

CHAPTER 19

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

J. Germain, G. Forest et P. Jaffry
Laboratoire National d'Hydraulique - Chatou - France

La connaissance des mouvements de sédiments marins est un des problèmes qui conditionnent essentiellement les travaux maritimes. Des méthodes diverses pour l'aborder ont été essayées avec plus ou moins de succès : levés hydrographiques - analyses granulométriques, chimiques - recherche des stocks fournisseurs de sédiments - emploi de traceurs colorés.

La possibilité d'utiliser les propriétés des radio-éléments artificiels a suscité de nombreux espoirs et dans le monde entier les ingénieurs se sont penchés sur le problème. De nombreuses difficultés ont immédiatement surgi et la diversité des méthodes employées montre qu'une doctrine générale ne s'est pas encore dégagée.

On peut classer ces difficultés en trois grands groupes :

- marquage des sédiments,
- détection des mouvements,
- exploitation des résultats.

Après l'analyse des différentes méthodes employées, la présente note expose les solutions adoptées par le Laboratoire National d'Hydraulique à propos d'une campagne de mesures en précisant les difficultés résolues et celles restant à résoudre.

METHODES EN CONCURRENCE

MARQUAGE DES SEDIMENTS

Les solutions adoptées se classent en deux grandes familles :

Marquage du sédiment naturel - Les partisans de cette méthode estiment à juste titre, qu'en marquant le sédiment naturel lui-même, on est certain l'exactitude des mouvements du sédiment marqué. Trois méthodes sont en présence nécessitant toutes trois un prélèvement du sédiment.

- Activation du sédiment naturel dans un réacteur atomique [7]. Cette méthode n'est valable que lorsqu'il existe dans la composition du sédiment un élément chimique susceptible d'être activé. C'est donc une méthode qui ne présente aucun caractère de généralité. De plus, l'expérimentateur n'étant pas libre du choix de l'élément radioactif risque de se trouver en présence d'un élément à vie trop brève et par suite de n'avoir pas le temps de faire de prospections (phénomène à observer trop lent - conditions météorologiques ou maritimes ne permettant pas la prospection immédiate).

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

- Imprégnation du sédiment naturel par un élément radioactif. Dans ce procédé, les particules du sédiment naturel sont recouvertes par adsorption d'une couche radioactive, soit par des moyens chimiques (réduction de nitrate d'argent radioactif [4, 5, 6]) ou physiques (cuisson à 500° [14]). Cette méthode présente l'avantage sur la précédente de laisser l'opérateur libre du choix du traceur. Elle présente par contre l'inconvénient de nécessiter des manipulations longues et onéreuses d'importantes quantités de matériaux activés.

- Inclusion d'une particule radioactive dans chaque élément du sédiment. Cette méthode n'est valable que pour de très gros éléments : galets [2, 3].

Utilisation d'un sédiment artificiel - Afin d'éviter les opérations de prélèvements, de transports et de marquage d'importantes quantités de sédiments naturels, d'autres expérimentateurs ont préparé séparément un sédiment artificiel en faible quantité mais fortement activé, appelé à être mélangé au sédiment naturel. Ce principe, le plus fréquemment adopté [2, 3, 8, 9, 10, 12, 13, 15], n'est valable que dans la mesure où l'expérimentateur est certain d'obtenir un sédiment artificiel dont le comportement soit analogue à celui du sédiment naturel.

Pour cela, tous les expérimentateurs ont utilisé un sédiment artificiel ayant la même densité et la même distribution granulométrique que le sédiment naturel. Le Laboratoire National d'Hydraulique a pris la précaution supplémentaire de procéder à des essais comparatifs en canal dans des conditions d'essais très diverses.

IMMERSION DES SEDIMENTS

Tous les opérateurs sont d'accord sur le fait que le traceur doit être déposé sur le fond. Les différences entre les divers procédés sont essentiellement d'ordre pratique. Nous mentionnerons simplement l'avantage qu'il y a à cet égard de réduire au maximum la durée des opérations et les précautions à prendre, d'où l'intérêt de l'emploi de faibles quantités de sédiments artificiels.

