématisés.

3.3. L'influence de la marée.

a) Influence du cycle mortes-eaux/vives-eaux.

On doit se poser la question de savoir pourquoi la bouée n° 4109 a atteint la Loire en 9 jours (vitesse résiduelle moyenne : 27 cm/s), alors que la bouée n° 4108, partie trois jours après de l'embouchure de la Gironde, n'a pu dépasser l'île d'Yeu. Les conditions climatologiques (vent et houle) sont les mêmes et les deux bouées ont emprunté des routes identiques jusqu'au Nord de l'île de Ré (fig. 11).

L'explication est à rechercher dans la localisation des bouées à diverses périodes importantes du cycle de marée (demi-lunaison) (fig. 13). Dans une même zone, les distances parcourues entre deux PM successives par la bouée n° 4108 sont toujours inférieures, car elle parvient aux points critiques à des moments défavorables du cycle.

La bouée n° 4109, au contraire, a profité des conditions les plus favorables. Elle a quitté l'embouchure de la Gironde en période de revif et est passée au large du Pertuis d'Antioche et de la Vendée au moment des vives-eaux, ce qui lui a permis de contourner l'île d'Yeu juste au début de la période de déchet.

Lorsque la bouée n° 4108 est passée au large du pertuis, le déchéât était amorcé et l'impulsion donnée beaucoup plus faible. Au large de la Vendée, les courants sont plus lents que dans les autres zones et de ce point de vue, il s'agit d'une zone critique que la bouée ne pourra pas quitter, car elle y parvient en mortes-eaux. Ceci est particulièrement net si on observe les déplacements du 28 Septembre au 2 Octobre (fig. 11). On retrouve là l'influence déchéât/revif sur les vitesses de courant mise en évidence lors de l'étude de l'évacuation en mer des matières solides en suspension des estuaires (CASTAING, 1981).

En l'absence de vent et de houle, les masses d'eau issues de la Gironde au début d'une période de revif parviennent à la Loire en une dizaine de jours. Si elles sont expulsées en vives-eaux, elles sont vraisemblablement bloquées au Sud de l'île d'Yeu aux mortes-eaux suivantes. Il semble alors qu'elles puissent amorcer un mouvement de retour vers le Sud au moment du revif suivant. C'est en tous cas ce que montre la trajectoire de la bouée n° 4108 du 4 au 11 Octobre (fig. 11).

b) Les courants de marée à l'embouchure de la Gironde et de la Loire.

* A l'embouchure de la Gironde, on dispose de nombreuses données de courantologie de dérive effectuées à l'aide de perches (CASTAING, 1981). Mais, ces expériences ne couvrent qu'une demi-marée, en général de vive-eau. Dans le cas présent, on a pu suivre la dérive de la bouée dans l'embouchure pendant plusieurs jours, du 20 Septembre 1983 (J 263) au 23 Septembre 1983 (J 266). Il s'agit d'une période de revif où les coefficients passent de 72 à 90 pour ensuite décroître. Le lâcher a été effectué à l'entrée de la passe sud de la Gironde (ARGOS 3), une heure après la pleine mer (fig. 14). La bouée décrit au cours des marées suivantes des aller-retour orientés sensiblement dans l'axe de la passe. Les positions des trois premières basses-mers (BM) sont proches les unes des autres et axées de part et d'autre de l'isobathe -20 m. On note aussi que la bouée s'éloigne de moins en moins de l'entrée de la passe à chaque nouvelle BM. Les déplacements deviennent de plus en plus grands au fur et à mesure que les coefficients croissent et au cours du flot du 21 au 22 Septembre (J 264 à J 265, coefficients 80-84), la bouée atteint l'alignement Cordouan/Saint Nicolas. Pendant la journée du 22 (J 265), la bouée sort de la passe sud

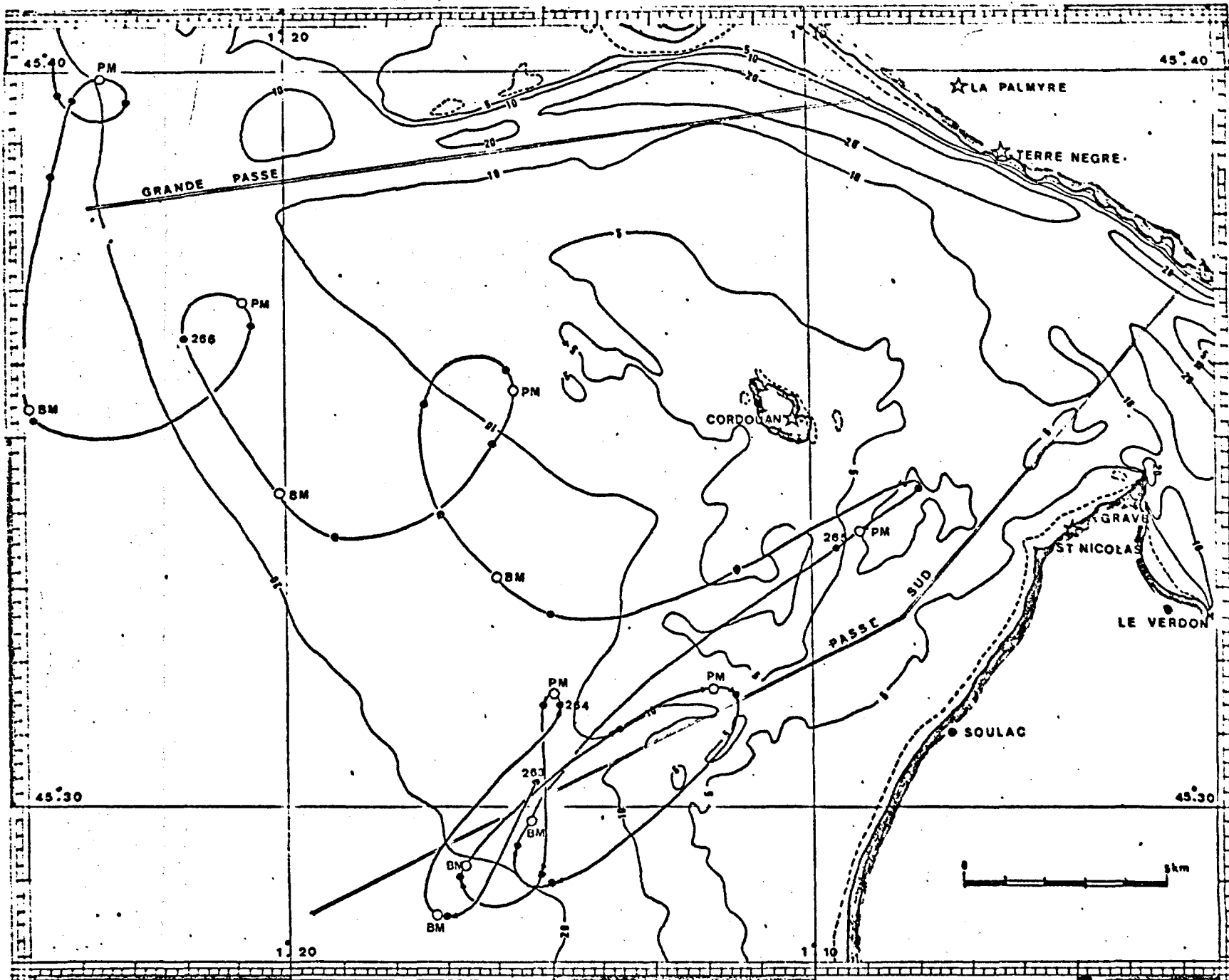


Fig. 14 - Déplacements de la bouée n° 4108 à l'embouchure de la Gironde du 20 au 23 Septembre 1983, en marée moyenne.

à la faveur du jusant. Elle dérive tout d'abord vers l'Ouest sur les battures de Cordouan, avant de s'orienter vers le Nord au début du flot du 23 Septembre (J 266). Après avoir dérivé au large de la passe de navigation, elle quitte définitivement l'embouchure de la Gironde à la fin de cette journée.

En résumé, en période de revif de petites vives-eaux :

- les masses d'eau situées à l'ouvert de la passe sud ne pénètrent pas dans l'estuaire de la Gironde, mais peuvent arriver très près de la Pointe de Grave ;
- elles ne sont pas évacuées vers le Sud, le long de la côte aquitaine, mais vers l'Ouest, puis le Nord au large du bourrelet d'embouchure ;
- le temps de stationnement de ces eaux dans l'embouchure ne dépasse pas trois jours.

Des lachers effectués en vives-eaux permettraient de suivre le cheminement des eaux en période de déché. Le phénomène est alors vraisemblablement différent de celui que nous venons de décrire.

