

Évaluation du transport sédimentaire sur une plage macrotidale par traçage fluorescent, Dunkerque Est, France

Corinne Corbau, Hélène Howa, Bernadette Tessier, Amaury de Resseguier et Hervé Chamley

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 319, série II,
p. 1503 à 1509,
1994

Résumé Une expérience d'estimation des transports sédimentaires sur une plage macrotidale du littoral est-dunkerquois (Nord de la France) a été réalisée du 19 au 27 avril 1993 au moyen de traceur fluorescent détecté à l'aide d'un compteur automatique. Les conditions hydrodynamiques se rapportent à une marée de petite vive-eau avec des vents faibles à modérés. En période de vents faibles, l'action du flot est prépondérante et conduit à un transport de sable parallèle à la côte, dirigé vers l'Est. Les vents frontaux modérés de secteur NE induisent un transport perpendiculaire à la côte et vers le haut de plage, favorisant son engraissement.

Mots-clés : Dunkerque, Plage macrotidale, Traçage fluorescent, Transit sédimentaire.

Abstract **Evaluation of the sediment transport on a macrotidal beach
using fluorescent tracers, Dunkerque Est, France**

In order to estimate the sediment transport along a macrotidal beach of the Dunkerque area (northern France) a fluorescent tracer experiment was performed from 19 to 27 April 1993. Hydrodynamic conditions can be characterized as low spring tides with weak to moderate winds. The results indicate that the flood current is the dominant factor during low-energy periods—mainly with a longshore component of transport—whereas during moderate landward winds the swells induce a shore-normal transport leading to nourishment of the beach.

Keywords : Dunkerque, Macrotidal beach, Fluorescent tracing, Sedimentary transit.



**Abridged
English
Version**

THE moderate-energy beaches located east of Dunkerque Harbour are submitted to erosional processes leading to a retreat of the eolian dune field and partial destruction of the local shore protection devices (Corbau, 1993). In order to determine the different factors which control the evolution of this coastal area and to quantify sediment transport, a fluorescent tracer experiment has been performed at two points of the lower foreshore (figure 1). The shoreline orientation is WSW-ENE. Beaches are about 400 m wide and are characterized by a multiple-ridge and runnel system with a height not exceeding 1 m. The sand is very fine and homogeneous with a mean grain size of about 200 μm (Vicaire, 1991). The tidal range reaches 5.2 m during mean spring tide. Flood direction is ENE whereas ebb direction is

WSW. The experiment area is characterized by three parallel shore breakwaters which emerge during low tide. In order to evaluate the effects of shore protection devices on sedimentary processes, the first point, called MALO, has been implanted in an urbanized zone close to the breakwater, and the second one, called DUNE, in a natural zone in front of an eolian dune field.

Tidal ranges during the experiment varied from 4.5 to 5.1 m (low spring tide). In association with these tidal ranges, flood velocity reached 0.5 m/s and ebb about 0.4 m/s (Mancel, 1992). Meteorological conditions during the experiment varied as follows (figure 3): from 19 to 25 April, winds were very weak and blew from the SW to the SE (seaward winds). During this period, tidal currents were the main hydrodynamic agent. From 25 to

C. C., B. T. et H. C. : UFR des Sciences
de la Terre,
Laboratoire de Sédimentologie et
Géodynamique,
SN5, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex,
France;

H. H. et A. R. : Département de
Géologie et d'Océanographie,
Université de Bordeaux-I, avenue des
Facultés,
33045 Talence Cedex, France.

Note

présentée par
Jean Dercourt.

remise le 18 juillet 1994,
acceptée le 5 octobre 1994.

27 April northeastern winds with velocities exceeding 10 m/s formed moderate waves which became the main hydrodynamic factor.

In order to respect the physical properties of the natural sand, the fluorescent tracer consists of a dyed natural sand taken on the beach (White and Douglas, 1989). At low tide, 100 kg of tracer were deposited in a hole made on a ridge crest and were covered by a few centimetres of natural sand. The quantity of tracer injected and the thickness of dyed and natural sand were chosen in function of the local hydrodynamic conditions. By comparison a quantity of 300 kg are commonly used on the wave-dominated beaches of the French Atlantic Coast (Castaing *et al.*, 1991; Michel, 1993). During the following high tide the fluorescent sand was eroded and transported from the source point by the hydrodynamic agents. The tracer displacement was then surveyed at low tide, using an automatic counter of fluorescent grains. In addition, core samples were taken at and around the source point, to estimate the thickness of eroded and moving sand (de Resseguier, 1987; Castaing *et al.*, 1991; Howa and de Resseguier, 1994). The data obtained with the counter were directly computed and were mapped in order to 1) define spatio-temporal displacement of the fluorescent cloud (**figure 2 a and b**), 2) quantify the transported sand mass.

From April 19 to 25, during low-energy conditions, the gravity centre of the fluorescent cloud at the point DUNE, in the natural zone, displayed small and regular displacements toward the east, *i.e.* correlative to flood direction (**figure 4**). This result is confirmed by the shape of the fluorescent cloud which was more extended eastward. During the first tide, about 3.3 kg of tracer were mobilized and on the following days, new erosions occurred at the source. To avoid problems of contamination due to new erosions at the source, the displacement velocity was calculated from the data of

the first 3 days. This velocity was 1.3 m per day. At the same time, at the point MALO, close to the breakwater, displacement were more complex and greater (**figure 5**). In addition to the eastward direction of transport, similar to that in DUNE area, a southward, *i.e.* landward, component clearly exists. This last component certainly favours the nourishment of the upper beach. At the first tide about 8 kg of tracer had been eroded at the source and transported. The day after no more erosion occurred at the source. As a consequence the weight of recovered tracer decreased day after day. During seven high tides, the resultant movement was about 6 metres to the SE and gave a mean velocity of 1.2 m per day. The difference between MALO and DUNE sectors is probably due to the effect of the breakwaters which seem to moderate the longshore transport.