DETECTION

Deux méthodes sont en présence :

- La détection par prélèvements qui est donc une détection par point. Dans certains cas [7], cette méthode seule est possible étant donnée la nature du rayonnement émis. Elle présente de plus l'avantage d'une très grande sensibilité, particulièrement avec le procédé proposé par les Portugais [4, 5, 6], qui consiste à récupérer sur les échantillons l'argent radioactif qui imprègne les grains, et à reconcentrer ainsi la radioactivité du prélèvement. Par contre, elle ne permet pas d'avoir une vue d'ensemble du phénomène. L'opérateur court le risque de ne pas voir une certaine partie des mouvements.

COASTAL ENGINEERING

- La détection continue au moyen d'une sonde trainée sur le fond [2, 3]. Cette méthode nécessite l'emploi de traceurs émettant des rayonnements γ très pénétrants. De plus, elle est peu sensible. Par contre, elle permet d'obtenir une excellente estimation qualitative du phénomène général et d'en avoir la compréhension immédiate.

La solution idéale consisterait donc en une combinaison des deux méthodes. Les prélèvements permettent l'étalonnage des détections continues. Toutefois, pour que les prélèvements soient vraiment utiles, il serait nécessaire qu'ils donnent des indications sur l'épaisseur des mouvements. Certains auteurs [4, 5, 6] l'ont estimée à 4 cm; nous pensons pour notre part que la couche intéressée est beaucoup plus épaisse (voir plus loin : expérience de l'Adour). Le problème à résoudre est donc celui du carottage, facile pour les vases, non encore résolu pour les galets.

METHODE ET APPAREILLAGES UTILISES PAR LE LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE

Le Laboratoire National d'Hydraulique a effectué, en 1956 et 1957, deux séries d'expériences de traceurs radioactifs. Ces expériences avaient pour but de recueillir quelques renseignements sur le transport littoral, en vue d'études ultérieures sur modèle réduit.

L'une de ces séries d'expériences a été consacrée à l'étude des mouvements de galets dans le cours inférieur et à l'embouchure du Var, sur la côte méditerranéenne, tandis que l'autre était destinée à l'étude des mouvements de sable au voisinage de l'embouchure de l'Adour, sur la côte atlantique.

La préparation de ces expériences a été effectuée en étroite collaboration avec les ingénieurs du Commissariat à l'Energie Atomique de Saclay (France) et a donné lieu, en particulier pour l'étude des mouvements de sable, à la mise au point d'appareillage et de méthodes de travail que nous allons décrire.

ETUDE DES MOUVEMENTS DE GALETS

Nous passerons rapidement sur l'utilisation des traceurs radioactifs pour l'étude des mouvements de galets, car les conditions locales de l'expérience que nous avons effectuée dans le Var (faibles profondeurs, zones d'études réduites) nous ont permis de travailler avec un appareillage relativement simple.

Fabrication du traceur - Les galets ont été marqués par inclusion d'une particule radioactive. Après perçage d'un trou de 8 mm de diamètre, on a introduit dans chaque galet une aiguille de tantale 182 de 5 mm de longueur. La cavité était ensuite obturée par du ciment expansif à prise rapide. Le tantale 182 est un radioisotope émettant des rayonnements gamma de 0,1 à 1,2 MeV et de 111 jours de période (demi-vie).

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

Immersion des galets - Etant donné la grande vitesse de chute des galets dans l'eau et les faibles profondeurs rencontrées, aucun risque de dispersion du traceur n'était à craindre pendant l'immersion. Les galets ont donc été déversés sans précautions spéciales en divers points du Var et de la côte au voisinage de l'embouchure.

Détection - Nous avons utilisé, pour la détection des galets rejetés à l'air libre, un gammamètre SRAT type GMT-14, couramment employé dans la prospection des minerais radioactifs. Il permettait de déceler la présence des galets à 2 mètres de distance. Pour la recherche des galets immergés, le gammamètre était connecté à une sonde trainée sur le fond qui pouvait détecter les galets radioactifs dans un rayon de 0,4 mètre environ.

ETUDE DES MOUVEMENTS DE SABLE

Pour l'application de la méthode des traceurs radioactifs à l'étude des mouvements de sable, nous avons été amenés à étudier et à réaliser, avec la collaboration du Commissariat à l'Energie Atomique, un appareillage spécialement conçu et à mettre au point des méthodes de détection. Certains des dispositifs imaginés ont été brevetés.