* A l'embouchure de la Loire, il n'y a pas eu, à notre connaissance, de campagne de courantologie de dérive. Cependant les travaux de BERTHOIS (1964), GOULEAU (1971), BARBAROUX (1980) apportent la preuve des rejets de la Loire à l'océan. GOULEAU (1971) montre que ce fleuve est le principal agent du comblement vaseux de la partie orientale de la Baie de Bourgueuf. Lorsque de fortes crues coïncident avec des faibles coefficients de marée, la Loire introduit des stocks sédimentaires considérables dans la baie. Pour sa part, BERTHOIS (1964) a procédé à des campagnes de courantologie de dérive, mais seulement entre la Basse-Indre et Saint-Nazaire, donc très en amont de la zone d'embouchure. DESAUBLIAUX et al. (1978) sont les auteurs d'une synthèse des processus hydrodynamiques à l'embouchure de la Loire. Ils pensent que les bactéries telluriques peuvent constituer de véritables marqueurs des masses d'eaux douces au sein des eaux marines. Ils ont ainsi pu établir des cartes de circulation des eaux douces à l'embouchure pour diverses conditions de débits. Leurs conclusions peuvent être résumées de la façon suivante :

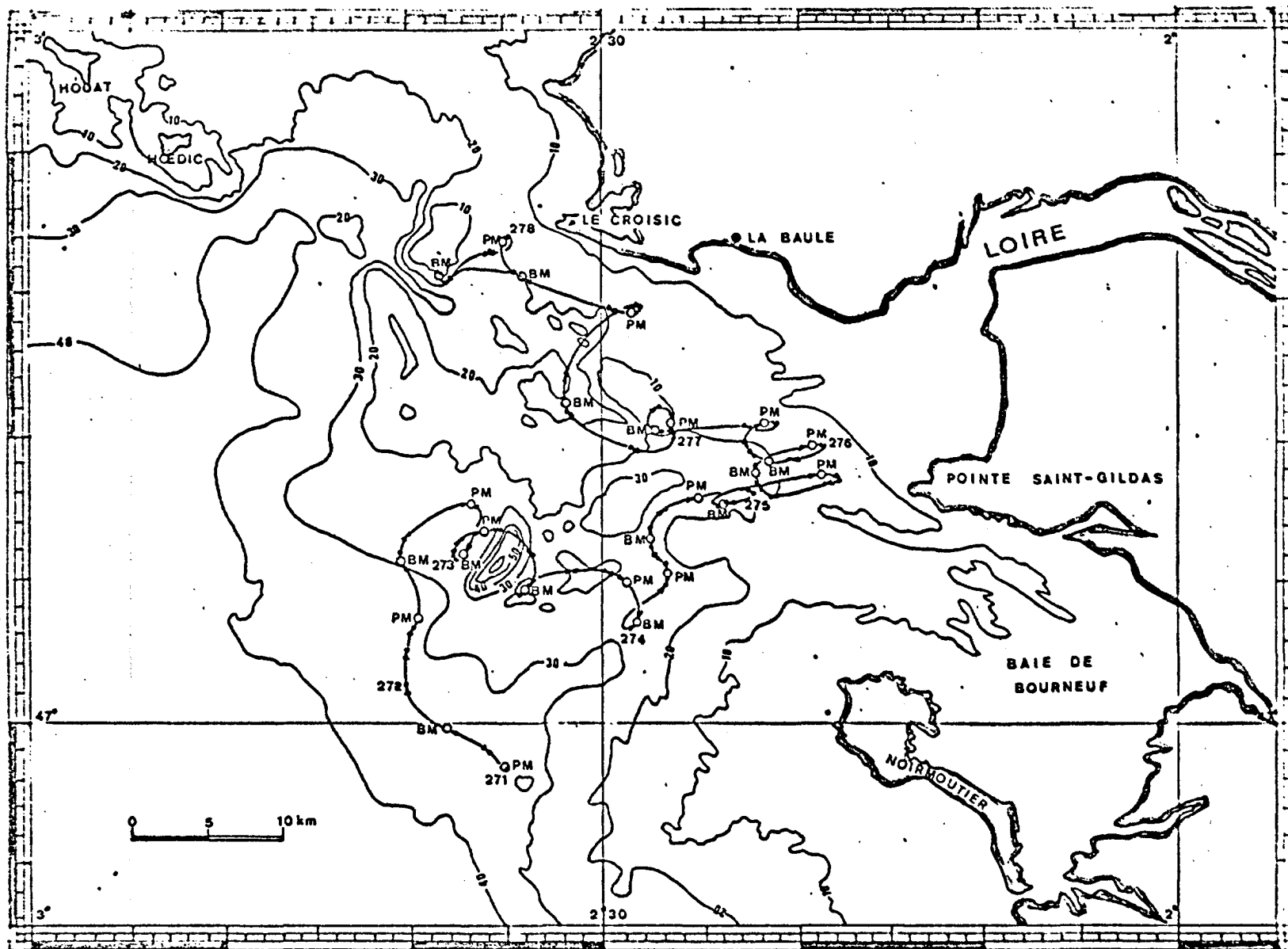


Fig. 15 - Déplacements de la bouée n° 4109 à l'embouchure de la Loire du 28 Septembre au 5 Octobre 1983, en morte-eau et vive-eau.

- le débit fluvial joue un rôle fondamental dans la circulation des masses d'eau et dans la turbidité des eaux, quand on passe des crues à l'étiage ; on observe un glissement progressif des eaux du Nord de l'embouchure vers le Sud de l'embouchure ;

- une sortie permanente d'eaux douces ligériennes se fait par le chenal nord en direction de la Baule.

La bouée ARGOS 4 a permis d'étudier la circulation des masses d'eau du 28 Septembre 1983 (J 271) au 5 Octobre 1983 (J 278) en fin de période de déchéât et en période de mortes-eaux (coef. 65 à 41), puis en début de période de revif d'une marée de grandes vives-eaux (coef. 41 à 112). Pendant toute la période de déchéât jusqu'à la PM du 2 Octobre, la bouée dérive vers la Pointe Saint-Gildas (fig. 15). Lorsque le revif s'amorce, la bouée commence à dériver vers le Nord-Ouest et passe devant l'estuaire en oscillant sur les fonds de 10 à 20 m. Un autre changement de direction se produit au second jusant du 3 Octobre (J 276) lorsque les coefficients atteignent 68-77. La bouée dérive alors vers l'Ouest à chaque jusant. A la longitude du Croizic, elle se rapproche de la côte et les trajectoires s'allongent. La bouée aurait vraisemblablement quitté l'embouchure de la Loire en passant à l'Ouest d'Hoedic et Houat, si un pêcheur ne l'avait recueillie le 5 Octobre (J 278).

Il semble donc qu'en période de déchéât et de mortes-eaux, les eaux marines superficielles se rapprochent très près de l'estuaire sans y pénétrer. En période de revif, comme à l'embouchure de la Gironde, les eaux sont chassées vers le large (vers le Nord-Ouest). Le temps de transit dans l'embouchure de la Loire en mortes-eaux est d'environ une semaine.

3.4. Influence de la marée et du vent.

a) Déplacements au cours d'un cycle de marée.

L'étude de la trajectoire suivie par la bouée ARGOS 1 (n° 4108) illustre bien les effets de l'action conjointe des courants de marée et du vent. Le cycle débute en mortes-eaux le 10 Mars (69^e jour) et se termine le 26 Mars 1983 (85^e jour) (fig. 5).

Jusqu'au 14 Mars (73^e jour), les masses d'eau se déplacent vers le Nord (fig. 7). Les coefficients de marée sont croissants (39 à 85). Les vents sont faibles, orientés au Nord-Est, puis au Sud et enfin à l'Ouest. On ne peut pas, à priori, établir de relation directe entre le déplacement vers le Nord et les agents dynamiques.

Le 14 Mars (73^e jour), le vent s'oriente au Nord-Ouest et souffle avec force (10,8 m/s en moyenne). On note alors un grand déplacement vers l'Est entre les 73^e et 74^e jours. Il y a ensuite une série d'aller-retour à peu près Est-Ouest qui ne sont plus induits par le vent qui a faibli et s'est orienté à l'Ouest. Par contre, les coefficients de marée ont augmenté et atteignent leur maximum (coef. 93), le 16 Mars (75^e jour), pour décroître ensuite lentement (fig. 5). Les déplacements sont alors principalement régis par la marée.

Le 21 Mars (80^e jour), se produit un fort coup de vent d'Ouest (15,6 m/s en moyenne), alors qu'on se trouve en grandes mortes-eaux (coef. 61-55). Les eaux se déplacent vers le Sud-Ouest jusqu'au 24 Mars (83^e jour). Le 24 et le 25, le vent souffle du Nord-Ouest avec force. Les courants changent alors de sens et l'eau s'écoule vers le Sud-Ouest jusqu'au 26 Mars (85^e jour) à la mi-journée (fig. 7).

Ensuite, le vent faiblit et on atteint les grandes vives-eaux le 28 Mars. Les déplacements sont alors à nouveau principalement contrôlés par la marée.

b) Interaction des vents violents et des grandes marées. (fig. 16)

La période du 26 Février au 3 Mars 1983 est particulièrement favorable à l'étude de cette interaction.

Date	Coefficient de marée	vitesse moyenne du vent (m/s)	Direction du vent
26.02	86 - 93	18,5	Ouest
27.02	100 - 104	13,9	Nord-Ouest
28.02	108 - 110	9,3	Nord-Ouest
01.03	110 - 108	5,1	Nord-Nord-Ouest
02.03	105 - 101	4,5	Sud-Sud-Ouest
03.03	95 - 88	9,3	Est-Sud-Est

Caractéristiques dynamiques pour la période du 26.2. au 3.3.83.

La figure 16 est une représentation à petite échelle des déplacements des masses d'eaux au centre du plateau (bouée n° 4108). L'influence de la marée est indéniable. Au cours de la marée semi-diurne, les courants rotatifs entraînent les eaux superficielles dans un mouvement tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Le flot déplace les eaux vers le Nord-Est, le jusant les ramène vers le Sud. Les déplacements au cours du flot (BM - PM) sont toujours plus importants qu'au cours du jusant. Le 27 Février par exemple, les eaux ont été déplacées de 8 km vers le Nord-Est par le flot (vitesse moyenne : 40 cm/s) et de 4 km seulement vers le Sud par le jusant.

L'action de la marée est modifiée par la force et surtout la direction du vent. Si on compare les positions successives des pleines mers (PM) aux directions du vent, on constate que ces deux paramètres sont étroitement liés. Du 26 Février au 1er Mars, la position des PM se situe de plus en plus au Sud, suivant ainsi la rotation des vents du secteur Ouest le 26 Février au secteur Nord-Nord-Ouest le 1er Mars. A partir de cette date, la position des PM remonte vers le Nord, suite à la rotation des vents au secteur Sud.