During the second period of the experiment, from 25 to 27 April, the southward component was enhanced at the point MALO and also appeared at the point DUNE. These movements result from the effect of the moderate landward winds, blowing from the NW to the NE, with speeds greater than 9 m/s. At the DUNE point the gravity centre is moved about 7.5 m to the south and at the MALO point about 6.5 m to the SW. On April 27, the tracer was completely dispersed due to NE winds at about 12 m/s. This moderate conditions induced a shore-normal transport to the south which favoured nourishment of the upper beach.

This first experiment of fluorescent tracer on the beach of the Dunkerque area clearly demonstrates that the nourishment of the beach is favoured during moderate-energy conditions and that longshore transport occurs during fair-weather due to tidal currents. In a second stage, the same experiment will be performed during storm conditions in order to compare the transport mechanisms.

I. INTRODUCTION

Le littoral est-dunkerquois est soumis à des phénomènes d'érosion qui se traduisent par un amaigrissement des plages, un recul du cordon dunaire et une destruction plus

ou moins importante des ouvrages de défense (Corbau *et al.*, 1993). Dans le cadre d'une étude visant à définir les facteurs qui contrôlent l'évolution sédimentaire de ce littoral, une expérience de traçage fluorescent a été réalisée en bas de plage, du 19 au

27 avril 1993 (figure 1). Cette expérience s'est déroulée conjointement en deux points du littoral, un premier en domaine urbanisé, un second en domaine naturel, l'objectif étant de déterminer l'origine et l'importance des transits sédimentaires en bas de plage, et d'appréhender l'influence des ouvrages de protection (digue, jetée, brise-lames...) sur les mécanismes de transport.

II. MÉTHODE

La méthode est basée sur l'immersion à marée basse d'un traceur fluorescent dans la zone intertidale inférieure. Le traceur est un sable prélevé sur le site d'étude, puis coloré à l'aide d'une peinture fluorescente orange. Il présente le même comportement hydrodynamique que le sable naturel (White et Inman, 1989, *a et b*). Le sable traceur est déposé dans un trou creusé sur l'estran, puis recouvert de sable naturel. Les dimensions du trou et l'épaisseur du sable fluorescent et naturel dépendent des conditions hydrodynamiques locales. Dans le cas présent, 100 kg de traceur ont été immergés par point. Par comparaison, 200 à 300 kg de sable fluorescent sont utilisés sur les plages de plus haute énergie de la côte Aquitaine (Castaing *et al.*, 1991; Michel, 1993). Le site et le point d'immersion sont repérés à l'aide de jalons qui matérialisent un repère géographique orthonormé indispensable pour les détections ultérieures. Lors de la pleine mer suivante, le sable fluorescent est mis en mouvement par les agents hydrodynamiques et se retrouve dispersé.

Le déplacement du traceur est suivi à la basse mer suivante. Classiquement, la méthode consiste à réaliser sur le site un échantillonnage aveugle et complet de la zone, donnant lieu à un comptage en laboratoire, soit manuellement, soit par comparaison avec des photographies étalons (Gourlez *et al.*, 1978). Récemment, le département de Géologie et d'Océanographie de l'Université de Bordeaux a développé une technique qui réalise le comptage directement sur le site d'étude à l'aide d'un Détecteur-Compteur Automatique de grains fluorescents (Resseguier, 1987; Castaing *et al.*, 1991; Howa et Resseguier, 1994). Des carottes, d'environ 20 cm de long,