En effet, le problème posé présentait beaucoup plus de difficultés que celui des mouvements de galets dans le Var :

- Nous désirions étudier les mouvements du sable fin de la Barre de l'Adour (0,1 à 0,4 mm environ) dans des profondeurs pouvant atteindre 15 mètres.

Dans ces conditions, il était indispensable de disposer d'un appareillage d'immersion permettant le dépôt du traceur sur le fond pour éviter qu'il soit dispersé par les courants au cours de sa chute dans l'eau, et répandu sur une surface trop étendue, au début de l'expérience.

-Pendant la mauvaise saison, où se produisent les mouvements de sédiments les plus intéressants à connaître, les tempêtes se succèdent souvent à intervalles très rapprochés. Il fallait donc mettre au point un appareillage et une méthode de détection permettant de lever des zones radioactives étendues, dans le laps de temps le plus court.

Fabrication du traceur - Le traceur était constitué par un sable de verre, de densité égale à celle du sable naturel et présentant la même distribution granulométrique. L'élément marqueur était l'oxyde de Scandium $Sc_2 O_3$, fondu dans le verre au cours de sa fabrication et donnant, par irradiation dans un réacteur atomique, du Scandium 46, émetteur γ dur de 85 jours de période (demi-vie).

Immersion du traceur - Le traceur était livré par le Commissariat à l'Energie Atomique dans des tubes d'aluminium de 25 mm de diamètre et de 70 mm de longueur, contenant environ 50 grammes de sable de verre. Ces containers étaient placés, pour le transport et le stockage, dans des châteaux de plomb.

COASTAL ENGINEERING

Le problème consistait à déposer au fond de l'eau le traceur contenu dans ces tubes en assurant à tout moment la protection des opérateurs contre les radiations et les projections de particules radioactives. Cette opération devait, en outre, pouvoir s'effectuer à bord d'un bateau de petite taille, dans des conditions d'agitation assez gênantes. (Certaines immersions ont été effectuées en mer, par les houles de plus de 2 m de creux).

L'appareil d'immersion (figure 1) est constitué d'un corps basculant, percé d'un canal central et supporté par un étrier. Une tige de blocage permet de fixer le tube contenant le traceur à l'une des extrémités du canal. A l'autre extrémité est disposée une ampoule de verre. Un dispositif, destiné à briser l'ampoule dès que l'appareil arrive au contact du fond, est fixé au dessous de celle-ci.

Cet appareil fonctionne de la façon suivante (figure 2). Après ouverture du château de plomb et du tube contenant le traceur (2 a), l'appareil, suspendu à un mât de charge ou un bossoir, vient coiffer le tube ouvert (2 b). Après fixation du tube sur le corps de l'appareil, à l'aide de la tige de blocage de 2 m de longueur qui sert également à contrôler les mouvements de l'appareil, celui-ci est soulevé et amené au-dessus de l'eau par pivotement du mât de charge (2 c). Le retournement de l'appareil est alors effectué et le traceur contenu dans le tube est transvasé, par gravité, dans l'ampoule de verre (2 d). Il ne reste plus qu'à descendre l'appareil sous l'eau, où, par percussion sur le fond, le marteau vient briser l'ampoule et libérer le traceur (2 e).

Détection - L'emploi d'un traceur émettant un rayonnement gamma de haute énergie nous permettait de détecter directement le traceur sur le fond. Pour accroître encore le rendement des détections, nous avons utilisé un appareillage enregistreur qui nous a permis de réduire les opérations de détection à celles d'un simple levé hydrographique.

Nous avons utilisé, à cet effet, un appareillage de prospection de mines radioactives dans les forages (figure 3). Il comprenait :

- une sonde détectrice composée de 8 compteurs de Geiger-Muller pour rayons gamma, enfermés dans une enveloppe étanche,
- un intégrateur enregistreur recueillant par l'intermédiaire d'un câble, les indications des compteurs et donnant une valeur moyenne de l'activité détectée par la sonde.