Dans les premiers jours, les vents de Nord-Ouest entraînent assez rapidement (5-7 km/jour) les eaux superficielles vers l'Est. La longueur des déplacements au cours du flot ne semble pas être diminuée par les vents de Nord-Ouest qui soufflent perpendiculairement. Par contre, à partir du 2 Mars, les

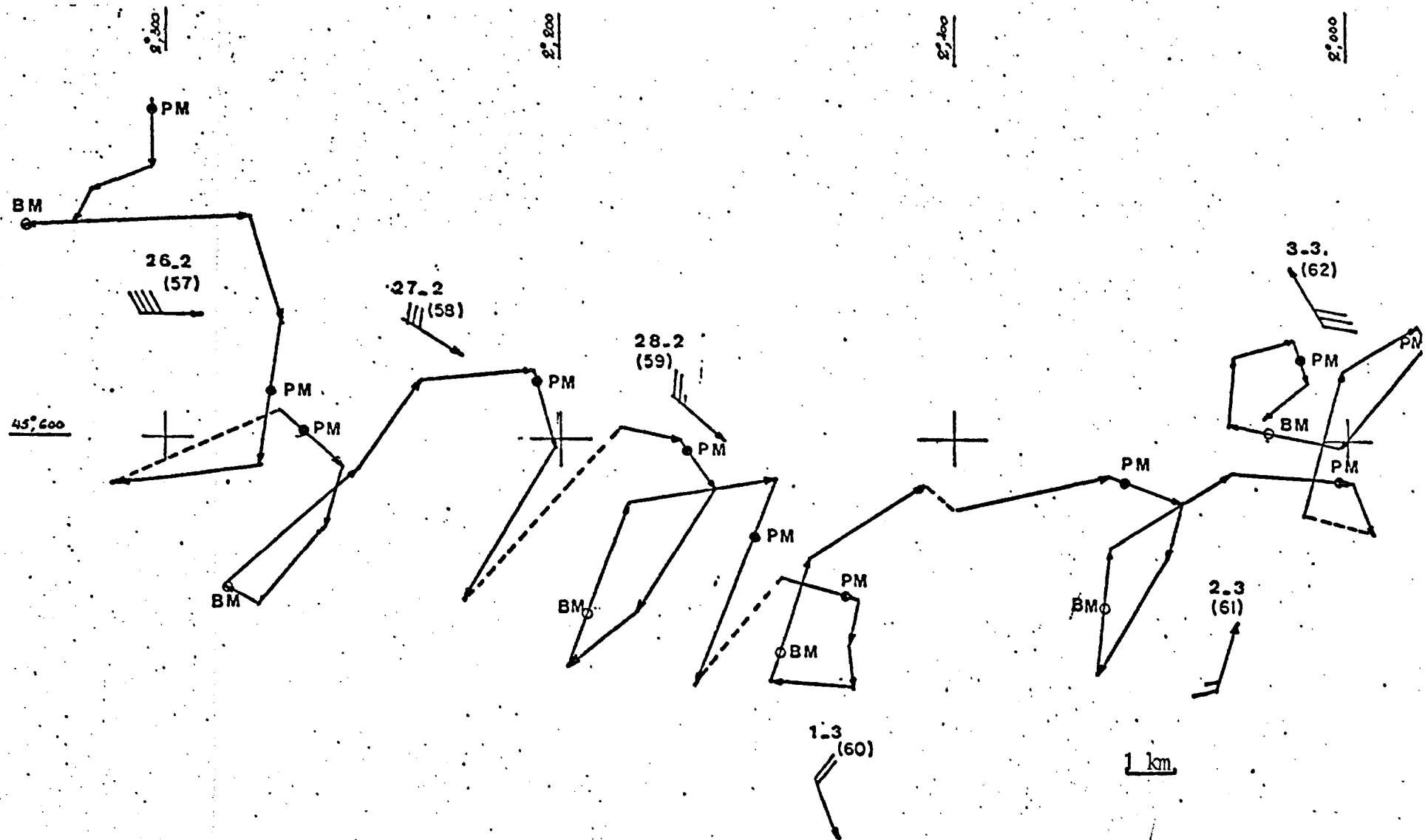


Fig. 16 - Influence de la marée et du vent sur la trajectoire de la bouée 4108 entre le 26.2. et le 3.3.83.

déplacements résiduels journaliers sont beaucoup plus réduits (2-3 km). Le vent est orienté parallèlement au flot, mais il souffle avec peu d'intensité et les coefficients de marée commencent à diminuer.

Ces deux exemples montrent que, sur le plateau, les mouvements des eaux superficielles sont complexes et résultent de l'action conjuguée du vent et de la marée. L'action de l'un ou l'autre de ces agents dynamiques est plus ou moins sensible selon la période considérée, mais il y a toujours complémentarité.

4. Comparaison des mesures de courantologie en nature et des prédictions par modèles mathématiques.

La tendance actuelle est à l'utilisation de plus en plus fréquente de modèles physiques et mathématiques à des fins de prévision des phénomènes d'hydrodynamique sédimentaire (BENQUE, NIHOUL, 1982).

Sur le plateau continental du Golfe de Gascogne, le Laboratoire National d'Hydraulique (L.N.H.) a développé plusieurs modèles mathématiques "emboîtés" (DAVESNE, 1979).

La figure 17 représente l'emprise de ces divers modèles : modèle général courantologique atlantique, modèles régional et local à l'embouchure de la Gironde.

Il nous a paru intéressant de confronter les résultats des campagnes de mesure en nature aux prédictions des modèles mathématiques. A cette fin, le Laboratoire National d'Hydraulique* a réalisé à notre demande quelques hodogrammes intégrés dans les mêmes conditions de marée et de vent que lors des campagnes ARGOS 1 et 2. Ces hodogrammes se rapportent au début de la campagne de courantologie du 24 Février 1983 (J 55) au 15 Mars 1983 (J 74). Les points de départ choisis sur le modèle correspondent, à quelques minutes près, aux positions réelles des lachers.

ARGOS 1	45°34' N 02°20' W	au lieu de	45°30' N 02°15' W
ARGOS 2	45°08' N 02°43' W	au lieu de	45°08' N 02°42' W

* Communication écrite en date du 25 Avril 1984 de Monsieur Y. COEFFE, Chef de la Division Hydraulique Maritime au Laboratoire National d'Hydraulique de France, Chatou.

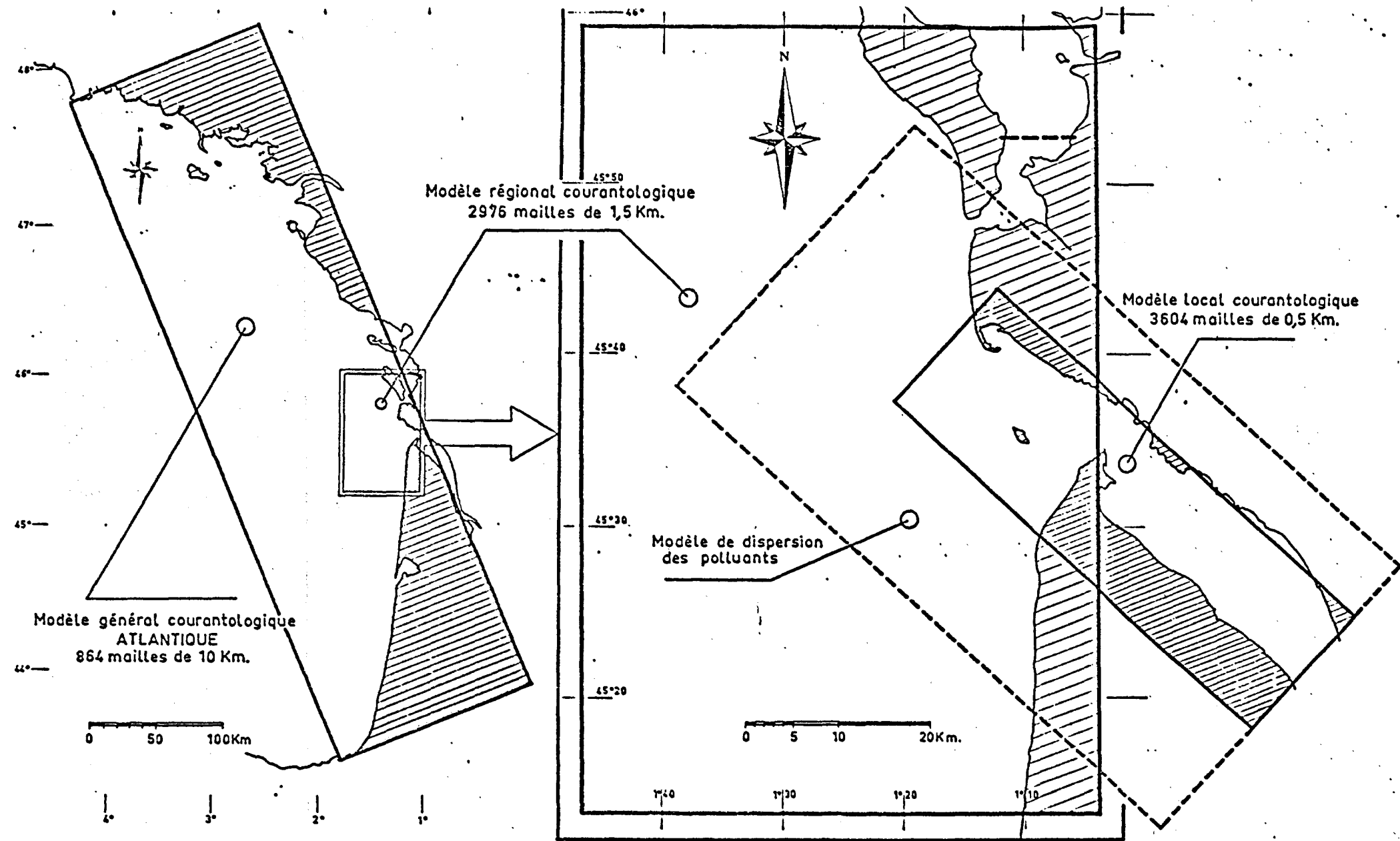


Fig. 17 - Emprise des modèles mathématiques du Laboratoire National d'Hydraulique (d'après L.N.H.)