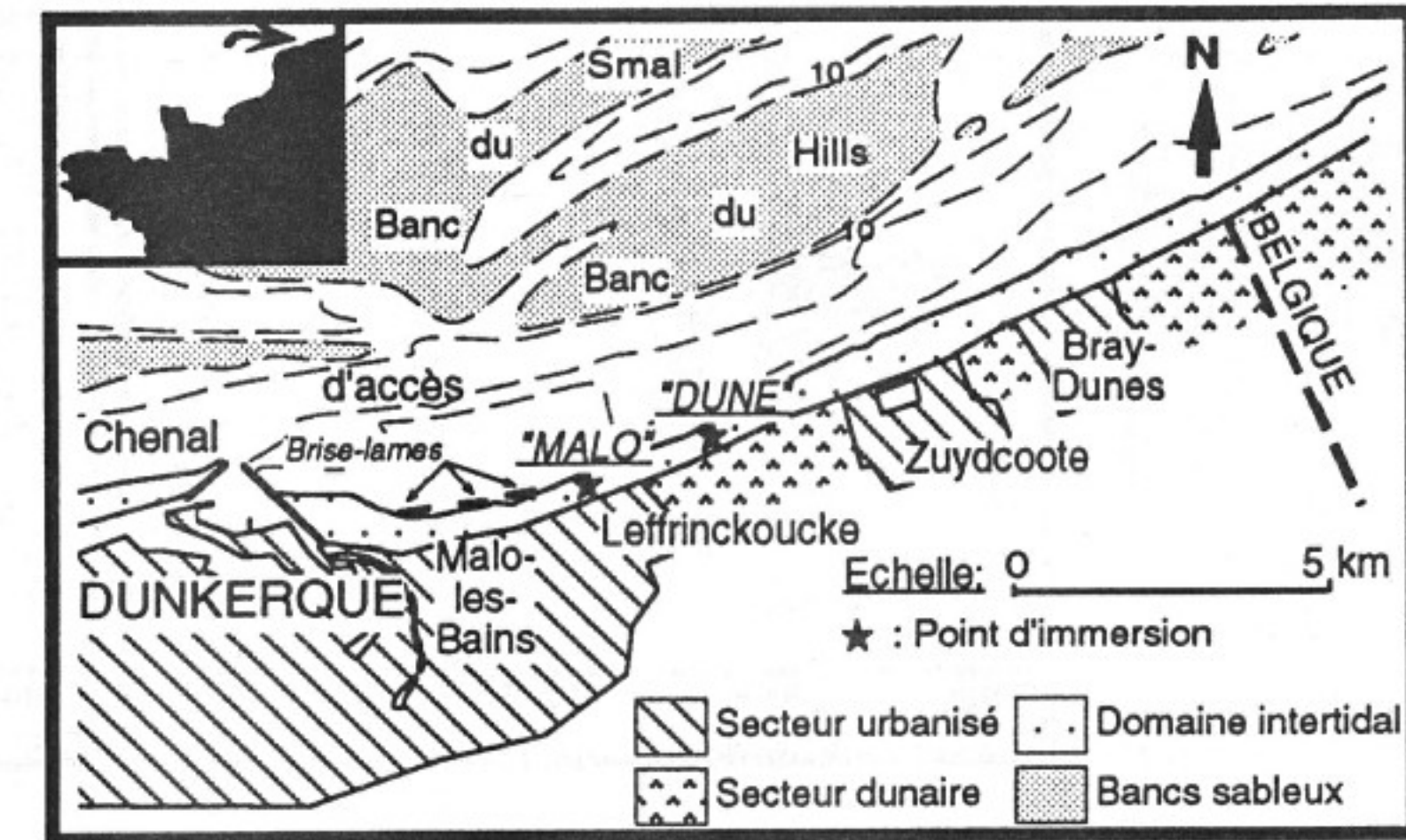


Figure 1 Secteur d'étude et localisation des deux points de traçage fluorescent.

Study area and location of the two points of fluorescent tracer experiment.

sont prélevées au point d'immersion et sur le site de détection pour déterminer l'épaisseur de sable érodé à la source et l'épaisseur de la couche de sable en mouvement, nécessaires pour calculer le poids de sable érodé et détecté. C'est cette méthode qui a été utilisée sur la plage de Dunkerque-est.

Les résultats du comptage sont mémorisés sur ordinateur. Un logiciel de contourage (SURFER) restitue graphiquement les données sous forme de cartes de courbes d'isograin ou d'isodilution (figure 2). L'analyse des données, basée sur les mêmes principes que ceux du traçage radioactif (Courtois et Monaco, 1969; Tola, 1982 et Caillot, 1985), permet:

- 1) de visualiser le déplacement spatio-temporel du centre de gravité du nuage fluorescent;
- 2) de quantifier les masses de sable transportées:

Poids de sable érodé

$$= \text{Épaisseur de sable érodé} \times \text{Surface source} \times \text{densité sable} \times 1000.$$

Poids de sable retrouvé

$$= \sum (\text{Épaisseur de sable remanié} \times \text{Surface contaminée} \times A \times \text{densité sable} \times 1000).$$

A: coefficient de dilution déterminé à partir d'une abaque en fonction du diamètre du grain moyen;