Deux méthodes de détection sont utilisables avec un appareillage de ce type :

- pour lever des zones radioactives étendues, la sonde est remorquée à faible vitesse au bout d'une cinquantaine de mètres du câble, par un bateau qui peut ainsi détecter rapidement l'activité du fond le long de profils (4 a). Pour permettre le report sur plan de l'activité relevée, la position du bateau est notée à intervalles réguliers et repérée sur la bande d'enregistrement;

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

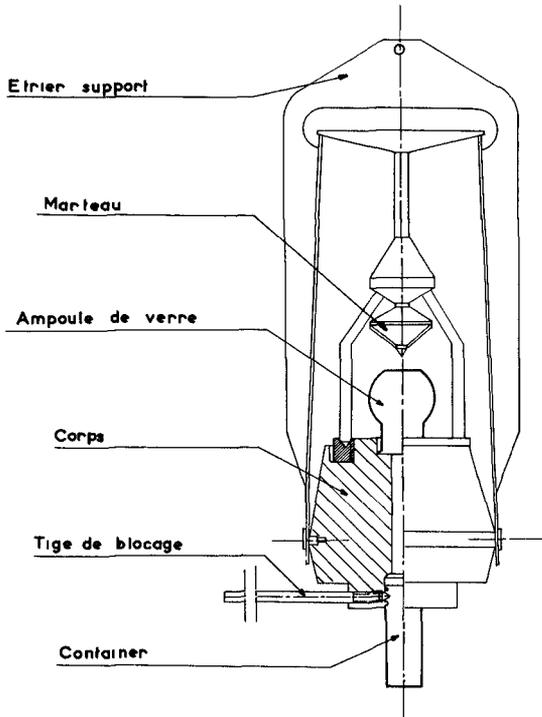


Fig. 1. Appareil d'immersion

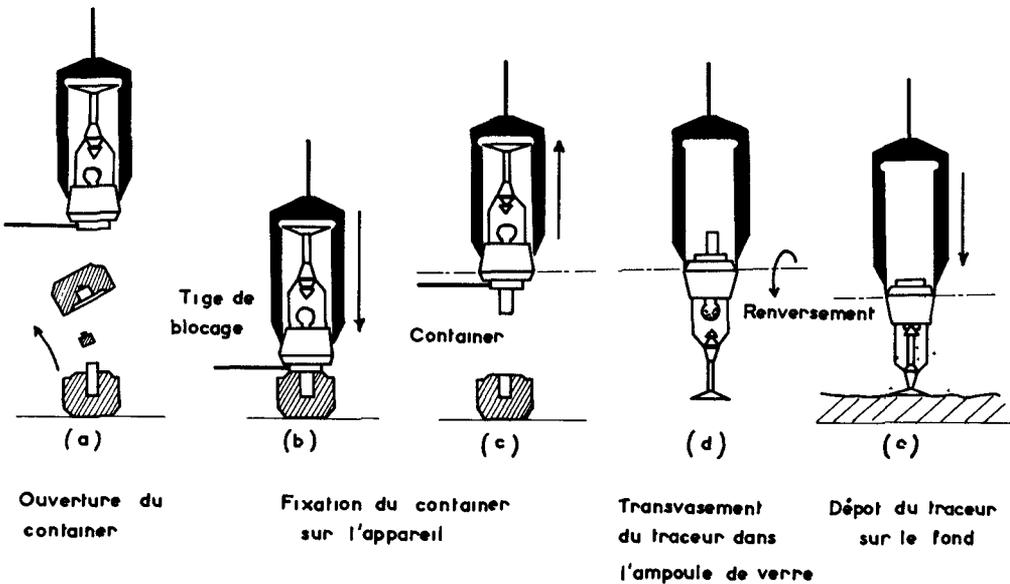


Fig. 2. Principe de fonctionnement de l'appareil d'immersion

COASTAL ENGINEERING

- pour l'étude détaillée d'une zone réduite ou quand les erreurs sur les positions du bateau risquent d'être du même ordre de grandeur que les déplacements du traceur, le relevé de la zone active est effectué par rapport au bateau ancré. Le câble est alors déroulé sur toute sa longueur et le treuil ramène lentement la sonde détectrice à bord (3 b). On peut lever ainsi la zone active par profils rayonnant autour du point de mouillage du bateau.

A partir de cet appareillage de prospection, mis à notre disposition par le Commissariat à l'Energie Atomique, nous avons vu définir les caractéristiques d'un appareillage spécialement conçu pour les expériences de traceurs radio-actifs en mer. Cet appareillage, actuellement en cours de construction, comprendra :

- une sonde détectrice de grande emprise, comportant 5 compteurs de Geiger-Muller et capable de détecter l'activité du fond sur une bande de 1,5 m de largeur environ,
- un dispositif intégrateur enregistreur de faible volume et de construction robuste, spécialement adapté aux dures conditions du travail à la mer.
- un câble de transmission de haute résistance, de 500 m de longueur, enroulé sur un treuil.