4.1. Les trajectoires obtenues sur modèles numériques.

Les résultats des calculs sont représentés sur les figures 18 à 22 à l'échelle du millionième environ. Ils sont à comparer avec les résultats en nature à l'échelle du cinq centième environ (fig. 7 et 9).

La dérive obtenue directement par le modèle général de l'Atlantique (HAUGUEL, 1977) est quasiment nulle. Sur la figure 18 on reconnaît, à l'Est et très schématisée, la côte atlantique avec du Nord au Sud la Vendée, l'île de Ré, le Pertuis d'Antioche, l'île d'Oléron et la côte Sauvage, l'embouchure de la Gironde, la Pointe de Grave. Les trajectoires des flotteurs 1 (ARGOS 1) et 2 (ARGOS 2), par marée moyenne et sans vent, font penser au L.N.H. que le déplacement moyen dans ces deux zones est essentiellement dû à l'effet du vent.

De ce fait, les ingénieurs du L.N.H. ont utilisé dans un second stade, un modèle de déplacement de nappes d'hydrocarbure sous l'effet du vent en mer peu profonde. Remarquons que ceci ne correspond pas exactement aux conditions réelles, puisque les ancres flottantes se trouvaient à 10 m de profondeur. En mer peu profonde, d'après le L.N.H. : "l'effet du vent correspond à une vitesse de convection supplémentaire égale à 3 % de la vitesse du vent et prise dans la direction de celui-ci. Cette dernière hypothèse est certainement mal adaptée aux effets du vent dans le Golfe de Gascogne par forte profondeur,..."

Cependant, des trajectoires ont été tracées en prenant en compte les vents de la période du 24 Février au 15 Mars 1983, en faisant varier le coefficient de proportionnalité entre vitesse de dérive et vitesse du vent (fig. 19 à 22). Lorsqu'on fait varier l'effet du vent sur la vitesse, de 0,5 % à 1,5 %, l'allure générale des trajectoires reste identique, mais on observe des déplacements de plus en plus importants vers l'Est (l'embouchure de la Gironde, pour ARGOS 2 et vers le Pertuis d'Antioche pour ARGOS 1). Pour une vitesse supplémentaire de 3 % de la vitesse du vent dans sa direction (fig. 22), le déplacement amène les bouées à l'embouchure de la Gironde et au Pertuis d'Antioche.

4.2. Comparaison entre les trajectoires réelles et théoriques.

A la suite de cette étude, le L.N.H. conclue en comparant l'emprise des observations in situ et des calculs : "qu'une valeur voisine de 1 % (fig. 20) semble représentative de la dérive réelle. Une part des écarts observés sur la

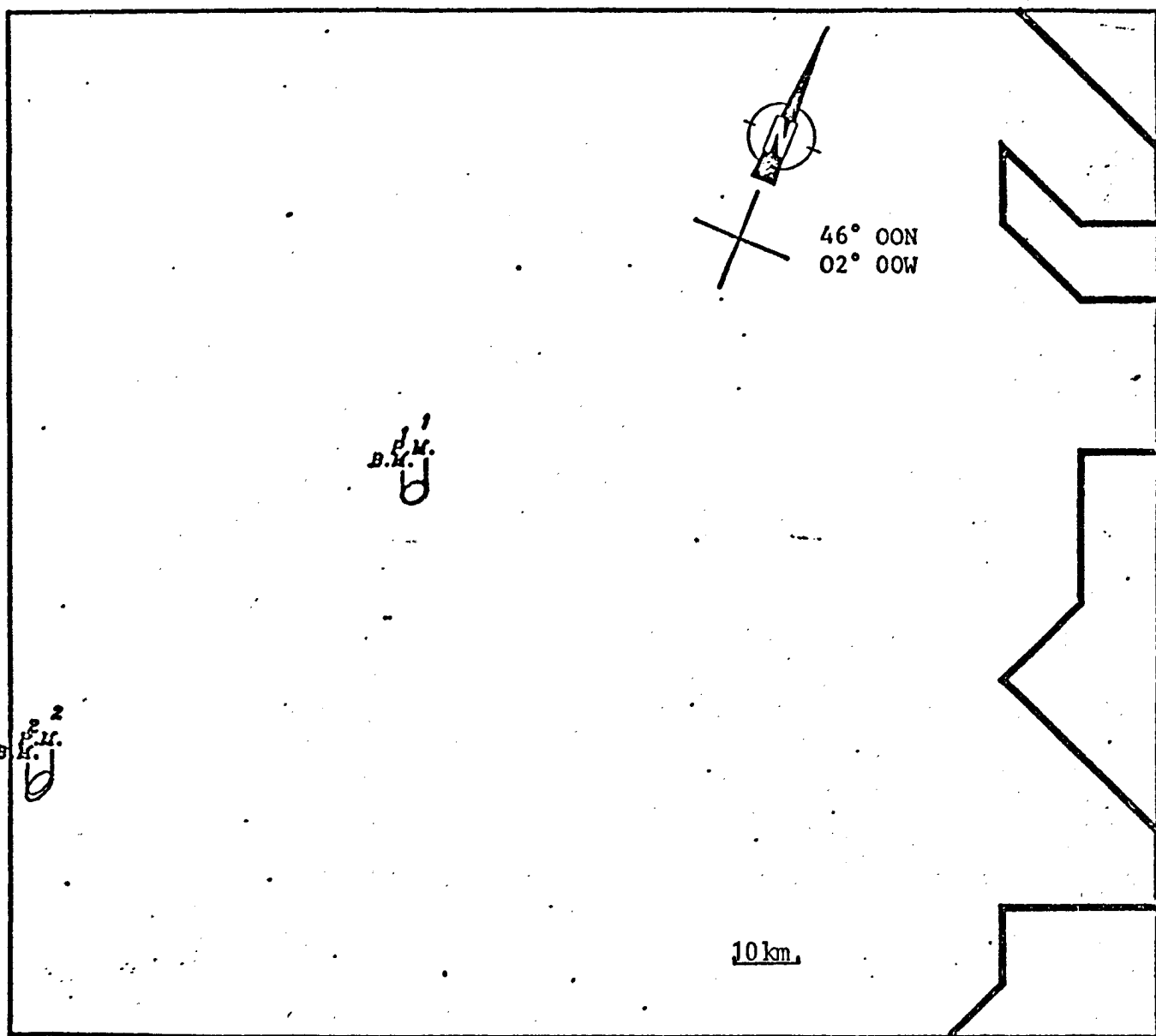


Fig. 18 - Déplacements des deux bouées calculés sur le modèle numérique général Atlantique du Laboratoire National d'Hydraulique. Marée moyenne, sans vent (d'après L.N.H., 1984).