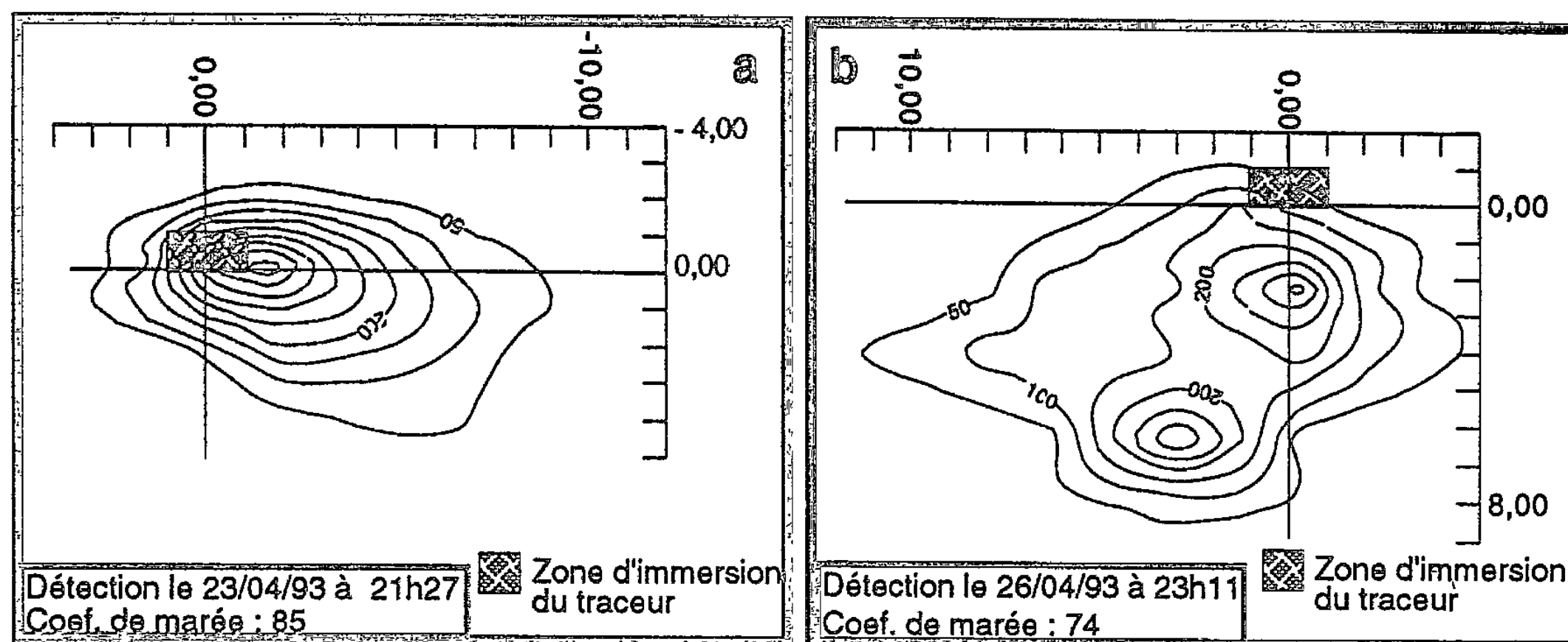


Figure 2 Exemples de cartes de courbes d'isograins au point DUNE. a : pendant la période de vents faibles de SE à SW. b : pendant la période de vents modérés de NE (voir figure 3 pour les conditions météorologiques).

Figure 2

Example of isograin curve maps at the DUNE point. a: during the period of low-energy wind conditions from SE to SW. b: during the period of moderate wind conditions from NE (see figure 3 for meteorological conditions).

Figure 3 Conditions météorologiques pendant l'expérience (vitesse et secteur des vents).

Figure 3

Meteorological conditions during the experiment (wind velocity and direction).

Figure 4 Evolution spatio-temporelle du centre de gravité du nuage fluorescent au point DUNE.

Figure 4

Spatio-temporal evolution of the gravity centre of the fluorescent cloud at the DUNE point.

3) d'établir des diagrammes de transport, visualisant le mouvement et la dispersion du nuage et permettant de calculer la vitesse du déplacement de son centre de gravité.

Le temps d'action des agents hydrodynamiques est considéré comme constant pendant une marée sur l'étendue de la zone de détection.

III. CADRE ET CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE

Le littoral est-dunkerquois est orienté WSW-ENE et soumis à un régime macrotidal, avec un marnage de 5,2 m en période de vive-eau. Les plages, larges d'environ 400 m, sont caractérisées par un système de barres et bâches dont l'amplitude est assez faible (environ 1 m). Le matériel sableux est très homogène, le diamètre moyen des grains est de 200 μm (Vicaire, 1991 ; Corbau, 1991). Une des particularités du littoral est la présence, entre Dunkerque et Leffrinckoucke, de trois brise-lames émergeant à marée basse.

Pendant la période de l'expérience, les coefficients de marée ont varié de 70 à 84 (petites vives-eaux). Des mesures de courant effectuées à la fin 1992 en bas de plage à Malo-les-Bains par le Laboratoire National d'Hydraulique indiquent que les courants sont alternatifs: le flot porte vers l'ENE et le jusant vers l'WSW. Pour des coefficients de 70 à 95, les vitesses du flot sont supérieures à 0,5 m/s, celles du jusant sont de l'ordre de 0,4 m/s (Mancel, 1992). Du point de vue météorologique, deux périodes peuvent être distinguées

pendant l'expérience (figure 3). Du 19 au 25 avril 1993, les vents furent de secteurs SW et SE avec des vitesses inférieures à 10 m/s (mer belle). Les 26 et 27 avril les vents frontaux, de secteur NE, ont soufflé à des vitesses supérieures à 10 m/s (mer peu agitée).

L'un de nos objectifs étant de préciser l'influence des aménagements de protection sur la dynamique sédimentaire littorale, le premier point de traçage (n° 1: MALO) a été placé en domaine urbanisé, à l'Est du système de brise-lames de Malo-les-Bains. Une épaisseur de 5 cm de sable fluorescent fut enfoui sous 2 cm de sable naturel. Le deuxième point (n° 2: DUNE) a été implanté au niveau du système dunaire de Leffrinckoucke-Zuydcoote, secteur naturel le plus proche du point MALO. Le traceur fut disposé sur une épaisseur de 3 cm, recouvert par 1 cm de sable naturel. Les deux points ont été immergés en bas de plage (à environ 0 m NGF), et en sommet de barre pour éviter une dispersion trop rapide.

IV. RÉSULTATS ET MESURES DE DÉPLACEMENT

1. Première période de l'expérience (Vents faibles de terre)

– Au point DUNE (secteur naturel).

Au cours de la période de temps calme, du 19 au 25 avril, le nuage de grains fluorescents s'est étalé à l'Est du point d'immersion. La forme des courbes d'isograin est ovale selon un axe principal orienté EW, c'est-à-dire

parallèle à la côte (figure 2a). Les déplacements du centre de gravité du nuage, point de concentration maximale de grains fluorescents détectés, se faisaient sur un axe EW dans l'une ou l'autre direction et sur de faibles distances, de l'ordre du mètre par marée (figure 4).

A la première marée, environ 3,3 kg de sable fluorescent ont été mobilisés à partir du point source. Les jours suivants, de nouvelles érosions de sable fluorescent sont intervenues à la source, entraînant d'autres apports sur le site. Le poids total de traceur mis en mouvement pendant cette période et déterminé à partir des carottes prélevées au point source, est estimé 25 kg. L'épaisseur de sable remanié est d'environ 2 cm.