Un soin particulier a été apporté à l'étude de la robustesse et de l'étanchéité des divers éléments de l'appareillage.

RESULTATS OBTENUS AU COURS DES EXPERIENCES

Les deux séries d'expériences effectuées par le Laboratoire National d'Hydraulique n'ont sans doute pas donné, surtout en 1956, tous les résultats espérés, mais il faut noter qu'il s'agissait, dans les deux cas, d'expériences pilotes et que nous ne disposions que d'un appareillage encore mal adapté aux conditions particulières des expériences. A l'embouchure de l'Adour, nous trouvions en outre sur la côte française la plus inhospitalière et bien souvent le mauvais temps persistant survenant après des immersions, nous a empêchés de suivre les déplacements du traceur aussi régulièrement que nous l'aurions désiré.

ETUDE DES MOUVEMENTS DE GALETS DANS LE VAR ET SUR LA PLAGE DE NICE

Nous n'insisterons pas sur cette campagne de mesures décrite dans une précédente communication [3]. Rappelons simplement qu'il s'agissait de mettre en évidence des mouvements de galets en trois endroits différents :

- dans le cours du Var où l'on a pu déterminer les vitesses de début d'entraînement des galets et leur vitesse de déplacement en fonction de la vitesse du courant,
- sur la barre de l'embouchure du Var où elle a mis en évidence le fait que les galets en place oscillaient autour d'une position moyenne, sans transports,
- au port de Cros-de-Cagnes où l'on a pu mettre en évidence la vitesse du transport Est-Ouest.

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE
DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