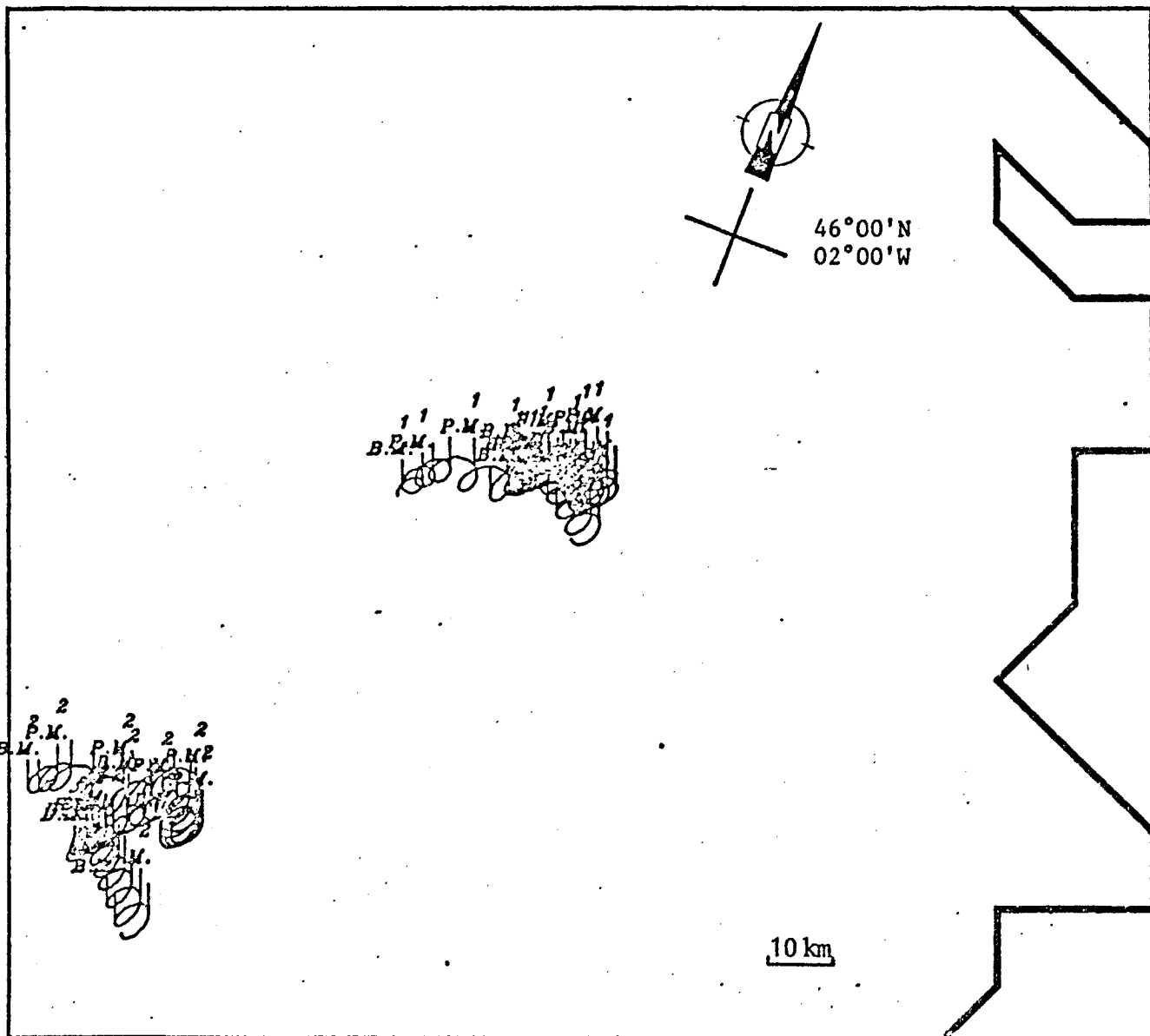


Fig. 19 - Déplacements des deux bouées du 24 Février 1983 au 15 Mars 1983 calculés sur le modèle numérique "nappes d'hydrocarbure" du Laboratoire National d'Hydraulique. Effet du vent : vitesse supplémentaire 0,5 % de la vitesse du vent dans sa direction (d'après L.N.H., 1984).

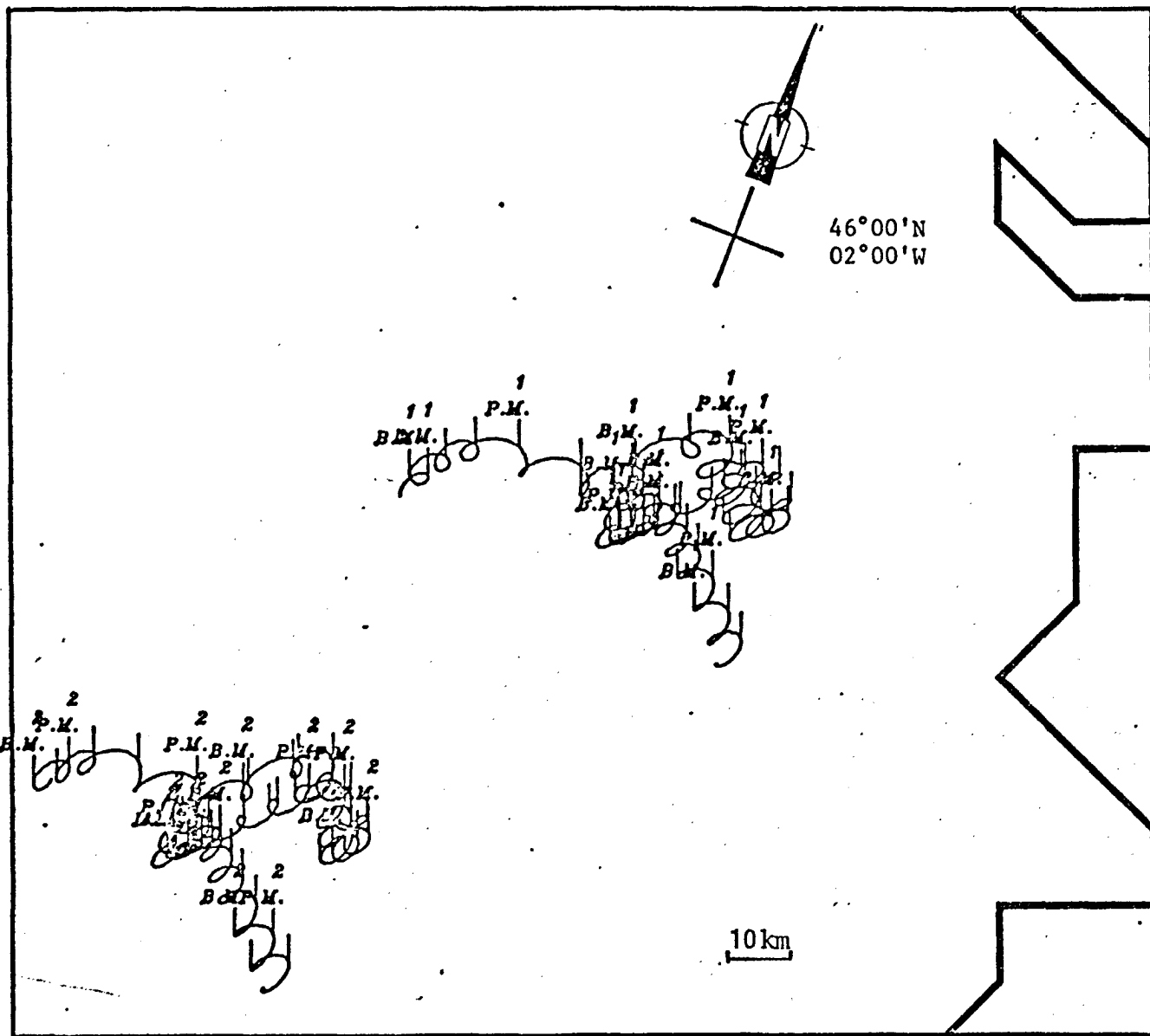


Fig. 20 - Déplacements des deux bouées du 24 Février 1983 au 15 Mars 1983 calculés sur le modèle numérique "nappes d'hydrocarbure" du Laboratoire National d'Hydraulique. Effet du vent : vitesse supplémentaire 1 % de la vitesse du vent dans sa direction (d'après L.N.H., 1984).

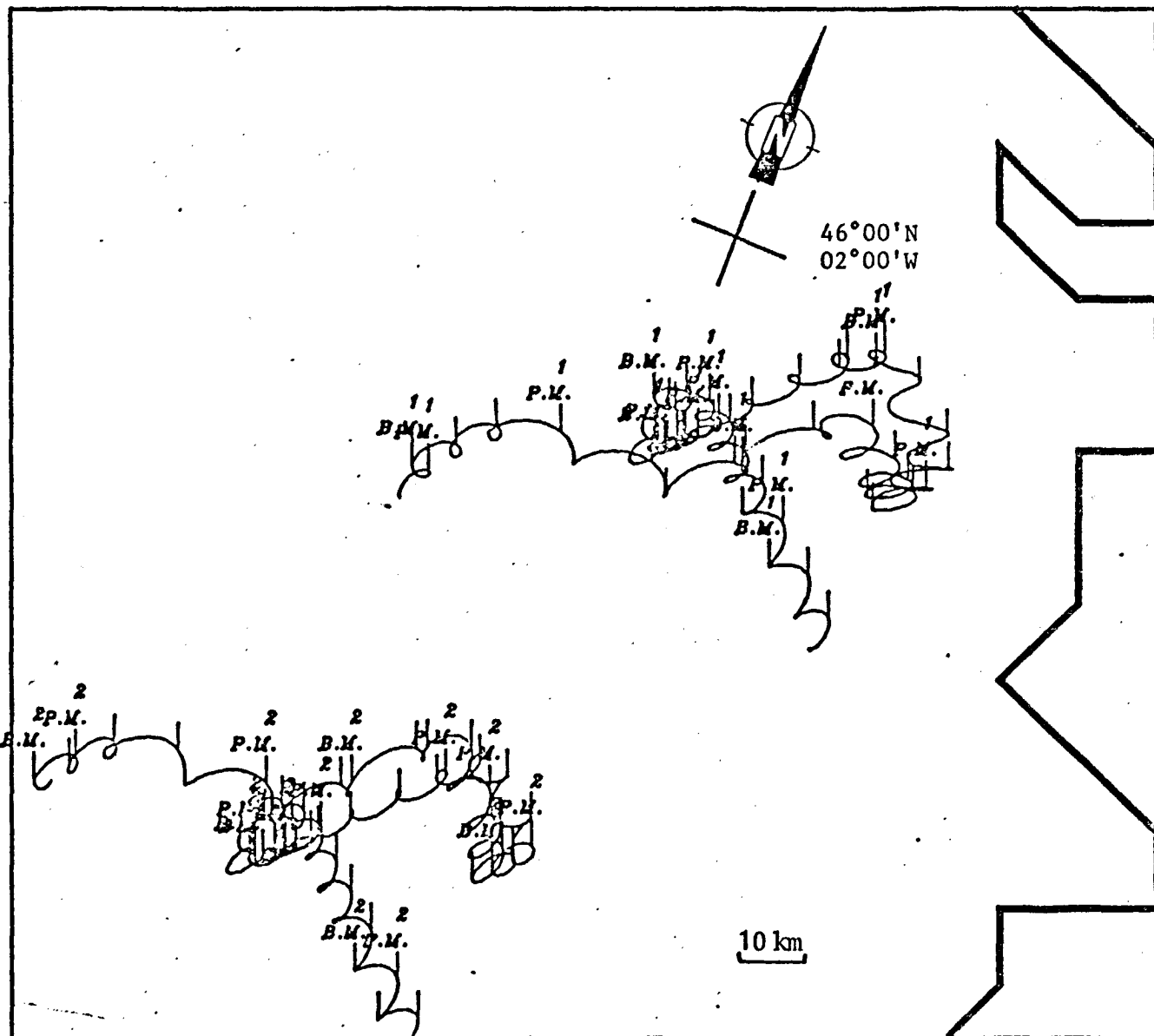


Fig. 21 - Déplacements des deux bouées du 24 Février 1983 au 15 Mars 1983 calculés sur le modèle numérique "nappes d'hydrocarbure" du Laboratoire National d'Hydraulique. Effet du vent : vitesse supplémentaire 1,5 % de la vitesse du vent dans sa direction (d'après L.N.H., 1984).