Le mouvement résultant du centre de gravité du nuage est de l'ordre de 1 m vers le NE en huit marées. La vitesse du transit est calculée à partir des données des trois premières marées seulement. Le calcul ne tient ainsi pas compte des réalimentations en traceur engendrées par de nouvelles érosions qui masquent le mouvement réel de la tache fluorescente initiale. Ainsi, en 36 h, le stock de 3,3 kg de sable fluorescent érodé à la source s'est déplacé de 2 m vers l'Est. La vitesse du transit sédimentaire est donc estimée à 1,3 m/j.

– Au point MALO (secteur urbanisé).

Pendant la période de temps calme, le nuage s'est déplacé vers le SE. Les courbes d'isograins sont de forme quelconque, mais tendent à devenir ovales en fin d'expérience. Les déplacements du centre de gravité, de l'ordre de 2 à 5 m par marée, sont plus complexes qu'au point DUNE. En effet, en plus d'une composante dirigée vers l'Est, il existe une composante vers le Sud qui correspond à un transport perpendiculaire à la côte (figure 5).

A la première marée, 8 kg de sable fluorescent ont été érodés au point source et mis en circulation. Au cours des marées suivantes et à l'inverse du point DUNE, cette quantité de sable initialement érodée s'est déplacée et dispersée sans que de nouvelles érosions ne se produisent à la source. Le poids de sable fluorescent retrouvé à chaque détection a, par conséquent, diminué de jour en jour. Ainsi lors des premières détections, 5 kg de