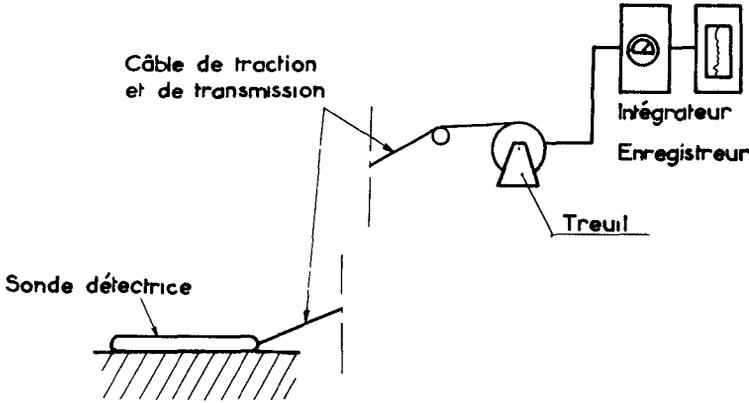


Fig. 3. Schema de principe de l'appareillage de detection

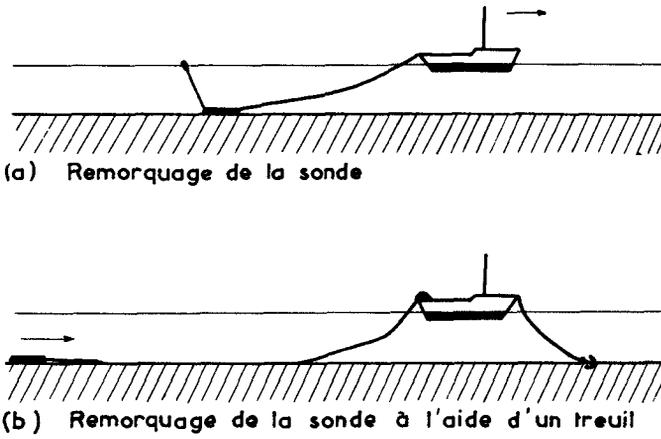


Fig. 4. Methodes de detection

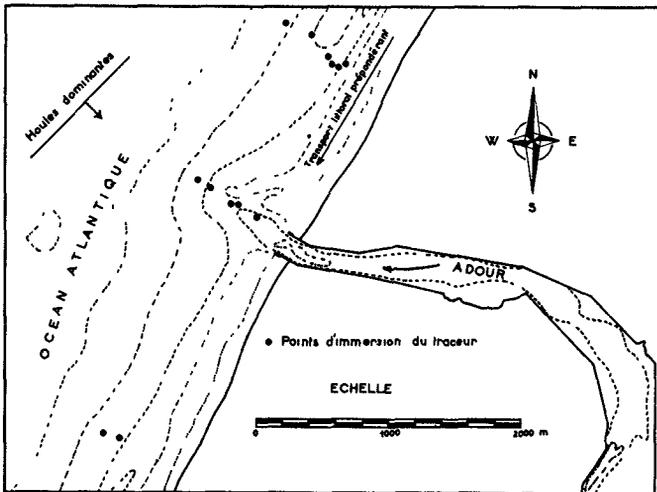


Fig. 5. CARTE DE L'EMBOUCHURE DE L'ADOUR

COASTAL ENGINEERING

ETUDE DES MOUVEMENTS DE SABLE A L'EMBOUCHURE DE L'ADOUR

La campagne de mesures de l'embouchure de l'Adour a comporté deux séries d'expériences effectuées, l'une de Février à Mai 1956, l'autre en Mai 1957.

Rappelons qu'il s'agit ici du débouché en mer de l'estuaire de l'Adour. La marée à cet endroit atteint 4 m de vive-eaux, et l'action combinée de la houle et des courants de remplissage et de vidange de l'estuaire conduisent à la formation d'une barre gênante pour la navigation.

Expériences de Février-Mai 1956 - Les résultats de ces expériences ont été présentés dans une communication antérieure [3]. Elles avaient pour but d'étudier le transport littoral de part et d'autre de l'embouchure.

Deux profils, à 1400 mètres au Nord et à 1900 mètres au Sud de l'embouchure avaient été "marqués" respectivement par six et deux dépôts de traceur radioactif (figure 5). Malgré les conditions d'expérience très difficiles dues à la persistance du mauvais temps, nous avons pu mettre en évidence :

- au Nord, la composante Nord-Sud, parallèle au rivage, du déplacement des sables,
- au Sud, le déplacement des sables, perpendiculairement à la côte, vers le rivage.

Ces deux phénomènes ont été retrouvés depuis sur le modèle réduit.

Expériences de Mai 1957 - Les immersions ont été effectuées sur un profil perpendiculaire au rivage, au droit de la jetée Nord de l'embouchure. Cinq dépôts de traceur ont été immergés de la cote - 3 mètres à la cote - 7 mètres.

Les résultats des trois premières détections sont présentés sur la figure 6 où l'évolution des taches radioactives est mise en évidence par le tracé des lignes isoradioactives.

- Le lendemain de l'immersion (6 a), après quelques heures de houle de 1,40 m de creux moyen, le traceur s'est répandu en nappes allongées, sensiblement parallèles aux lignes de niveau.

- Six jours après l'immersion (6 b), sous l'action combinée d'une courte tempête pendant laquelle le creux moyen de la houle a dépassé 2 mètres, et du courant de jusant à l'embouchure, le traceur provenant des trois dépôts les plus proches du rivage s'est étalé sur la Barre. Les deux dépôts du large, malgré une recherche très serrée, n'ont pas été retrouvés. La comparaison des levés hydrographiques effectués simultanément a montré par la suite que ces dépôts étaient recouverts de plus de 50 centimètres de sable.

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE
DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