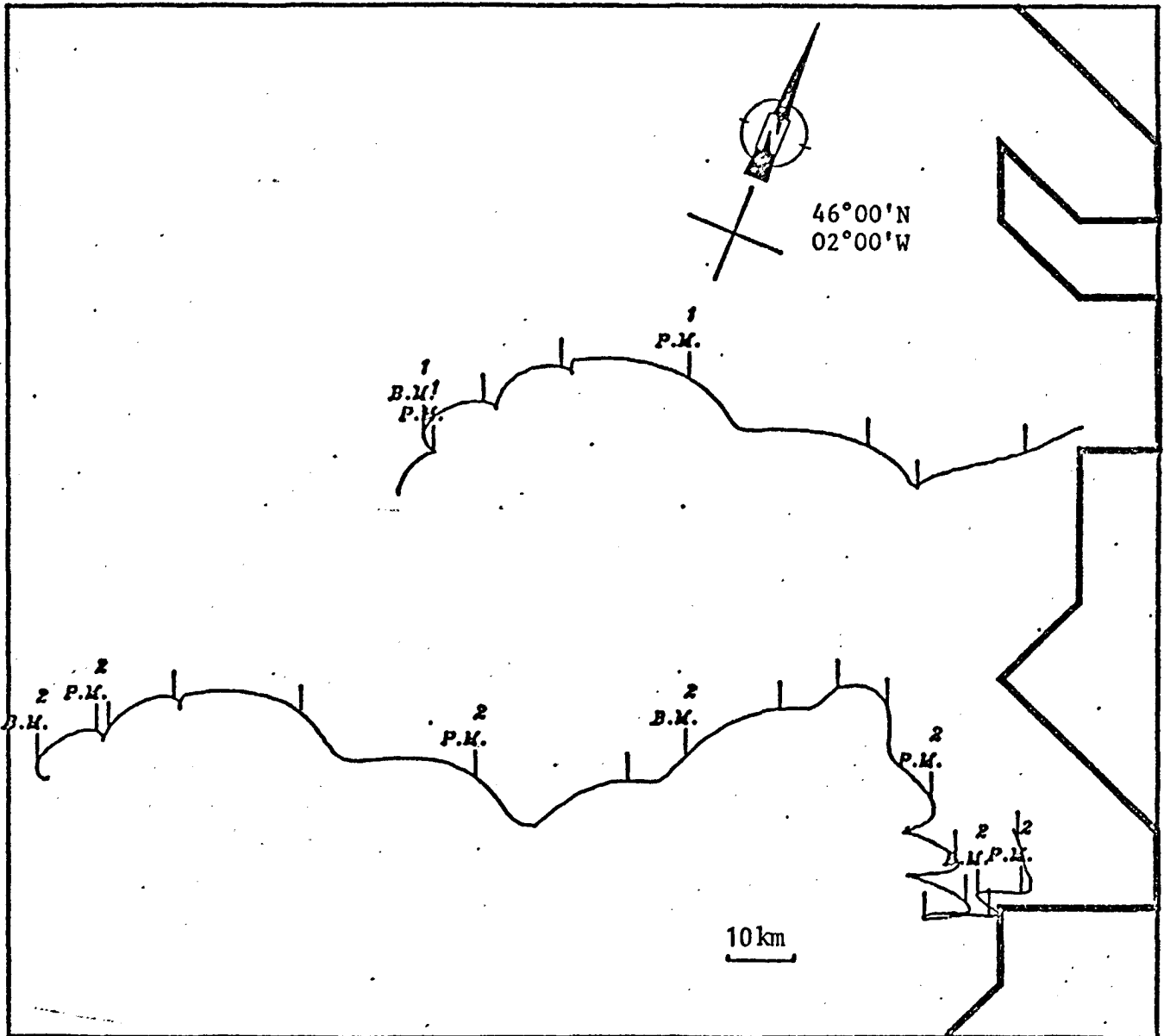


Fig. 22 - Déplacements des deux bouées du 24 Février 1983 au 15 Mars 1983 calculés sur le modèle numérique 'nappes d'hydrocarbure' du Laboratoire National d'Hydraulique. Effet du vent : vitesse supplémentaire 3 % de la vitesse du vent dans sa direction (d'après L.N.H., 1984).

position précise des points est certainement imputable à la direction de la dérive à prendre en compte suivant l'évolution des conditions de vent".

Quelques commentaires s'imposent. Pour notre part, nous pensons que le modèle général sous-estime l'influence de la marée dans cette zone (fig. 18). Toutes les mesures courantologiques à poste fixe effectuées par nous-même (CASTAING, 1981) et par d'autres auteurs (CAVANIE, IYACINTHE, 1976), ainsi que diverses mesures inédites (missions ARCOLE et TRANSEPLAT II) confirment que les courants de marée déterminent une dérive des eaux en l'absence de vent. Cette dérive est surtout importante en bordure du plateau. Elle s'effectue en général vers le Nord, au Nord du 45e parallèle et vers le Sud au Sud de cette latitude. On ne peut donc attribuer les déplacements moyens uniquement à l'effet du vent.

D'autre part, le modèle de déplacement des nappes d'hydrocarbure ne semble pas bien adapté à l'étude des courants vers 10 m de profondeur. En effet, pour la bouée ARGOS 2, le déplacement calculé est peu différent du déplacement observé, mais dans la réalité, il s'effectue vers le Nord-Est jusqu'au 74e jour (fig. 9) et non vers le Sud-Sud-Est (fig. 20). Pour la bouée ARGOS 1 (fig. 7), la distance parcourue réellement équivaut à la moitié de ce qui a été calculé. Le déplacement résultant au 74e jour s'est effectué vers le Nord-Nord-Ouest alors qu'il est prédit vers le Sud-Est par le modèle (fig. 20).

V - CONCLUSIONS.

La courantologie de dérive par bouée ARGOS constitue un outil de choix pour effectuer l'étalonnage des modèles physiques ou mathématiques, et les résultats des mesures lagrangiennes sont directement applicables à la résolution des problèmes d'environnement.

1. Comptabilité du système ARGOS - bouée dérivante avec les impératifs de la courantologie en zone côtière.

La seconde campagne de courantologie effectuée en Septembre/Octobre 1983 a confirmé les conclusions de la première campagne (rapport n° 82/6841), quant à la parfaite adaptation du matériel au but fixé. Nous reprendrons donc ici ces conclusions.

1.1. Le système de positionnement.

Près des côtes, les courants ont des vitesses élevées et le caractère semi-diurne de la marée amène des changements de trajectoire fréquents. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer d'un maximum de points de positionnement précis.

. D'après nos constatations, la dispersion des positions ARGOS par rapport à la position réelle d'une balise fixe est faible. Le rayon d'incertitude maximum a été de 625 m, 85 % des positions étaient à moins de 500 m, 50 % à moins de 250 m.

Nous estimons que la précision du positionnement est largement suffisante pour les travaux de courantologie de dérive s'étendant sur des zones de plusieurs dizaines de kilomètres carrés.

. Le nombre des positions/jour varie en fonction de la latitude, du fait de la géométrie des orbites des deux satellites. Ce nombre est maximum aux pôles, minimum à l'équateur.

A la latitude moyenne de 45°, nous avons obtenu entre 7 et 10 localisations/jour avec une moyenne de 9 points/jour, lorsque deux satellites étaient en fonctionnement. Pendant la période où un seul satellite était opérationnel, nous avons obtenu entre 5 et 10 localisations/jour avec une moyenne de 8 points/jour (CASTAING, JAI, 1983).

Ce nombre est suffisant pour déterminer les déplacements des masses d'eau même sur une échelle de temps relativement courte, comme celle de la marée semi-diurne. Sous les basses latitudes (0° - 30°), l'étude des phénomènes périodiques de courte durée devient délicate du fait de la diminution du nombre des positions/jour.

. L'utilisation du positionnement ARGOS présente deux inconvénients :

- l'obtention des positions en temps réel n'est pas régulière, par suite des travaux de maintenance ou des pannes d'ordinateur du service ARGOS. Par contre, la diffusion des résultats en temps différé est parfaitement fiable ;
- il faut éviter de commencer des mesures de courant lorsqu'un satellite arrive en fin d'activité. En effet, à ce moment-là et pendant un à deux mois, on dispose d'un nombre de positions plus réduit.

1.2. La bouée et l'ancre flottante.

La bouée BDS 82 de la Société SUBER donne entière satisfaction, du fait de son faible poids, de son faible encombrement et de sa bonne résistance dans des conditions difficiles. Son autonomie en énergie électrique de 5 à 6 mois suffit à couvrir tous les besoins.

L'ancre flottante de grande dimension que nous avons mise au point et construite est efficace. Elle reste strictement perpendiculaire au courant et la bouée n'ayant pas de prise au vent "marque" parfaitement les déplacements des masses d'eaux.

La récupération des bouées en fin d'expérience peut se faire avec difficulté, si on ne dispose pas d'un récepteur goniométrique suffisamment performant. Il est en effet impossible de repérer la direction des signaux émis par une balise de 27 MHz à l'aide d'un récepteur portable. Malgré nos nombreux essais, nous n'y sommes jamais parvenus.

Enfin, dans la zone côtière, les ancres des bouées peuvent se prendre dans les filières des pêcheurs ou être récupérées par ces derniers malgré les inscriptions dissuasives.

2. Résultats courantologiques sur le plateau continental du Golfe de Gascogne.

Ces campagnes de courantologie de dérive s'inscrivent dans le cadre général de l'étude des modalités du passage des suspensions des estuaires aux océans (CASTAING, 1981). Il s'agit notamment de mettre en évidence les trajectoires et les temps de distribution des suspensions à partir des embouchures des grands fleuves.