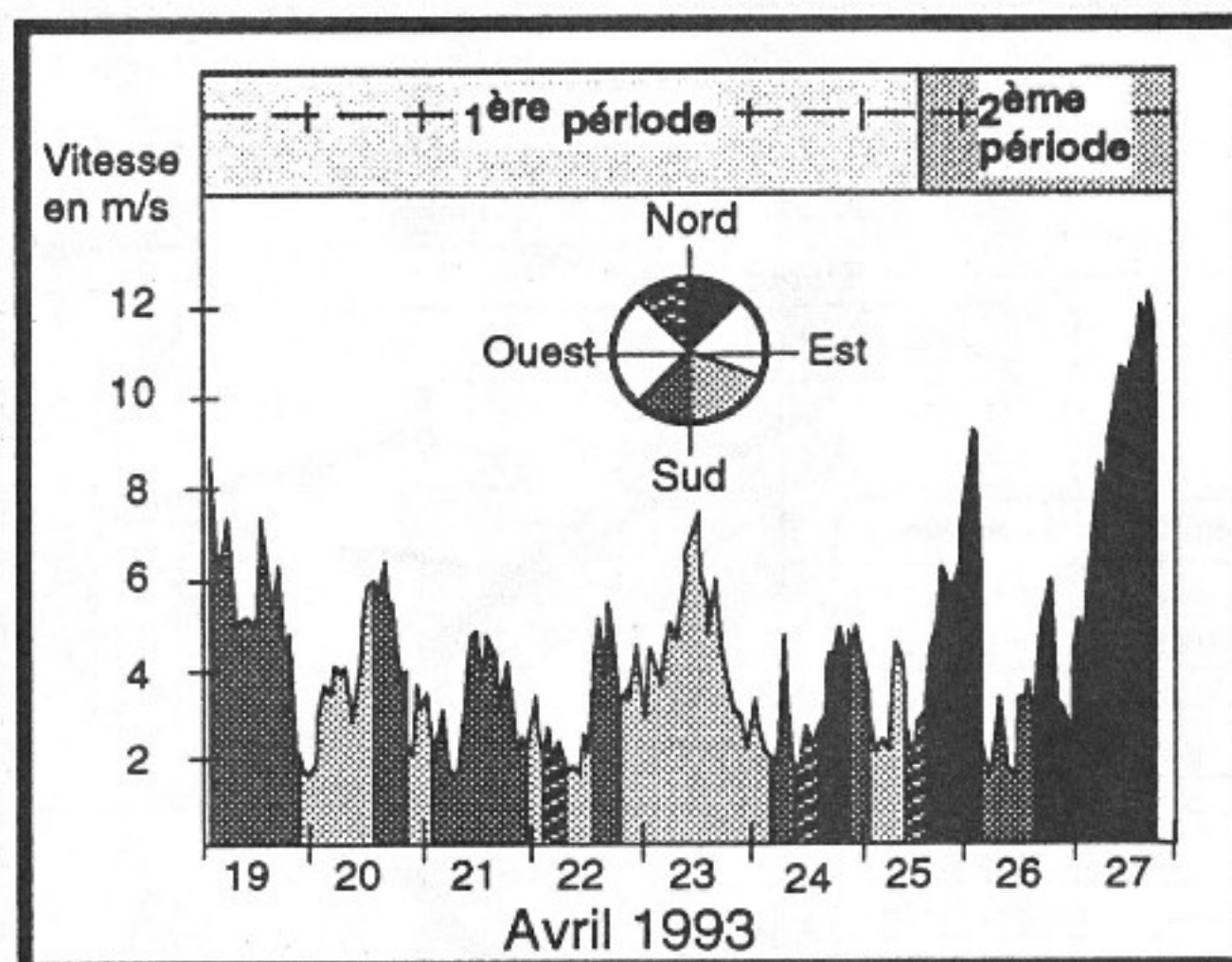


Figure 3

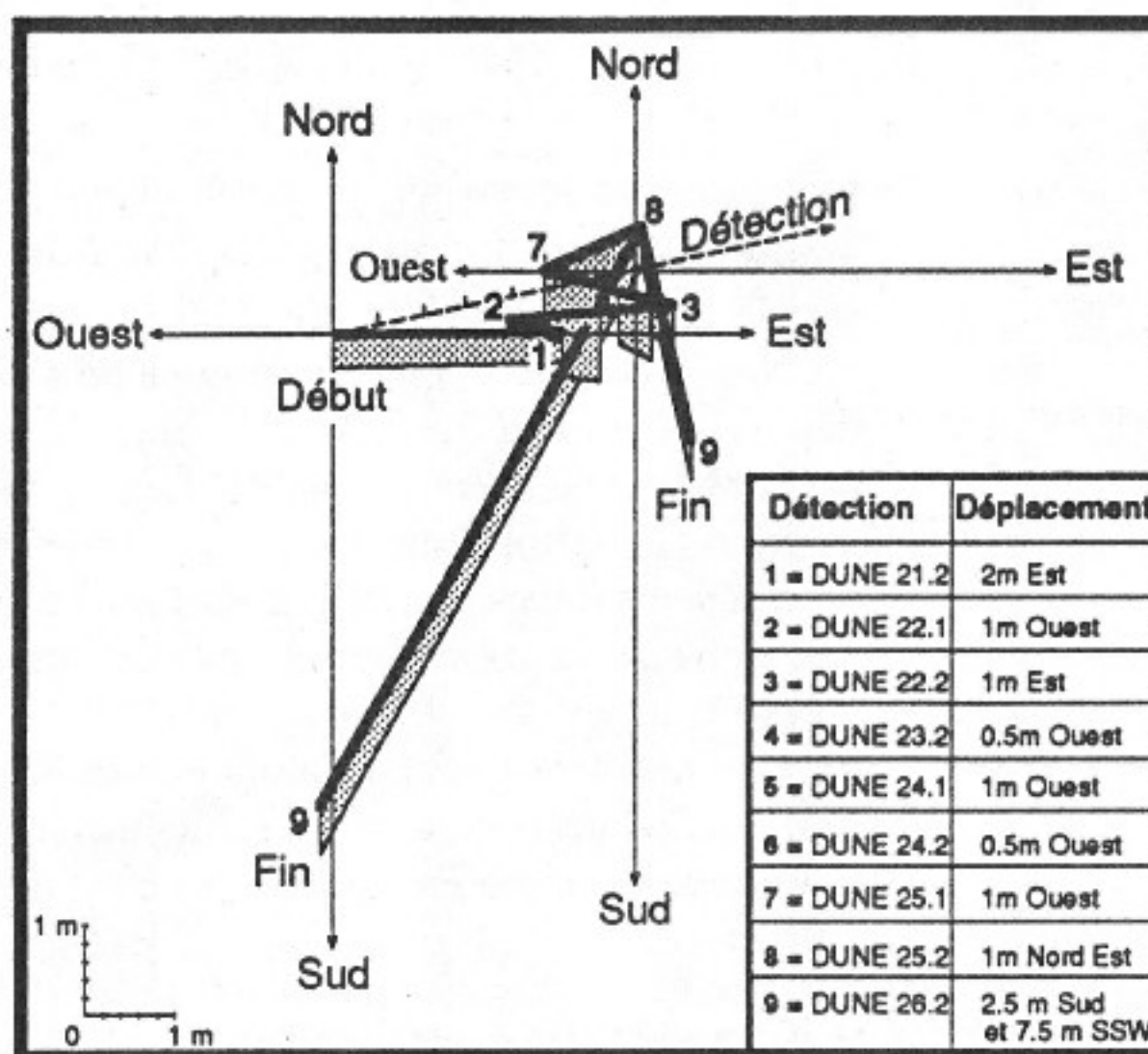


Figure 4

sable fluorescent ont été retrouvés en surface contre 0,5 kg en fin d'expérience. L'épaisseur de remaniement est identique à celle impliquée au point DUNE. Le mouvement résultant est d'environ 6 m vers le SE en sept marées, ce qui équivaut à une vitesse moyenne de 1,2 m par jour.

2. Deuxième période de l'expérience (vents modérés de mer)

Pendant la période du 26 au 27 avril, le déplacement du traceur s'est caractérisé pour

Figures 3 et 4 Légendes page précédente.

Captions on previous page.