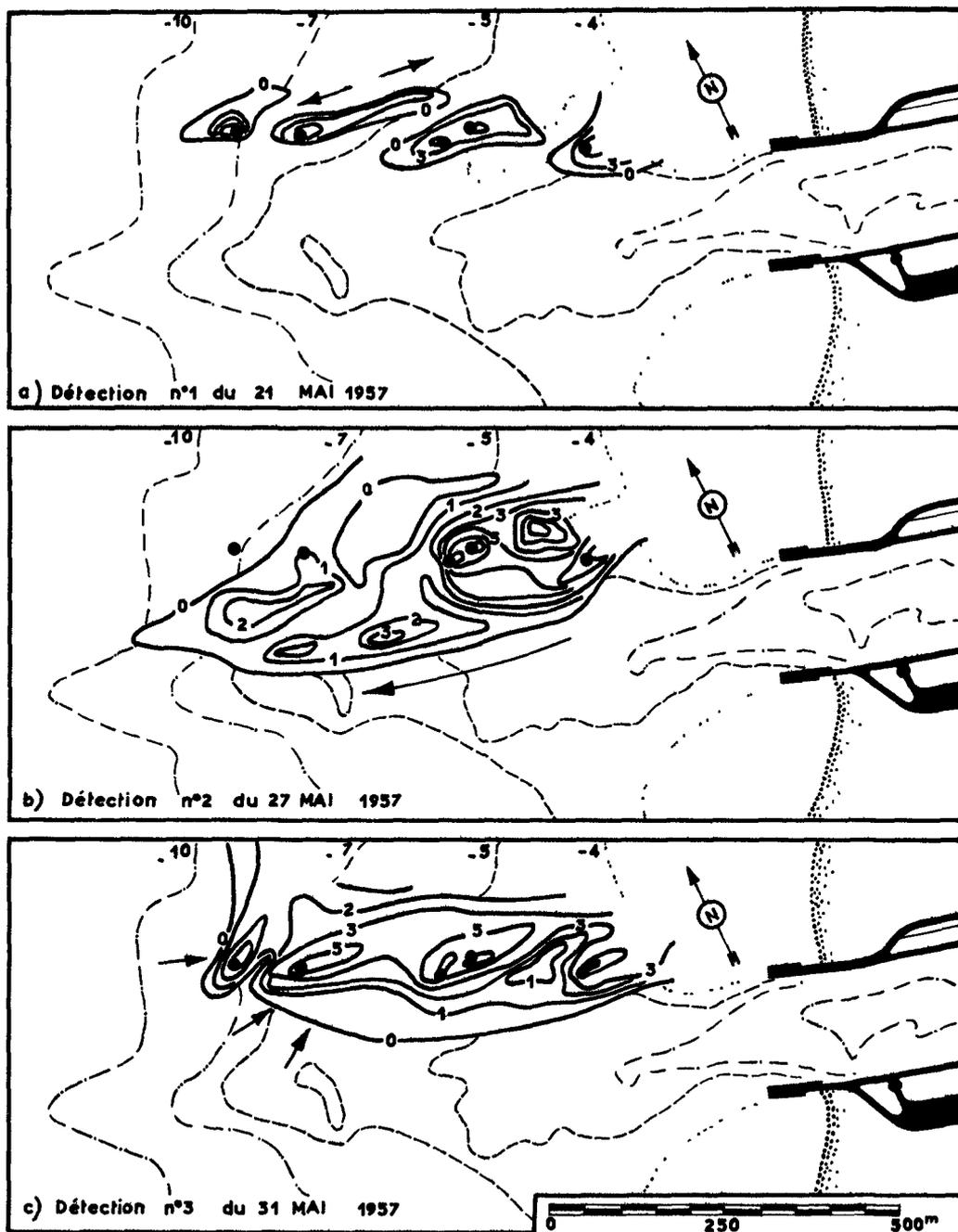


Fig. 6 MOUVEMENTS DE SABLE A L'EMBOUCHURE DE L'ADOUR
IMMERSIONS DU 20 MAI 1957

● POSITION DES POINTS D'IMMERSION DU TRACEUR

COASTAL ENGINEERING

- Une détection effectuée quatre jours plus tard, après une période de beau temps, (6 c) montre d'une part la régression de la tache radioactive et la réapparition des deux dépôts du large. On retrouve, comme dans la première détection (6 a), la tendance du sédiment à se répartir le long de lignes de niveau.

L'exploitation de ces détections et de celles qui les ont suivies, en relation avec les modifications du relief, se poursuit actuellement. Elle semble confirmer que par beau temps, le sable tend à se répartir sur le fond, sans direction bien déterminée, dans une phase de construction d'un profil d'équilibre. Par mauvais temps par contre, le longshore current de direction Nord-Sud, développé par l'attaque oblique de la houle sur la côte Nord, se combine au courant de jusant de l'embouchure et transporte le sédiment sur la barre.

CONCLUSIONS

Les quelques résultats que nous venons de présenter sont encore fragmentaires, mais ils nous semblent, cependant, suffisamment intéressants pour nous inciter à persévérer dans cette voie et à mettre la méthode définitivement au point.

Le fait que des dépôts enfouis sous une certaine épaisseur de sable aient échappé aux recherches montre que la détection en surface ne suffit pas toujours à donner une idée suffisamment précise des mouvements du traceur.

Nous pensons que la principale difficulté à résoudre réside dans la détermination de l'épaisseur de la couche active, qui pourrait peut-être, dans des cas simples où cependant on ne peut pas procéder par cubature de dépôts, permettre la détermination du débit de transport littoral.

Le problème se réduit en fait à la mise au point d'un carottier spécialement adapté aux prélèvements de sable. Pour des raisons d'échantillonnage, cette méthode nécessiterait sans doute également la mise en oeuvre d'un plus grand nombre de grains actifs et il n'est pas prouvé que, dans ces conditions, elle garde tout son intérêt économique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Arlman, J.J. - Santema, P. - Svasek, J.N. (1957). Movement of bottom sediment in coastal waters by currents and waves; measurements with the aid of radioactive tracers in the Netherlands. Progressreport, Juin 1957. Deltadienst.
2. Forest, G. (1957). Observations du charriage littoral au moyen d'éléments radioactifs. Journal de la Marine Marchande n° Spécial "Nouveautés Techniques Maritimes 1957" - Paris.

UTILISATION DES TRACEURS RADIOACTIFS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS DE SEDIMENTS MARINS

3. Forest, G. - Jaffry, P. (1957). Emploi des traceurs radioactifs dans l'étude des mouvements de sédiments sous l'effet de la houle et des courants. Congrès de l'Ass. Int. Rech. Hydr. Lisbonne.
4. Gibert, A. (1955). Essai sur la possibilité d'utiliser Ag 110 dans l'étude du transport du sable par la mer. Ministerio das Obras Publicas. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil. Publication n° 63. Coimbra.
5. Gibert, A. - Vasconcelos Pinheiro, J.F. (1955). Marcacao do areias com prata radioactiva et sua identificacao em amestras empobrecidas na razao de 1/10⁶. Bol. da Ordem das Engenheiras. Vol. IV, Février 1955.
6. Gibert, A. (1957). Emploi de Ag 110 dans l'étude du transport du sable par la mer. Congrès de l'Ass. Int. Rech. Hydr. Lisbonne.
7. Goldberg, E.D. - Inman, D.L. (1955). Neutron Irradiated Quartz as a tracer of sand movements. Bulletin of the Geological Society of America. Vol. 66, Mai 1955.
8. Hours, R. - Nesteroff, W.D. - Romanovski, V. (1955). Utilisation d'un traceur radioactif dans l'étude de l'évolution d'une plage. Comptendu de l'Académie des Sciences. Tome 240; p. 1798-1799, 2 Mai 1955.
9. Hours, R. - Nesteroff, W.D. - Romanovski, V. (1955). Méthode d'étude de l'évolution des plages par traceurs radioactifs. Travaux du Centre de Recherches et d'Etudes Océanographiques. Volume I, n° 11 - Novembre 1955.
10. Inose, S. - Smiraishi, H. (1956) - The measurement of littoral drift by radioisotopes. The Dock and Harbour Authority. Volume XXXVI, n° 434. Janvier 1956.
11. Kidson, D. - Smith, D.B. - Steers, J.A. (1956). Drift experiments with radioactive pebbles. Nature. Volume 178, n° 4527. Août 1956.
12. Putman, J.L. - Smith, D.B. - Wells, H.M. - Allen, F. - Rowan, G. (1954). Thames Siltation Investigation. Preliminary Experiments of the use of Radioactive Tracers for Indicating Mud Movements. Publication A.R.H.E./I.R. 1576 - Harwel. Décembre 1954.
13. Putman, J.L. - Smith, D.B. (1956). Radioactive Tracers Techniques for sand and Silt Movements under Water. Intern. Journ. of Apply Radiation and Isotopes. Vol. 1. Bergamen Press. Londres.
14. Smith, D.B. - Eakins, J.D. (1957). Radioactive methods for labelling and tracing sand and pebbles in investigation of littoral drift. Conference Internationale sur les Radioisotopes dans la Recherche Scientifique. Paris. Septembre 1957.
15. Hydraulics Research Station (Wallingford England) (1956). Radioactive Tracers in the Thames Estuary. HRS/FLA. Pager 20.