On a donc suivi les mouvements des masses d'eaux superficielles en fin d'hiver et au printemps dans la zone centrale et au bord du plateau continental nord-aquitain, en automne dans la zone côtière à partir de l'embouchure de la Gironde.

2.1. Les mouvements des eaux superficielles sur le plateau aquitain.

Lors de cette première campagne, on a suivi la dérive des deux bouées pendant environ trois mois. Les ancres flottantes se trouvaient à la même profondeur (entre 9 m et 12 m) afin de pouvoir comparer les courants superficiels au bord du plateau (lacher : 45°08' N ; 02°42' W) et dans la zone centrale (lacher : 45°30' N ; 02°15' W).

. Les masses d'eaux superficielles ont des mouvements comparables au centre du plateau et près du talus continental. Dans les deux cas, les mouvements sont régis par l'action du vent et de la marée. Le déplacement résiduel est le résultat de l'interaction entre ces deux agents dynamiques, dont les intensités et l'impact sur la masse d'eau varient dans le temps et l'espace. L'action de la marée est en effet moins efficace près du talus. Au centre du plateau, elle est surtout sensible en vives-eaux (coefficients > 90), même lorsque le vent est fort. Elle provoque alors, au cours de la marée semi-diurne, des mouvements elliptiques des masses d'eau dans le sens des aiguilles d'une montre. Par contre, les déplacements résiduels sur plusieurs jours peuvent s'effectuer sous la forme de boucles orientées vers le Sud (mouvements dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) ou vers le Nord (mouvements dans l'autre sens). Ils sont surtout le fait du vent et on observe une étroite corrélation entre la direction du vent et la direction de déplacement des eaux. La réponse à une accélération de la vitesse du vent (assez faible) et/ou à un changement de direction est très rapide (de l'ordre de quelques heures). De même, le mouvement s'amortit rapidement lorsque l'intensité du vent diminue.

. Les vitesses de déplacement fluctuent rapidement dans le temps et peuvent atteindre des valeurs élevées (jusqu'à 40 cm/s au centre du plateau).

. A cette période de l'année, on n'a pas observé de mouvement résiduel des eaux vers les abysses. Après un déplacement de 50 jours (26 Février-15 Avril), les bouées ont été localisées près du point de lacher. Les parcours réels sont importants, mais s'effectuent autour d'une zone où les bouées sont systématiquement ramenées après un parcours de plusieurs jours en affectant la forme d'une boucle fermée. Près du talus, les déplacements réels sont réduits et la bouée reste bloquée pendant plusieurs jours dans la même zone sans pouvoir s'en échapper.

Il semble donc que durant cette période de l'année, les apports de suspensions aux abysses ne s'effectuent pas ou très mal dans la couche d'eau supérieure. Il faudrait évidemment refaire les mêmes mesures sur toute la hauteur d'eau pour déterminer s'il s'agit d'un blocage complet ou s'il y a des possibilités de transfert par les niveaux plus profonds. De même, il est probable que le blocage des eaux superficielles du plateau n'est que saisonnier.

. A partir du 15 Avril environ, les bouées amorcent un mouvement vers le Nord-Est qui finalement les conduira à la côte. Cette migration vers l'île d'Oléron et la Vendée semble être due à la conjonction des mortes-eaux avec une période de vents forts du Sud-Ouest.

2.2. Les mouvements des eaux superficielles entre la Gironde et la Loire.

Cette seconde campagne a duré moins d'un mois au début de l'automne 1983. Un lacher a été effectué à l'entrée de la passe sud de la Gironde (45°30'21" N ; 01°15'07" W), l'autre à l'entrée de la passe de navigation (45°39' N ; 01°20'09" W). Les ancres flottantes étaient placées entre 3 et 6 m de profondeur dans les deux cas.

. Les vitesses de déplacement des masses d'eau sont étroitement soumises à l'action de la marée. Elles oscillent généralement entre 20 et 40 cm/s. Les vitesses maximales dépassent largement ces valeurs sur une courte période de temps (jusqu'à 125 cm/s dans la passe sud).

. Les déplacements résiduels sont franchement orientés au secteur Nord. Les eaux issues de l'embouchure de la Gironde progressent vers le Nord, parallèlement à la côte sur les fonds de 30 à 40 m. C'est sur ces fonds que les eaux se déplacent préférentiellement dans la zone côtière, puisque les bouées qui dérivait sur le plateau ont elles aussi effectué le même trajet pour dériver vers le Nord.

. Les bouées (et donc les masses d'eau superficielles qu'elles marquent) ne pénètrent jamais dans les Pertuis Charentais bien qu'elles passent toujours très près des ouvertures.

. Une des bouées, à la suite de conditions hydrologiques favorables (vents faibles ou nuls, période de revif), est parvenue à l'embouchure de la Loire 9 jours après avoir quitté l'embouchure de la Gironde. Ce résultat met en lumière la possibilité pour des effluents de la Gironde, de pénétrer facilement et rapidement dans l'embouchure de la Loire. Il prouve que la "Grande Vasière" située sur les fonds de 100 m au large de la Bretagne et de la Vendée peut être alimentée en matériaux argileux par la Gironde aussi bien que par la Loire.

2.3. Courantologie de dérive et prédictions des modèles mathématiques.

Les deux campagnes de courantologie de dérive ont montré la contribution essentielle que cette méthode peut apporter à l'étalonnage des modèles mathématiques.

En effet, la complexité des trajectoires observées et leur variabilité dans le temps et l'espace, fonction des fluctuations des conditions de vent et de marée, nous ont amené à nous interroger sur la fiabilité de certains modèles physiques et mathématiques ; notamment de ceux prenant en compte des conditions de marée et de vent constantes pendant des temps très longs.

. La seconde campagne de courantologie effectuée dans la zone côtière montre l'influence essentielle de la morphologie du fond sur la vitesse des courants. Les vitesses les plus élevées sont relevées près de l'embouchure de la Gironde et des Pertuis Charentais, les plus faibles au large de la Vendée et dans les zones de hauts-hauts. Les vitesses sont dans ces dernières zones jusqu'à cinq fois moins rapides. Une excellente représentation de la bathymétrie et du dessin des côtes est donc nécessaire sur les modèles mathématiques où ces paramètres sont souvent grossièrement schématisés.

. La comparaison des mesures in situ et des prédictions de deux modèles numériques du plateau prouve que ces modèles doivent être affinés. Le modèle général de l'Atlantique (HAUGUEL, 1977) sous-estime l'influence de la marée sur le déplacement des eaux superficielles. Le modèle de déplacement des nappes d'hydrocarbure ne rend pas compte des vitesses et des directions réelles de migration des eaux.

Il nous semble, en conclusion, que l'étalonnage des modèles numériques toujours délicat, doit s'appuyer à la fois sur des mesures in situ à poste fixe et sur des campagnes de courantologie de dérive nombreuses.

Les bouées dérivantes positionnées par satellites constituent à cet égard un excellent traceur des masses d'eau en dérive.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué, comme le précédent (rapport n° 82/6841), dans le cadre du GRECO ICO (Interactions Continent - Océan). Le financement de ce contrat a été assuré par le CNEXO au titre du contrat CNEXO-IGBA n° 83/2891. Le PIRO du CNRS a pris en charge les frais de localisation des bouées ARGOS. Les navires "NOROIT" du CNEXO et "COTE D'AQUITAINE" du CNRS ont permis d'effectuer les lachers des bouées. La Division Hydraulique Maritime au Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou a aimablement réalisé à notre demande des hodogrammes des courants à partir de ses modèles mathématiques.

BIBLIOGRAPHIE

BARBAROUX L., 1980

Evolution des propriétés physiques et chimiques des sédiments dans le passage continent-océan. L'effet estuarien (estuaire de la Loire et ses parages).

Thèse d'Etat, Université de Nantes, 432 p.

BENARD Ch., 1905

Les courants du Golfe de Gascogne.

Soc. d'Océanogr. du Golfe de Gascogne, Bordeaux, La Géographie, t. XI, p. 185-190.

BENQUE J.P., NIHOUL J., 1982

Modélisation des mécanismes hydrodynamiques de propagation de nuisances en zone côtière.

Document technique de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne, I.A.E.A.-T.E.C.D.O.C.-274, 49 p.

BERIHOIS L., 1964

Etudes de dynamique estuarienne dans le fleuve "La Loire".

4e Congrès Inter. Portuaire, Anvers, 22-27 Juin 1964, 12 p.

CASTAING P., 1981

Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde.

Thèse d'Etat, Sciences, Université de Bordeaux I, n° 701, 530 p.

CASTAING P., 1984

Courantologie de dérive dans les zones côtières à l'aide de bouées positionnées par satellite (système ARGOS).

XVIIIe Journées de l'Hydraulique, Soc. Hydrotechnique de France, Marseille, 11-13 Septembre 1984, Rap. I-4, 9 p.

CASTAING P., JAI J.P., 1983

Etude sur la courantologie de dérive estuaires-plateau.
Rap. de contrat CNEXO-IGBA, Bordeaux, n° 82/6841, 58 p.

CAVANIE A., HYACINTHE J.L., 1976

Etude des courants et de la marée à la limite du plateau continental
d'après les mesures effectuées pendant la campagne "Golfe de Gascogne 1970".
Rap. Scient. Techn., CNEXO, n° 23, 41 p.

DAVESNE M., 1979

Dispersion de la pollution à l'embouchure de la Gironde. Rapport n° 3.
Calculs de dispersion d'un polluant conservatif en marées de vive-eau et
morte-eau.
Rapport EDF, Direction des Etudes et Recherches, Chatou, HEO 42/79.36, 15 p.,
6 fig., 90 pl., 1 annexe.