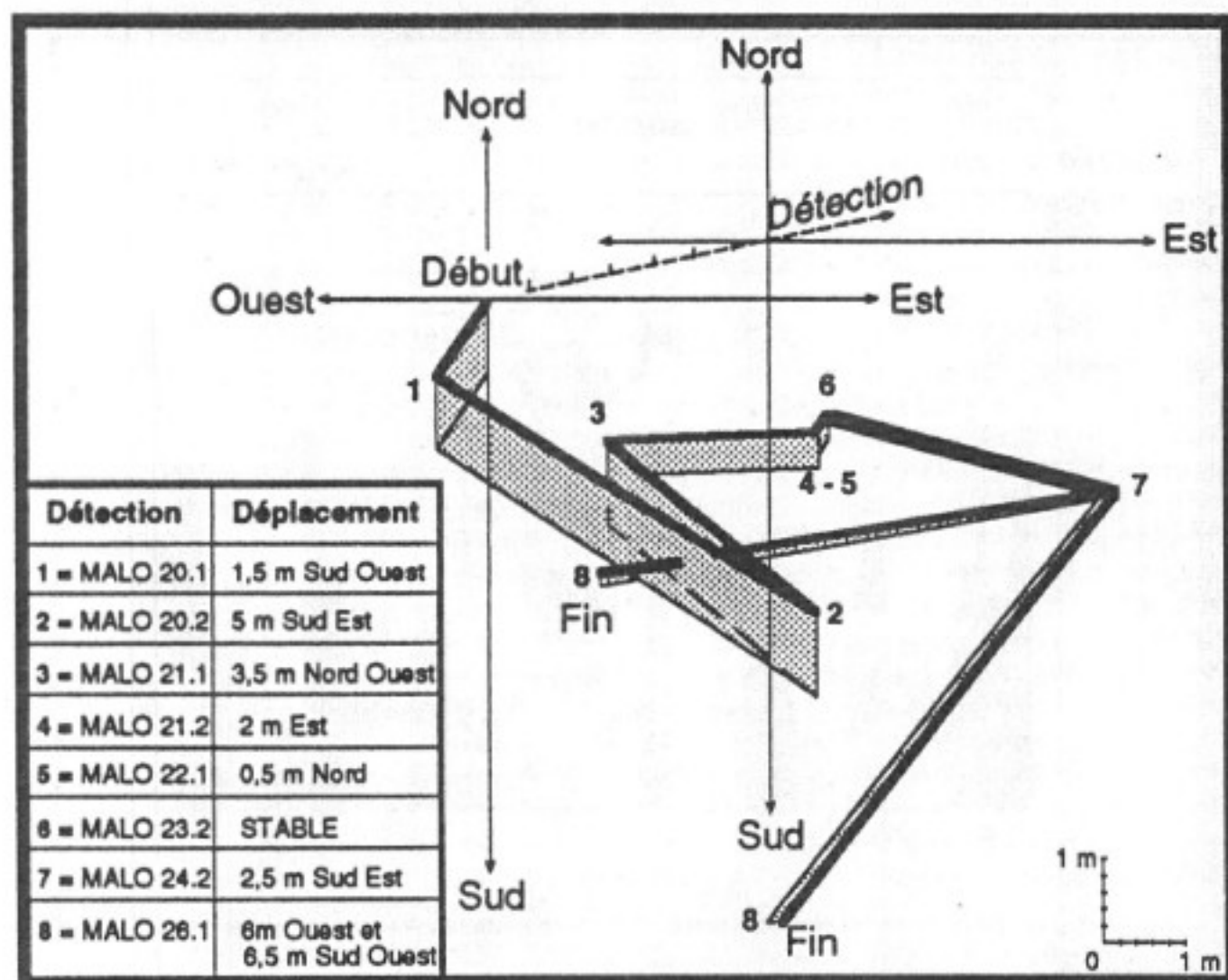


Figure 5 Évolution spatio-temporelle du centre de gravité du nuage fluorescent au point MALO.

Spatio-temporal evolution of the gravity centre of the fluorescent cloud at the MALO point.

les deux points, DUNE et MALO, par des mouvements très nets vers le Sud, c'est-à-dire vers le haut de plage (**figure 2b**). Au point DUNE, le centre de gravité de la tache s'est déplacé d'environ 7,5 m vers le Sud, et au point MALO de 6,5 m vers le SW. Le 27 avril, le traceur était totalement dispersé sous l'effet des vents de secteur NE, dont les vitesses ont dépassé 12 m/s. Néanmoins, les carottages aux points sources ont permis de constater que le traceur restait, alors enfoui sous une épaisseur de 4 cm de sable naturel, n'avait subi aucune érosion.

V. INTERPRÉTATION-DISCUSSION

Les résultats obtenus à partir de cette première expérience de traçage fluorescent sur une plage du littoral est-dunkerquois nous apportent l'enseignement général suivant: les courants de marée de petite vive-eau, associés à des vents faibles à modérés, de terre ou de mer, induisent des déplacements et transits sédimentaires peu importants, voire nuls. De telles conditions hydrodynamiques et météorologiques semblent donc particulièrement propices à une bonne stabilité des plages.

Dans le détail néanmoins, plusieurs points doivent être soulignés:

– Les déplacements sédimentaires parallèles à la côte orientés vers l'Est indiquent que les courants de marée jouent tout de même un rôle dans les mécanismes de transport en bas de plage avec, en particulier, une action prédominante du flot, ce qui confirme les résultats de Bonnefille *et al.* (1971). Néanmoins, la faible amplitude des déplacements témoigne d'une participation minimale des courants de marée de petite vive-eau aux mécanismes de transport.

– En période de vents de terre très faibles, le courant de flot engendre au niveau du secteur naturel (point DUNE) des transports sédimentaires réguliers de faible amplitude, dirigés vers l'Est. En secteur urbanisé (point MALO), à la même période, une composante dirigée vers le haut de plage se surimpose clairement à la composante attribuée à l'action du flot. Cette composante perpendiculaire à la côte contribue à la stabilité, voire à l'engraissement de ce système littoral, et est vraisemblablement due à la proximité des brise-lames.

– Bien qu'atteignant des vitesses de 8 m/s, les vents de terre de secteur SE à SW n'ont pas influencé directement l'évolution sédimentaire du site. Par contre, en période de vents modérés et frontaux, les transports vers le haut de plage deviennent nettement dominants en secteur urbanisé, et apparaissent en secteur naturel; la composante tidale parallèle au rivage devient alors secondaire. Les conditions dynamiques de cette expérience sont les plus favorables à l'engraissement progressif de la plage.