DESAUBLIAUX G., FABLET A., FRENEL P., LE DOUAREC P., OTTMANN F., QUERE J., 1978

Conditions de mélange des eaux douces et salées dans l'estuaire externe de
la Loire. Conséquences pour la pollution bactérienne.
J. Rech. Océanogr., Paris, vol. III, n° 2, p. 29-51.

GOULEAU D., 1971

Le régime hydrodynamique de la baie de Bourgneuf et ses conséquences sur la
sédimentation.
Cah. Océanogr., Paris, vol. XXIII, 7, p. 629-647.

HAUGUEL A., 1977

Modèle mathématique des courants de marée sur la côte atlantique.
Rapport EDF, Chatou, HEO 42/77-24.

PASQUAY J.N., BONNOT J., 1971

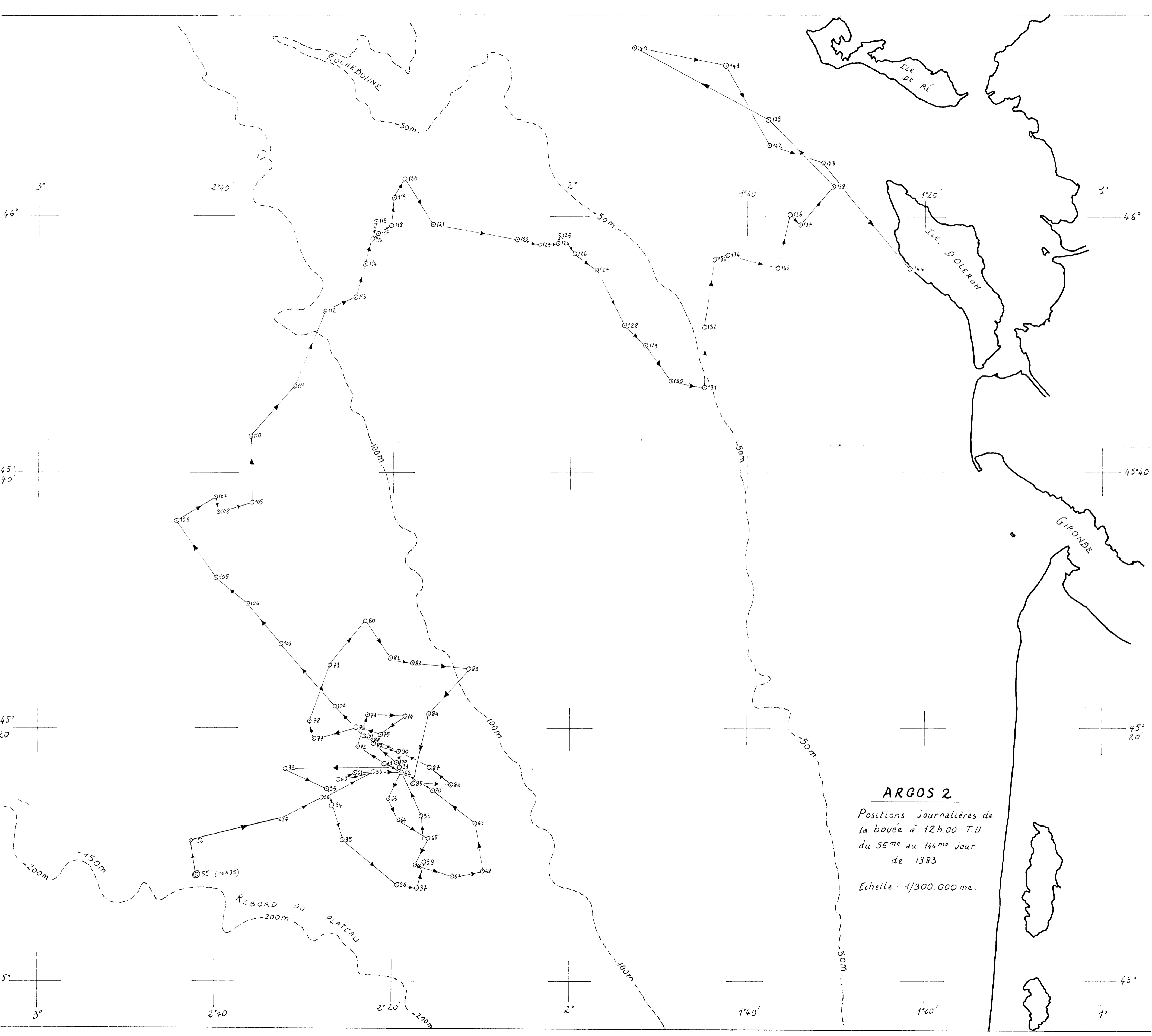
Utilisation de cartes-flotteurs pour l'étude des dérives de surface et
application à la prévision des pollutions côtières.
La Houille Blanche, Grenoble, n° 8, p. 769-778.

Service ARGOS

Le système ARGOS de collecte de données et de localisation par satellite.
Public. Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, 12 p.

SITARZ J., 1955

Résultats de la détermination dans le Golfe de Gascogne et la Manche des courants superficiels par la méthode des flotteurs dérivants.
Trav. du CREO, Paris, vol. 11, n° 8-9, 15 p.



ARGOS 2

Positions journalières de
la bouée à 12h00 T.U.
du 55^{me} au 144^{me} Jour
de 1983

Echelle: 1/300.000 me.

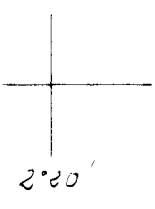


ARGOS 1

Positions journalières
de la bouée à 12 h 00 T.U.
du 55^{me} au 123^{me} Jour de 1983

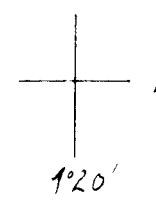
Echelle: 1/300.000 me

45°20'



2'

1°40'

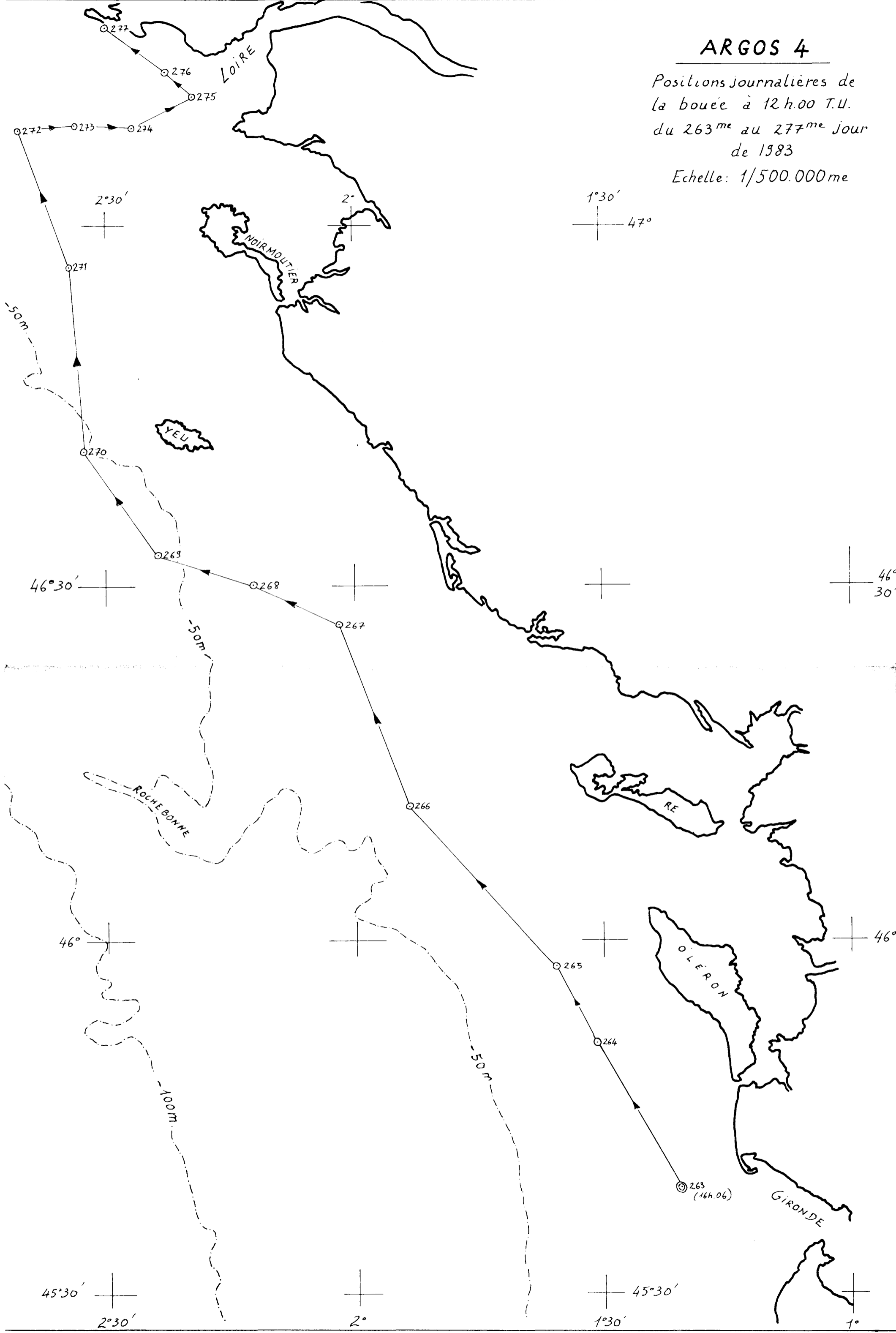


1,5°20'

ARGOS 4

Positions journalières de
la bouée à 12 h.00 T.U.
du 263^{me} au 277^{me} jour
de 1983

Echelle: 1/500.000me



ARGOS 3

Positions journalières
de la bouée à 12h00 T.U.
du 263^{me} au 287^{me} jour
de 1983

Echelle : 1/500.000me.