Cette expérience nous permet d'appréhender les mécanismes de transport lors de conditions d'énergie faible à modérée. L'action de vents frontaux de vitesse supérieure à 12 m/s a provoqué la dispersion totale du nuage fluorescent aux deux sites. Ce dernier résultat indique que les conditions limites de stabilité du site ont vraisemblablement été atteintes. Néanmoins, l'énergie développée par ces vents n'a pas été suffisante pour remobiliser les 4 cm de sable naturel qui recouvraient, à ce moment de l'expérience, le sable fluorescent.

VI. CONCLUSION

Afin d'aborder la question des mécanismes responsables du transport sédimentaire sur une plage macrotidale du littoral est-dunkerquois, une première expérience de traçage fluorescent a été réalisée en bas d'estran, du 19 au 27 avril 1993. Cette expérience coïncide avec des marées de petite vive-eau et avec une période de vents faibles à très faibles jusqu'au 25 avril, suivie d'une période de vents frontaux modérés de secteur NE.

Les résultats démontrent que, sur ce littoral, les courants de marée associés à des houles permanentes de beau temps favorisent une stabilité sédimentaire du bas estran, caractérisée par de très faibles transits sédimentaires. La dynamique de transport est contrôlée par le flot. Toutefois, rappelons que l'ex-

périence s'est déroulée par coefficient de petite vive-eau et qu'il serait intéressant de la renouveler pour des marnages reflétant le caractère macrotidal de ce littoral.

Les vents modérés de secteur NE occultent presque totalement la composante tidale et induisent des transits vers le haut de plage favorisant l'engraissement du littoral. Ce phénomène est particulièrement renforcé à proximité des brise-lames. Les conditions hydrodynamiques et météorologiques requises pour la stabilité de ces plages sont donc cernées, les conditions limites ayant pu être appréhendées en fin d'expérience. Le problème est de savoir maintenant s'il est possible, grâce à la méthode de traçage fluorescent, d'étudier et de comprendre les mécanismes de transport qui s'opèrent au-delà de ces conditions limites de stabilité.

Cette étude a été réalisée en partie grâce au financement du SILE (Syndicat Intercommunal du Littoral Est-dunkerquois).

BONNEFILLE, R., LEPETIT, J. P., GRAFF, M. et LEROY, J., 1971. Nouvel avant-port de Dunkerque. Mesures en nature, *Rap. n° 3 HC042/05*, 35 p. + annexes.

CAILLOT, A., 1985. Les techniques nucléaires utilisées en sédimentologie marine, *Cours intensif européen. Connaissance et gestion de la frange littorale et du proche plateau continental*, Bordeaux, p. 67-80.

CASTAING, P., COLLINS, M., RESSEGUIER, A. DE, TASTET, J. P., VINCENT, C., VOULGARIS, G. et WEBER, O., 1991. Stratégie d'étude du transport global des sables (suspension et charriage) dans la zone littorale, *3^e congrès Français de Sédimentologie*, Résumés, p. 67-68.

CORBAU, C., 1991. Bilan sédimentaire pluri-décennal du littoral dunkerquois, *DEA*, Université de Lille-I, 54 p. + annexes, en dépôt à l'Université de Lille-I.

CORBAU, C., CLABAUT, P., TESSIER, B. et CHAMLEY, H., 1993. Modifications morphosédimentaires historiques et récentes du domaine côtier dunkerquois (France), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 316, série II, p. 1573-1580.

COURTOIS, G. et MONACO, A., 1969. Radioactive methods for the quantitative determination of coastal drift rate, *Marine Geology*, 7, p. 183-206.

GOURLEZ, P., CAILLOT, A. et QUESNEY, M., 1978. Contribution à l'étude des mouvements sédimentaires situés à l'est de Zeebrugge, *Rap. DCA/SARR/SAPRA/78/12/C 255*, CEA, 62 p. + annexes.

HOWA, H. et RESSEGUIER, A. DE, 1994. Application of a fluorescent grain detector/counter

for sand transport evaluation in the littoral zone, *OCEANS'94 OSATES*, n° 2/033/10/20 (sous presse).

MANCEL, Y., 1993. Mesures des courants de marée sur le littoral à l'Est de Dunkerque, *Rap. L.N.H. n° HE-45/92.35*, 76 p.

MICHEL, D., 1993. Dynamique sédimentaire en milieu littoral, évolution morphodynamique de la plage de la Salie, *DEA*, Université de Bordeaux-I, 25 p. + annexes, en dépôt à l'Université de Bordeaux.

RESSEGUIER, A. DE, 1987. Un nouveau Détecteur Compteur Automatique (DCA) de grains fluorescents - Application à l'étude du déplacement d'un sédiment, *1^{er} congrès Français de Sédimentologie*, Résumés, p. 147-148.

TOLA, F., 1982. The use of radioactive tracers in dynamic sedimentology - Part I: methodology. Part II: analysis of results, *note CEA-n-2261*.

VICAIRE, O., 1991. Dynamique hydro-sédimentaire en mer du Nord méridionale (du Cap Blanc-Nez à la frontière belge), *Thèse d'Université*, Université de Lille-I, 250 p., en dépôt à l'Université de Lille-I.

WHITE, T. E. et INMAN, D. L., 1989 *a*. Transport determination by tracers - B: Application of tracer theory to NSTS experiments, in *Nearshore sediment transport NSTS*, SEYMOUR, R. J., éd., p. 115-128.

WHITE, T. E. et INMAN, D. L., 1989 *b*. Measuring longshore transport with tracers, in *Nearshore sediment transport NSTS*, SEYMOUR, R. J., éd., p. 287-312.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES