

MESURE, PAR TRACEURS RADIOACTIFS,
DES DEPLACEMENTS SEDIMENTAIRES
AUX ABORDS DU CAP GRIS-NEZ

R. HOSLIN

Ont participé aux mesures :

P. BRISSET - J. MASSIAS - T. ROLL - G. SANNIE

IFREMER-DERO/EL



0EL04402

RESUME

Ce rapport rend compte des mesures effectuées dans le cadre de la convention n° 097535 établie entre la région Nord Pas-de-Calais et le Commissariat à l'Energie Atomique (CEN-SACLAY.ORIS/SAR) pour la réalisation d'une étude intitulée :

"Mesure, par traceurs radioactifs, des déplacements sédimentaires, aux abords du Cap Gris-Nez".

Afin d'apporter des éléments de réponses à ces problèmes deux sites, situés de part et d'autre du Cap sont étudiés.

1 - En baie de WISSANT :

Trois immersions de traceurs sont effectuées le 10 septembre 1986 selon une perpendiculaire à la côte, une sur estran, deux de part et d'autre du Banc à la ligne.

2 - Au Nord de BOULOGNE :

Au large de la Pointe aux Oies, deux immersions de traceur sont effectuées le 11 septembre 1986 selon une perpendiculaire à la côte de part et d'autre de la Bassure de Baas.

Ces mesures effectuées de Septembre 1986 à Février 1987 ont permis :

- Une description du déplacement des sédiments de part et d'autre du Cap Gris-Nez.
- Une approche quantitative des masses en mouvement.
- Une description qualitative et semi-quantitative des variations morphologiques hivernales de l'estran en baie de Wissant.

Cette étude confirme les hypothèses qualitatives faites par L'UNIVERSITE DE SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE sur la dynamique du littoral de WISSANT : Le transit sédimentaire s'effectue parallèlement à la côte. Du SUD vers le NORD au SUD du Cap Gris-Nez. Du SUD OUEST vers le NORD EST devant WISSANT. Cependant l'hypothèse d'une alimentation de l'estran en période de beau temps par des sables provenant du BANC A LA LIGNE n'est pas vérifiée. Pour cela il faudrait réaliser une campagne estivale.

Le grand intérêt de cette étude, est d'avoir permis de quantifier les transports sédimentaires : Ils sont compris, selon les zones et les profondeurs, entre 0,1 et 0,25 m³ par mètre linéaire et par jour. Sur l'estran, ils atteignent 1,7 m³/m.j en période de mauvais temps.

Ces résultats, qualitatifs et quantitatifs, sont indispensables pour lutter contre l'érosion du littoral et assurer la défense des côtes.

I - INTRODUCTION

Face au problème du recul d'une côte, l'Ingénieur se trouve confronté à de multiples problèmes: Faut-il construire des ouvrages et lesquels ? Faut-il, au contraire, ne rien faire et attendre qu'un nouvel équilibre dynamique de la côte se rétablisse? Etant donné que l'érosion d'un rivage résulte d'un déficit sédimentologique, il est indispensable pour prendre des décisions de bien connaître les mécanismes qui provoquent ces processus d'érosion puis d'acquérir une bonne connaissance du régime sédimentaire de la région et du site.

Actuellement, les connaissances théoriques sur les phénomènes fondamentaux ne sont pas suffisantes, en particulier lorsqu'il y a des actions cumulées et simultanées des courants et des houles, pour pouvoir estimer convenablement la circulation des matériaux.

C'est pour ces raisons qu'il est indispensable de réaliser des mesures en nature en utilisant des traceurs radioactifs. Le recul de la côte entre CAP-GRIS NEZ et WISSANT ayant été constaté [Ref. 1,2,3, fig. 1 et 1 bis], l'objectif actuel est de déterminer la direction des transports et les quantités de sédiments transportés dans des conditions hydrométéorologiques connues.

II - DESCRIPTION DE L'EXPERIENCE

La méthode des traceurs est décrite en annexe II à ce rapport.

II.1 - Choix du traceur

Une faible masse de traceur radioactif, représentative des sédiments dont on désire connaître le comportement est introduite dans le milieu. L'évolution des sédiments radioactifs est mise à profit pour déterminer le transport de ces matériaux dans l'espace et le temps. Etant donné que le but de cette étude est de mesurer des mouvements sédimentaires sous l'action des courants et de la houle, pendant plusieurs mois, il est indispensable d'utiliser un radioisotope de période assez longue : l'Iridium 192 (période : 74 j). La granulométrie de ces traceurs a été choisie en collaboration avec le Laboratoire de Sédimentologie de l'Université de Lille en s'appuyant sur différentes campagnes de prélèvements effectuées

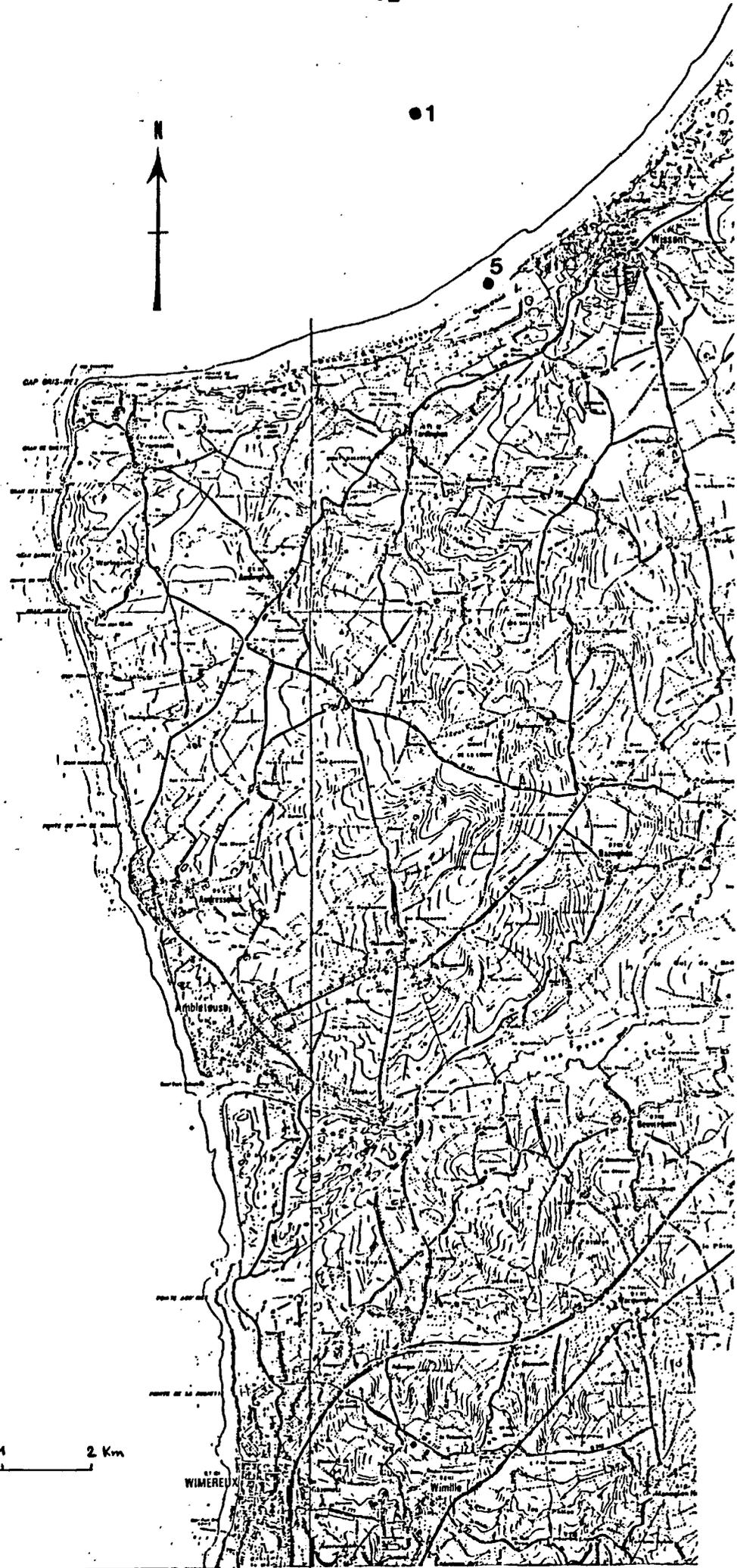


FIGURE 1 - Plan de situation

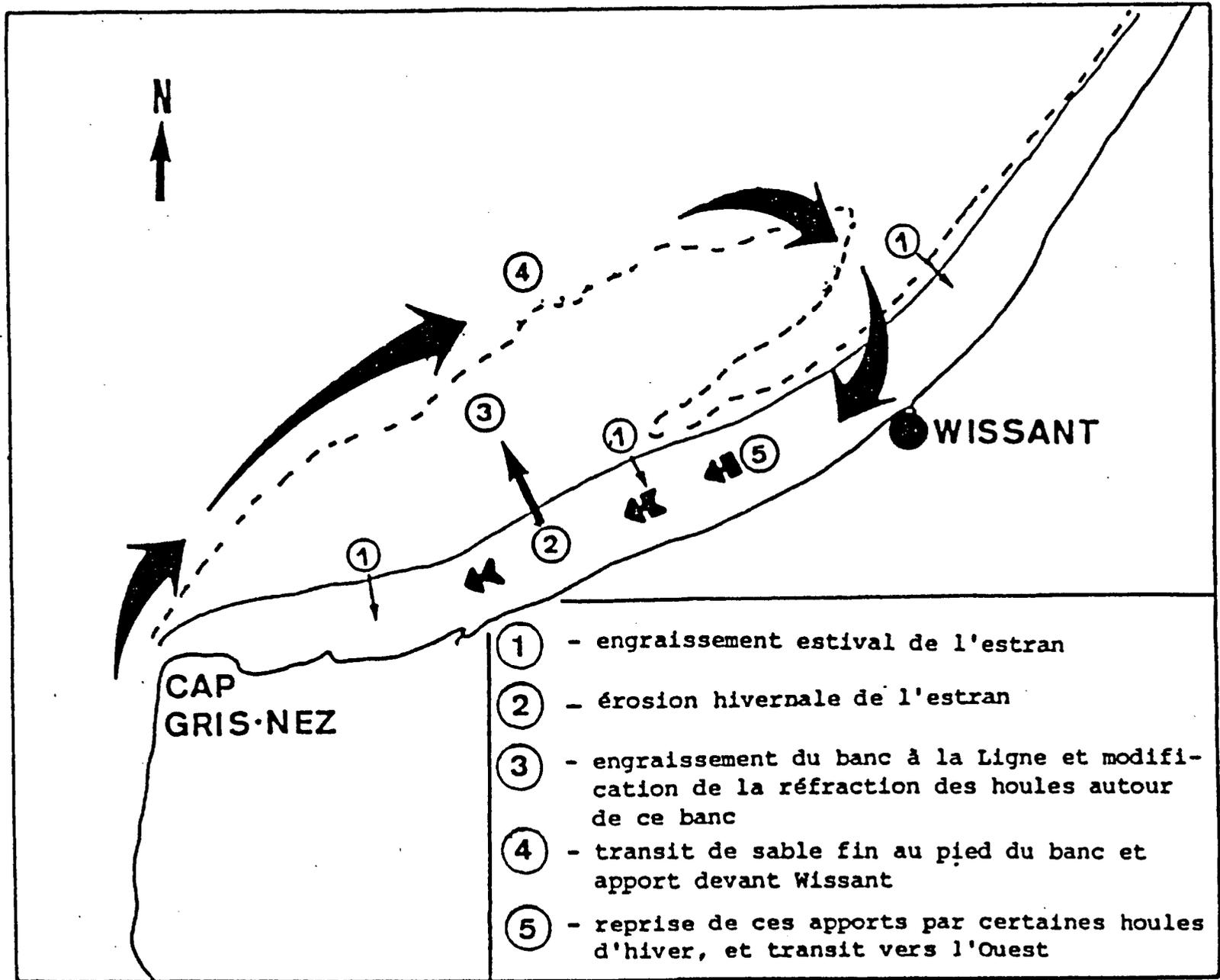


FIGURE 1 BIS - Hypothèse du cycle hydrosédimentaire en baie de Wissant | 2.3 |

antérieurement à cette étude. Les courbes granulométriques des sédiments naturels et des traceurs sont données fig. 2 à 8. Le tableau I résume les caractéristiques des traceurs et des prélèvements effectués le jour de l'immersion.

TABLEAU I

POINT	1	2	3	4	5	
T R A C E U R S 8.9.86	ϕ μm	160-200	200-250	250-315	250-315	200-250
	D50	180	225	280	280	225
	Masse	500 g	500 g	750 g	750 g	500 g
	Activité	37 GBq	39 GBq	33 GBq	67 GBq	28 GBq
	8.9.86	1 Ci	1,05 Ci	0,89 Ci	1,81 Ci	0,75 Ci
P R E L È V E M E N T S	D10	160	360	232	208	
	D50	180	620	350	265	
	D90	230	3262	1644	311	

On constate que les sédiments traceurs sont, sauf au point 1, plus fins que les sables naturels prélevés sur le site le jour de l'immersion. Les conséquences de ces choix ne seront pas sous influence sur les conséquences de cette étude.

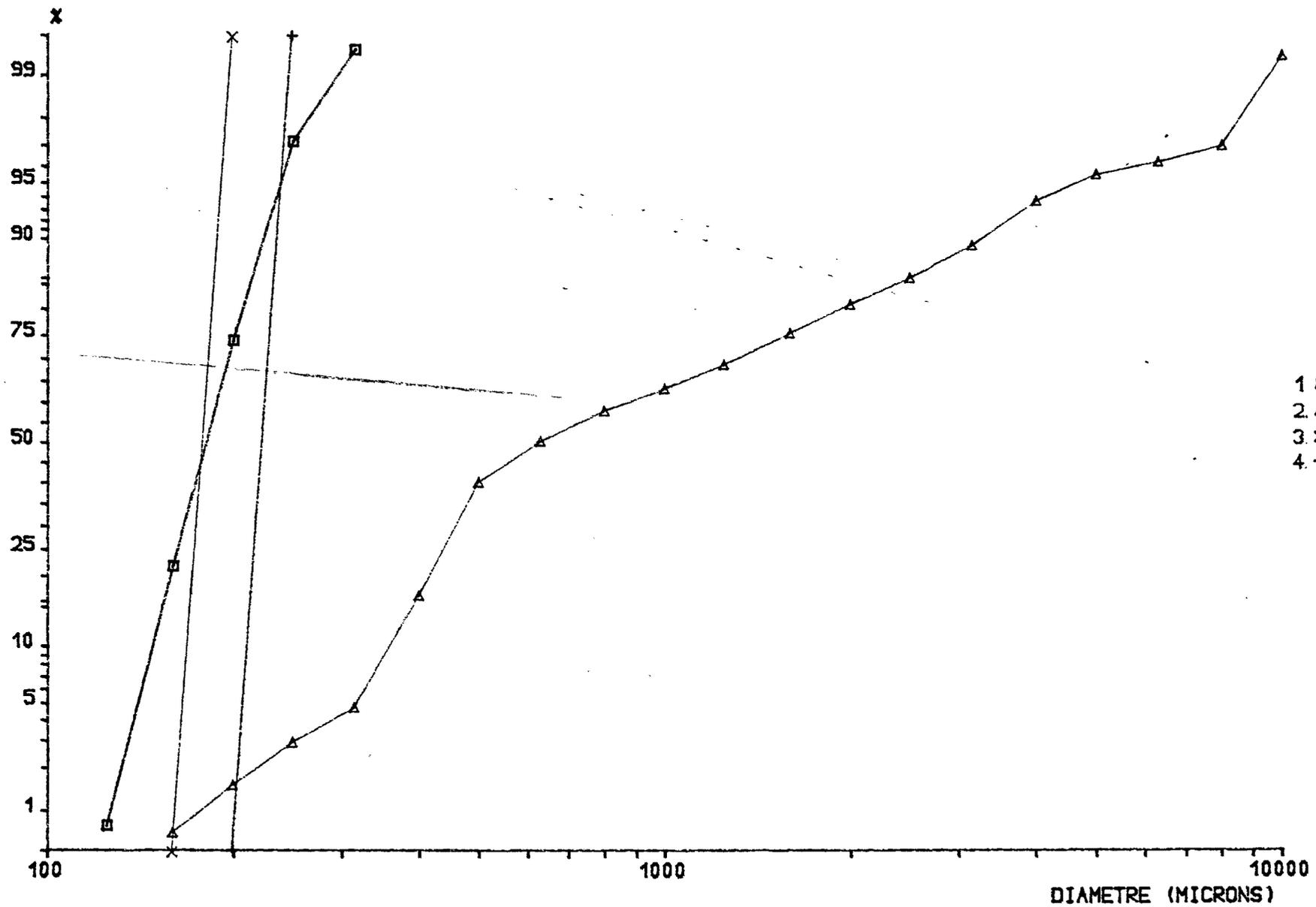


Fig.2 - COURBES GRANULOMETRIQUES ; Pt.1 ET 2 (WISSANT)
 TRACEURS ET PRELEVEMENTS DU 10.09.1986 (1-Pt.1 , 2-Pt.2 , 3-TRAC.Pt.1 , 4-TRAC.Pt.2)

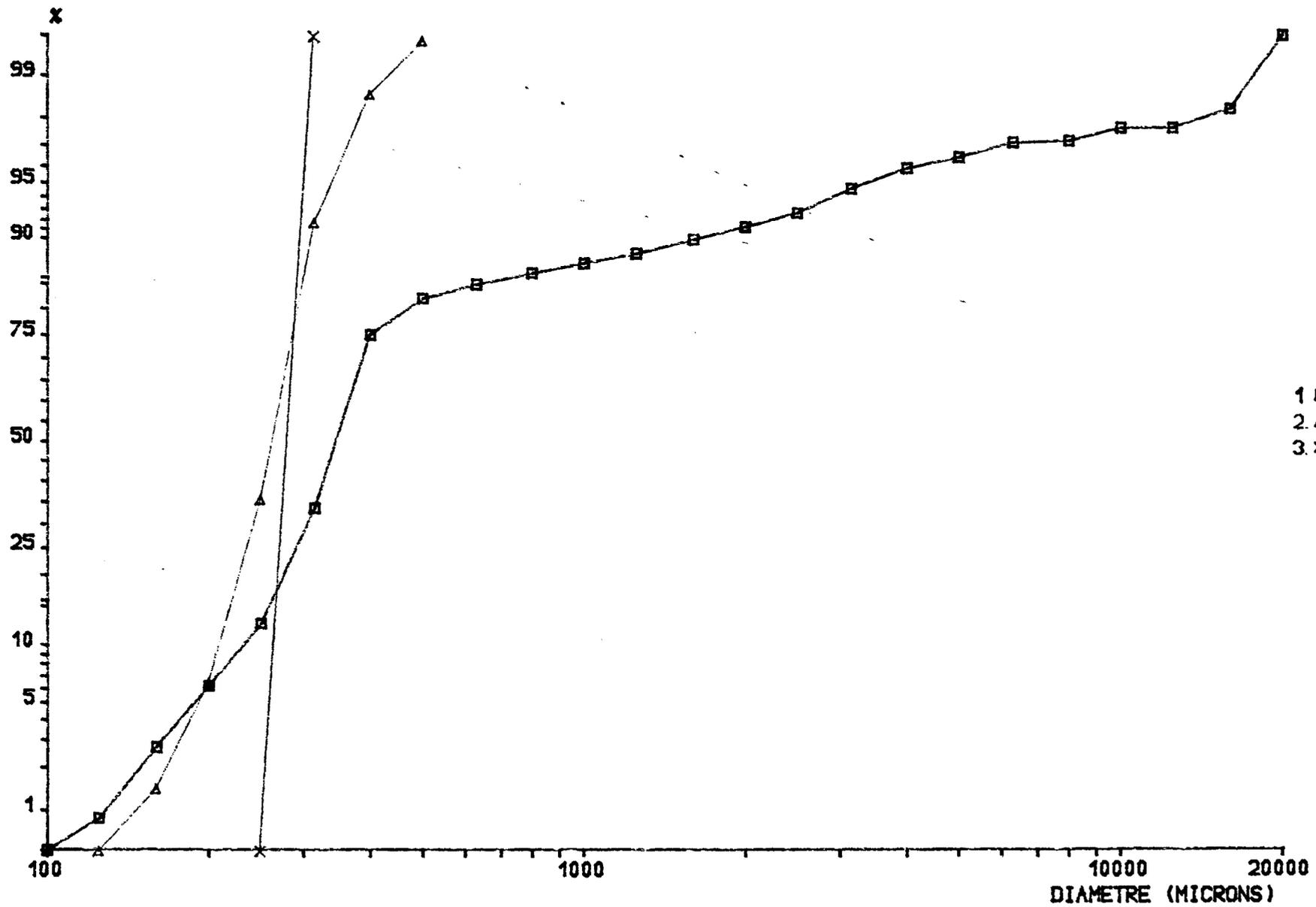


Fig.3 - COURBES GRANULOMETRIQUES : Pt.3 ET 4 (BOULOGNE)
 TRACEURS ET PRELEVEMENTS DU 11.09.1986 (1-Pt.3 , 2-Pt.4 , 3-TRAC.Pt.3et4)

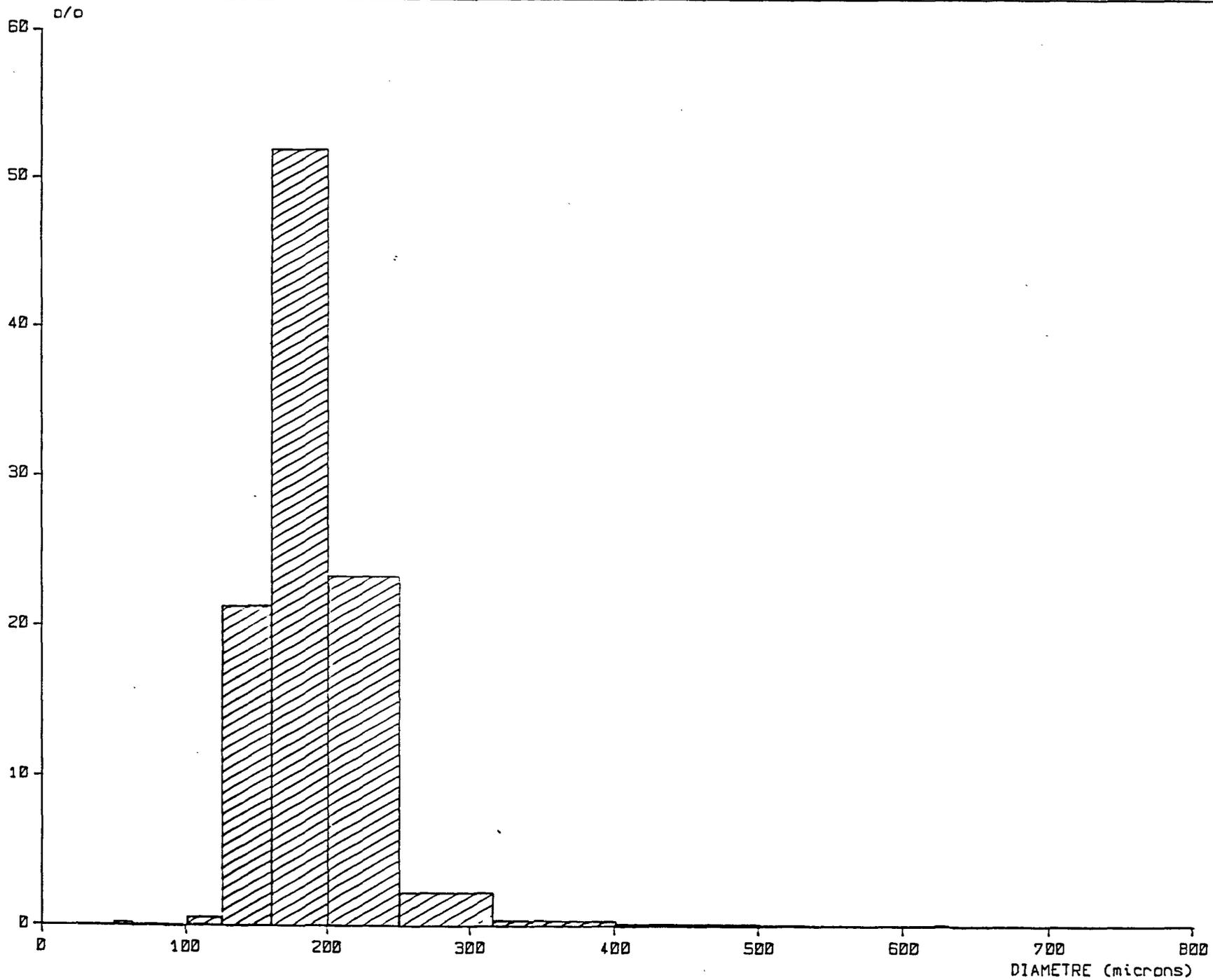


Fig.4 - COURBE GRANULOMETRIQUE EN HISTOGRAMME
POINT 1 (Wissant)

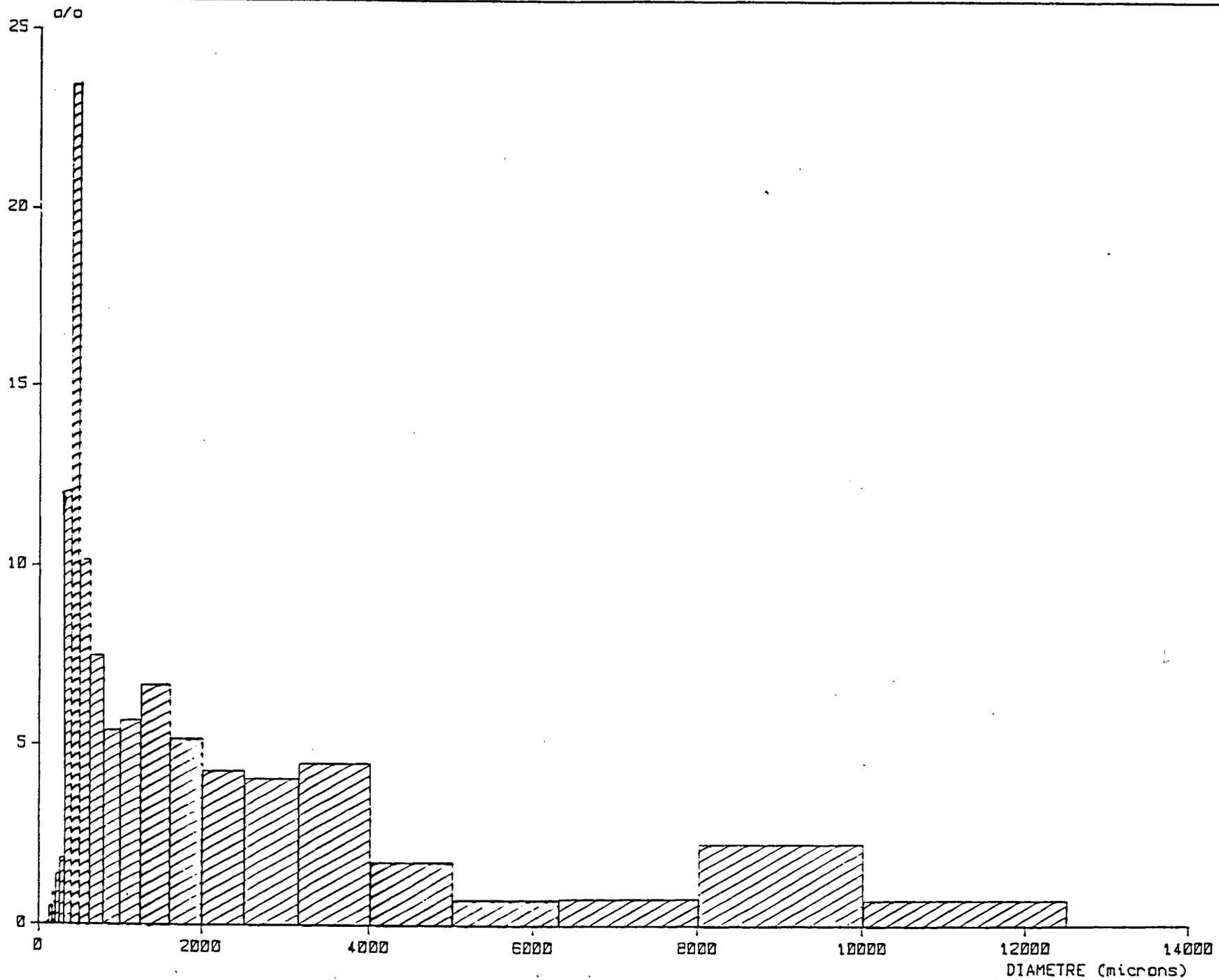


Fig.5 - COURBE GRANULOMETRIQUE EN HISTOGRAMME
POINT 2 (Wissent)

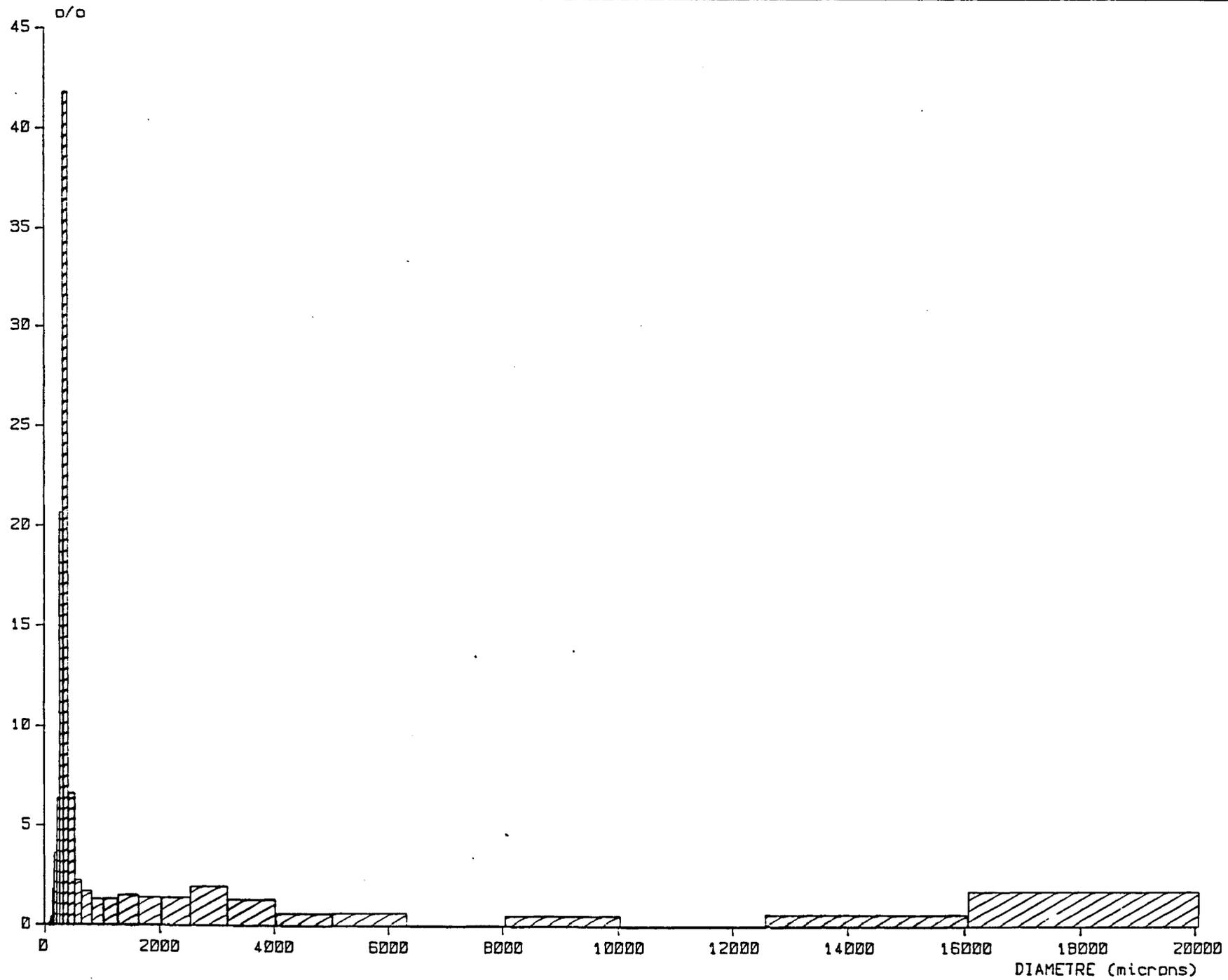


Fig.6 - COURBE GRANULOMETRIQUE EN HISTOGRAMME
POINT 3 (Boulogne)

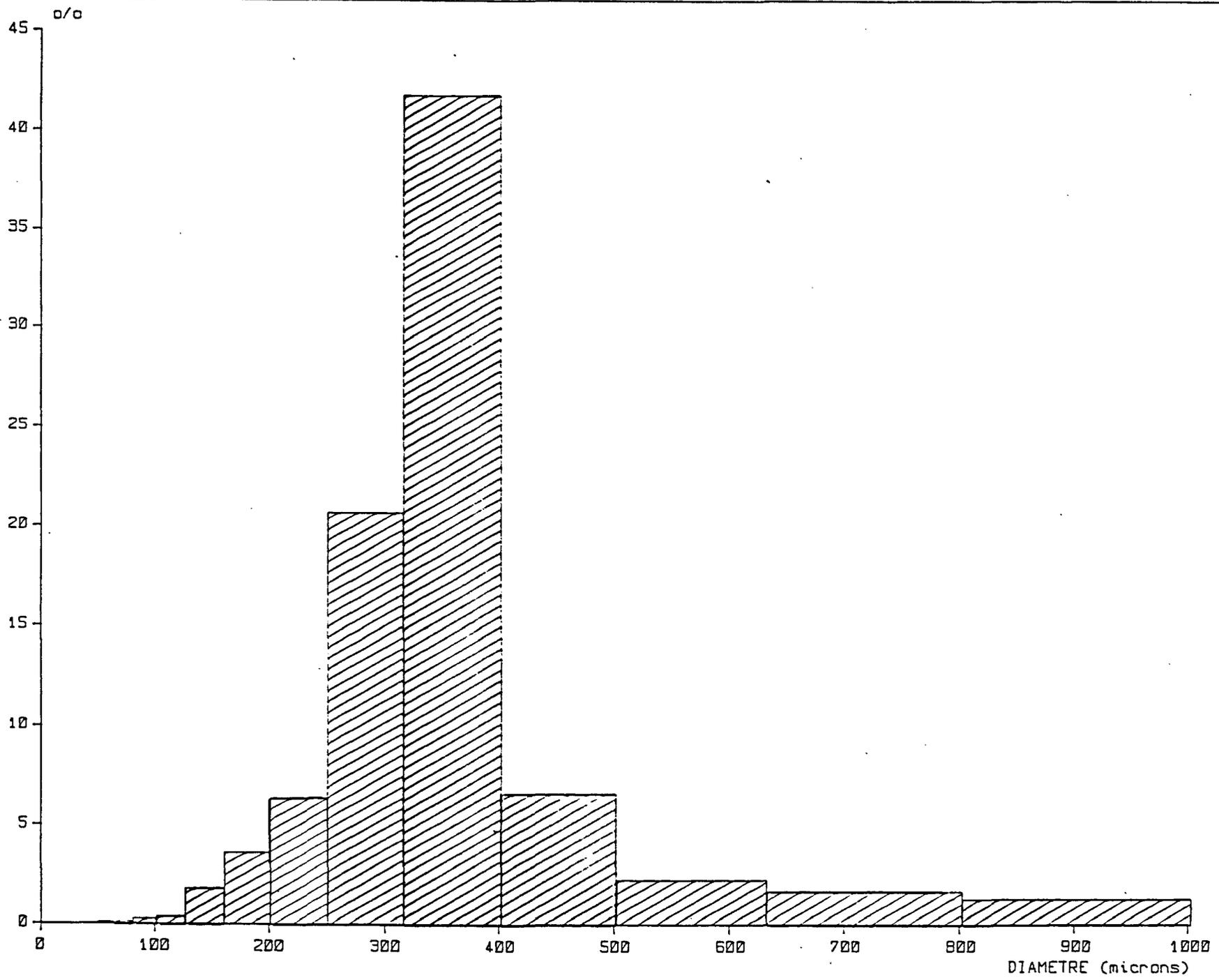


Fig.7 - COURBE GRANULOMETRIQUE EN HISTOGRAMME
POINT 3 (Boulogne) Ø - 1000 microns

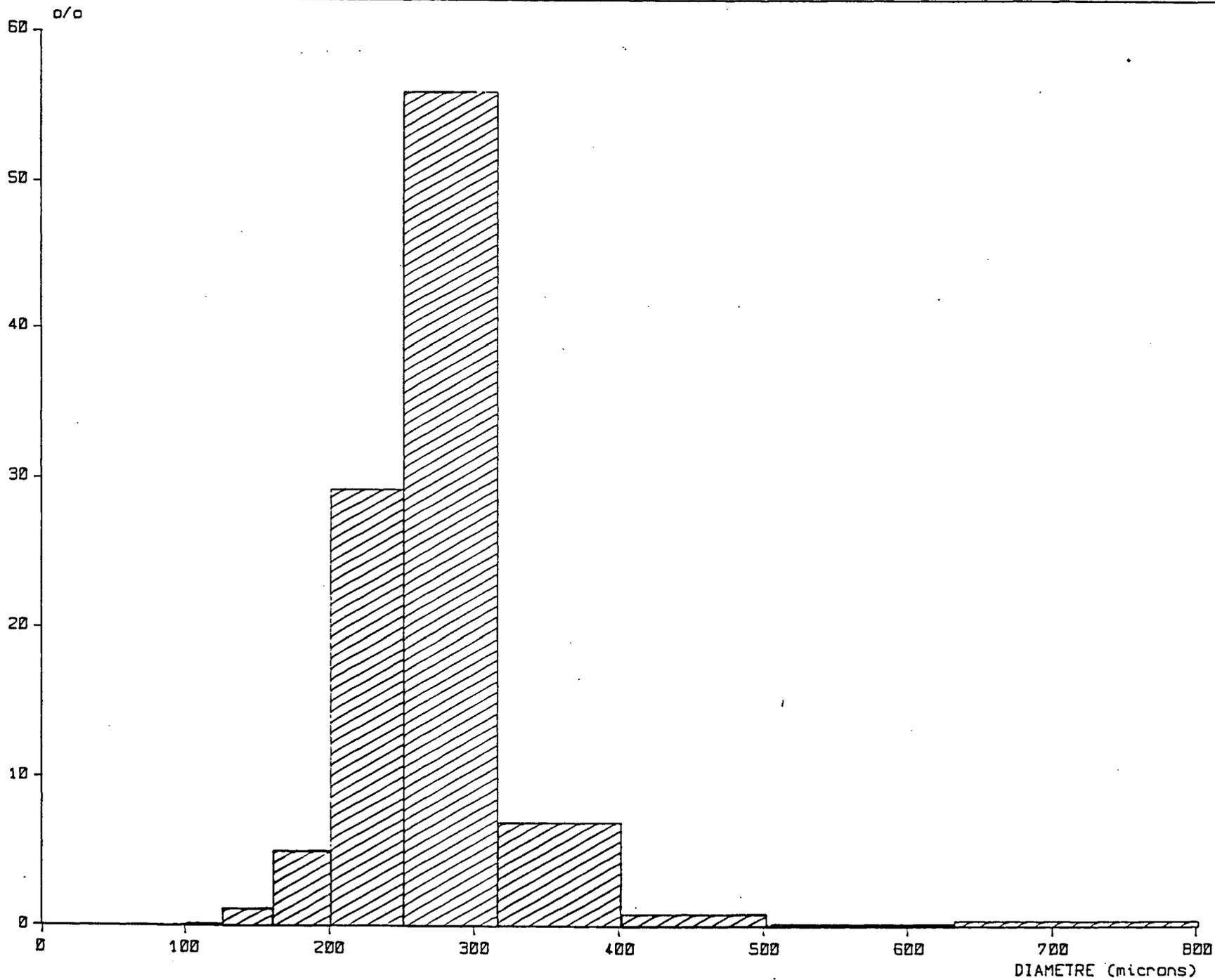


Fig.8 - COURBE GRANULOMETRIQUE EN HISTOGRAMME
POINT 4 (Boulogne)

II.2 - Les sites

1) Au sud du Cap Gris-Nez

Le site choisi se situe entre le Cap Gris-Nez et Boulogne, un seul banc sableux est présent dans cette zone : la Bassure de Baas qui prend naissance au sud de Boulogne et s'atténue au nord devant Ambleteuse. Par contre aux abords du Cap Gris-Nez la roche affleure, elle présente des alignements de direction Nord-Sud [1] . Pour répondre à la question : "y a-t-il des sédiments de la Bassure de Baas qui franchissent le Cap Gris-Nez et se retrouvent dans la baie de Wissant?", des traceurs sont déposés en deux points, désignés par point 3 et point 4, selon une perpendiculaire à la côte de part et d'autre de la Bassure de Baas, à la hauteur de la Pointe aux Oies (fig. 9) à une profondeur de 12 m.

2) Au nord de Cap Gris-Nez

Le site choisi est la baie de Wissant "la baie de Wissant est située entre Cap Gris-Nez au SW et le Cap Blanc-Nez au NE. Dans sa partie W, l'estran et le cordon dunaire qui le borde sont instables et font l'objet d'érosions ou de sédimentations spécifiques" [2]. Vers le large, s'étend, selon la direction des courants de marée, un banc sableux appelé Banc à la Ligne. Celui-ci jouerait un rôle dans l'engraissement ou l'érosion de l'estran suivant les saisons.

Afin d'apporter quelques données supplémentaires pour expliquer ces phénomènes, des traceurs sont déposés en trois points, selon une perpendiculaire à la côte, un sur l'estran, deux de part et d'autre du Banc à la Ligne (fig. 10-11) par -5 et -10 m respectivement désignés par point 5 (estran) et points 1 et 2. La technique des immersions est décrite en annexe II paragraphe IV.

II.3 - Les détections (voir annexe II)

Les détections sont assurées par le N/O SEPIA II, équipé d'une chaîne de mesure de la radioactivité comprenant :

- 1 traineau porte sonde
- 1 sonde de détection de la radioactivité

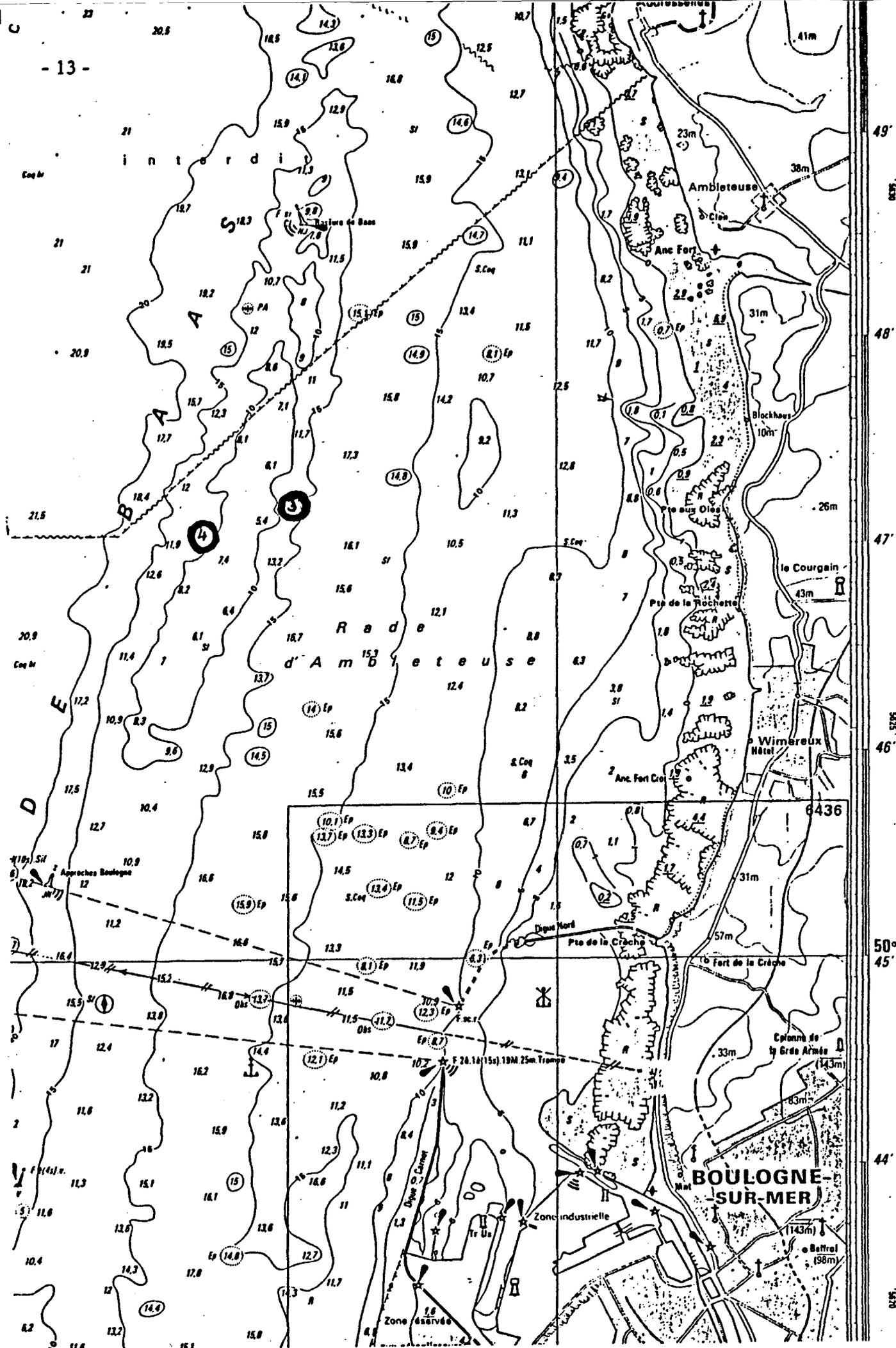


FIGURE 9 - Implantation des points d'immersion au sud du Cap GRIS-NEZ

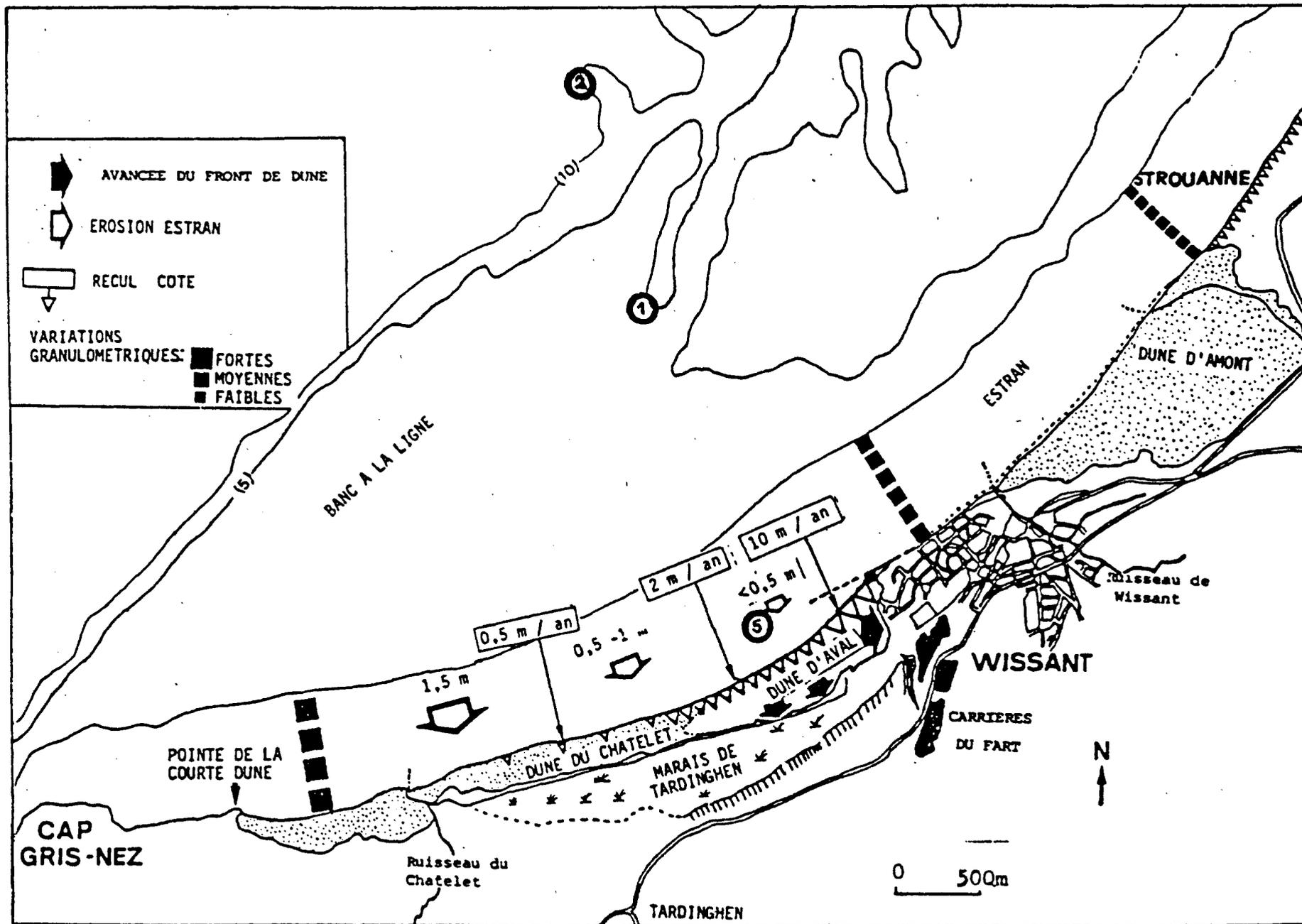
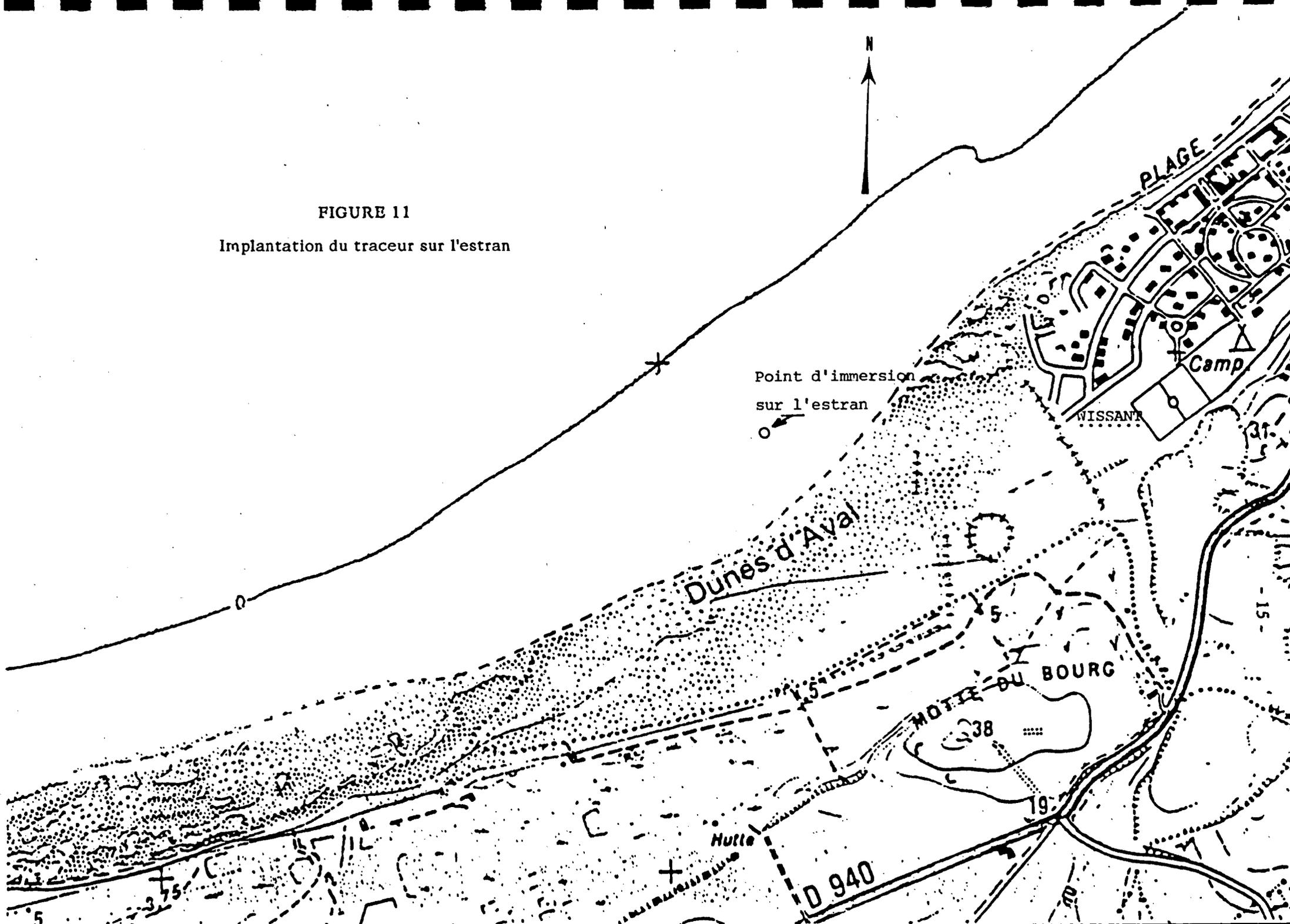


FIGURE 10 - Baie de WISSANT : Morphologie et dynamique littorales
 (Les valeurs indiquées sont celles de l'hiver 1983-1984) | 2 |

○ Implantation des points d'immersion au nord du Cap GRIS-NEZ

FIGURE 11

Implantation du traceur sur l'estran



- 2 intégrateurs IPP4
- 1 échelle de comptage EPIC
- 1 enregistreur graphique Laumonier

Le positionnement du bateau est assuré par un système de radiolocalisation MOTOROLA du type MINIRANGER MRS III.

Deux balises sont implantées par zone de travail: sud Gris-Nez: Ambleteuse et phare de Gris-Nez, nord Gris-Nez: Wissant et phare de Gris-Nez. Ces balises sont interrogées par un mobile installé sur le bateau. Ce mobile indique la distance par rapport à ces stations. Le point est reporté toutes les minutes sur une carte au 1/5000°, ce qui permet d'indiquer les corrections à apporter aux routes suivies par le bateau et de s'assurer que la détection est complète avant de quitter le site.

II.4 - Chronologies de l'étude

II.4.1 - En mer

Date	Coefficient de marée	Opération effectuée	Remarques
10 SEP 86	70	Pts 1 + 2 Mesure de radio- activité naturelle Immersion Détection de mise en place	
11 SEP 86	55	Pts 3 + 4 Mesure de radio- activité naturelle Immersion Détection de mise en place	N/O SEPIA uniquement disponible jusqu'à 12 h 00

Date	Coefficient de marée	Opération effectuée	Remarques
16 SEP 86	74	Pts 3 + 4 Détection	Trop mauvais temps pour les détections des Pts 1 + 2
25 SEP 86	43	Pts 3 + 4 Détection	Le 24 SEP pas de détection Pts 1 + 2
3 NOV 86	105	Pts 1 + 2 Détection	Par la suite de mauvais temps pas de détection des Pts 3 + 4
27 NOV 86	50	Pt 4 Détection	Pt 3 couvert de trémails
28 NOV 86	62	Pt 1 + 2 Détection	

II.4.2 - Sur estran

Opérations	Date
Immersion	16 SEP 86
Détections à basse mer	<u>SEP</u> : 17.18 19.20.23.24 26.30 <u>OCT</u> : 1.2.3.23. 28.29.30 <u>NOV</u> : 25.26

II.5 - Conditions hydrométéorologiques

II.5.1 - Courantologie (extraite du catalogue sédimentologique des côtes de France, de la frontière Belge à la Baie de Somme)

Les courants de marée sont périodiques: leur période est celle de la marée qui leur donne naissance. On distingue le courant de flot qui commence entre la basse mer et la pleine mer et le courant de jusant qui commence entre la pleine mer et la basse mer. L'intensité des courants dépasse partout $0,8 \text{ m.s}^{-1}$, lors des grandes marées elle est maximale dans le détroit du Pas de Calais (plus de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$) du fait de l'entonnement. En règle générale, le courant de flot est supérieur au courant de jusant, devant Boulogne le flot atteint $1,50 \text{ m.s}^{-1}$ de vive eau, 1 m.s^{-1} en morte-eau, devant le Cap Gris-Nez le flot atteint $1,70 \text{ m.s}^{-1}$ en vive eau et plus de 1 m.s^{-1} en morte eau. Dès que disparaît l'effet d'étranglement du Pas de Calais, le flot en vive eau n'est plus que de $1,20 \text{ m.s}^{-1}$.

Le flot porte vers le nord de Boulogne au Gris-Nez où il s'infléchit vers l'est ; il porte vers NE au delà du Gris-Nez. Le jusant est diamétralement opposé au flot. En première approximation les courants sont parallèles à la côte. Le passage du flot au jusant se fait avec annulation de l'intensité du courant: les courants de marée sont alternatifs (fig. 12).

II.5.2 - Météorologie

Les informations dont nous disposons proviennent des stations météorologiques du sémaphore de BOULOGNE et du CAP GRIS-NEZ ainsi que des relevés effectués par la Météorologie Nationale zone BOULOGNE - CALAIS entre le 1 Septembre et le 30 Novembre 1986.

Les fig. 13 à 19 regroupent toutes ces informations. Il est intéressant de noter que les directions des vents et des houles sont étroitement liées.

Les directions dominantes sont:

En septembre	ENE et WSW
En octobre	W-SW
En novembre	W et S

III - LES RESULTATS DES MESURES

III.1 - Mesures de la radioactivité naturelle

Ces mesures sont effectuées avant les immersions et permettent de connaître la nature du matériau en place et évitent ainsi une immersion de sable en zone où les sédiments cohésifs dominent ce qui aurait pour effet de piéger les particules aussi immergées.

Les mesures faites dans les zones expérimentales montrent une bonne homogénéité de la radioactivité naturelle (radioactivité de 3 à 6 chocs par secondes), ce qui correspond à des fonds de sables purs.

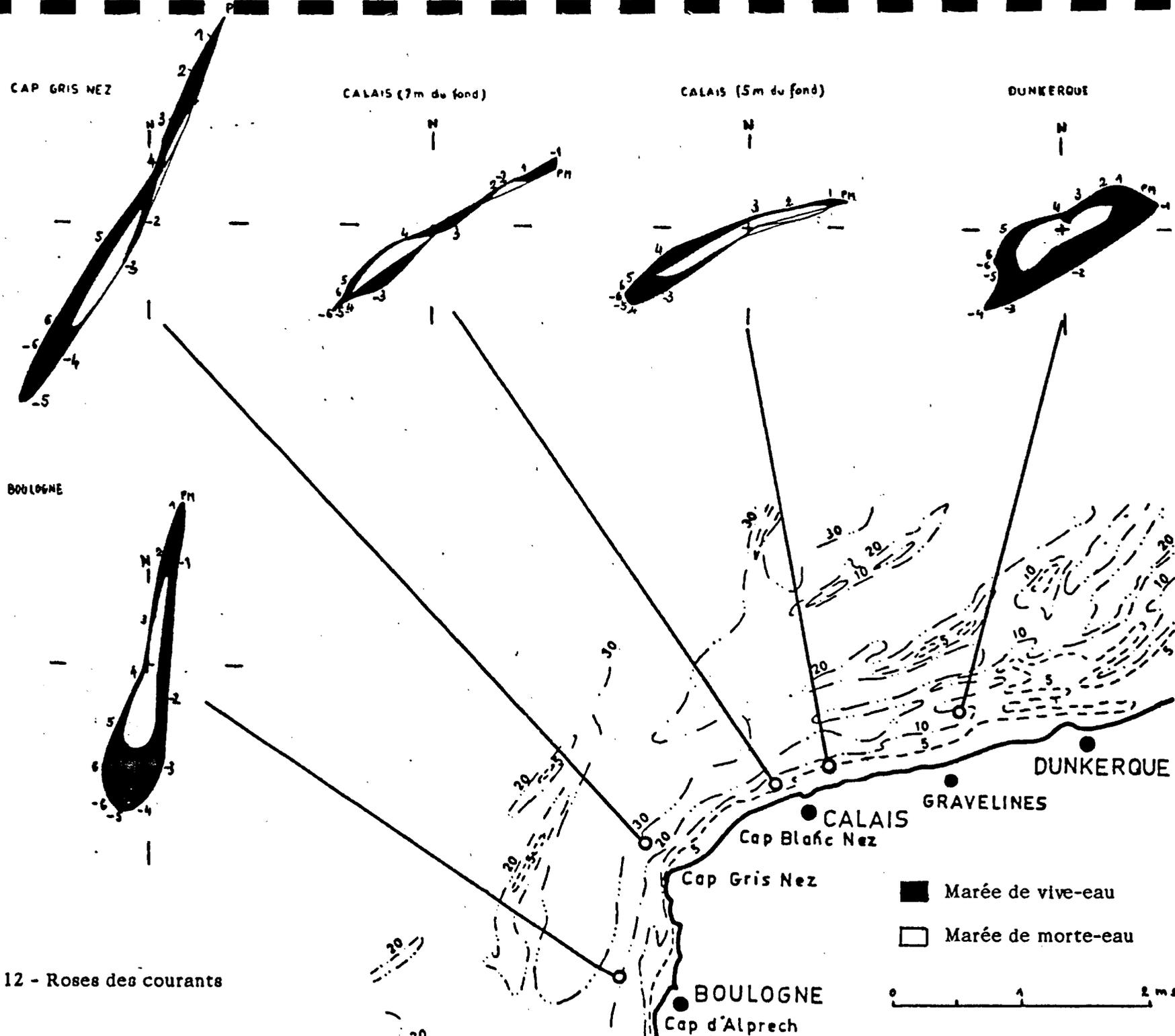


FIGURE 12 - Roses des courants

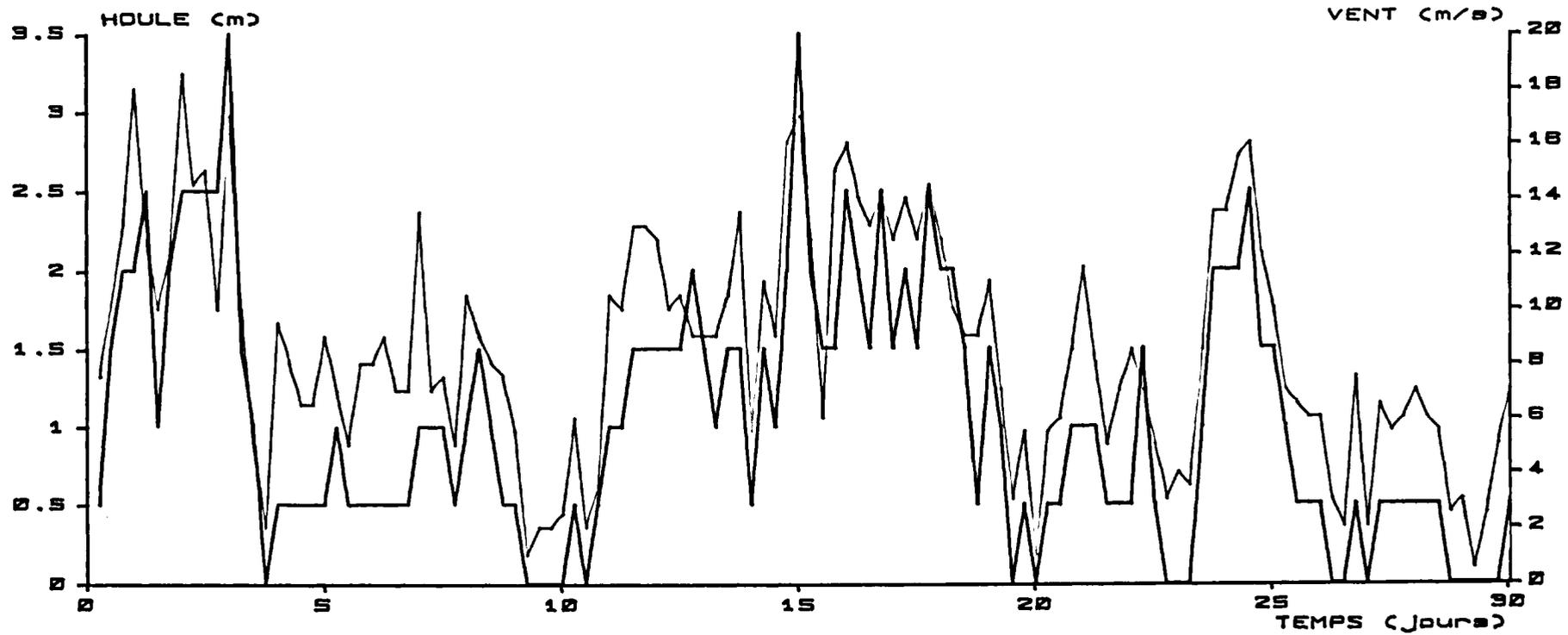
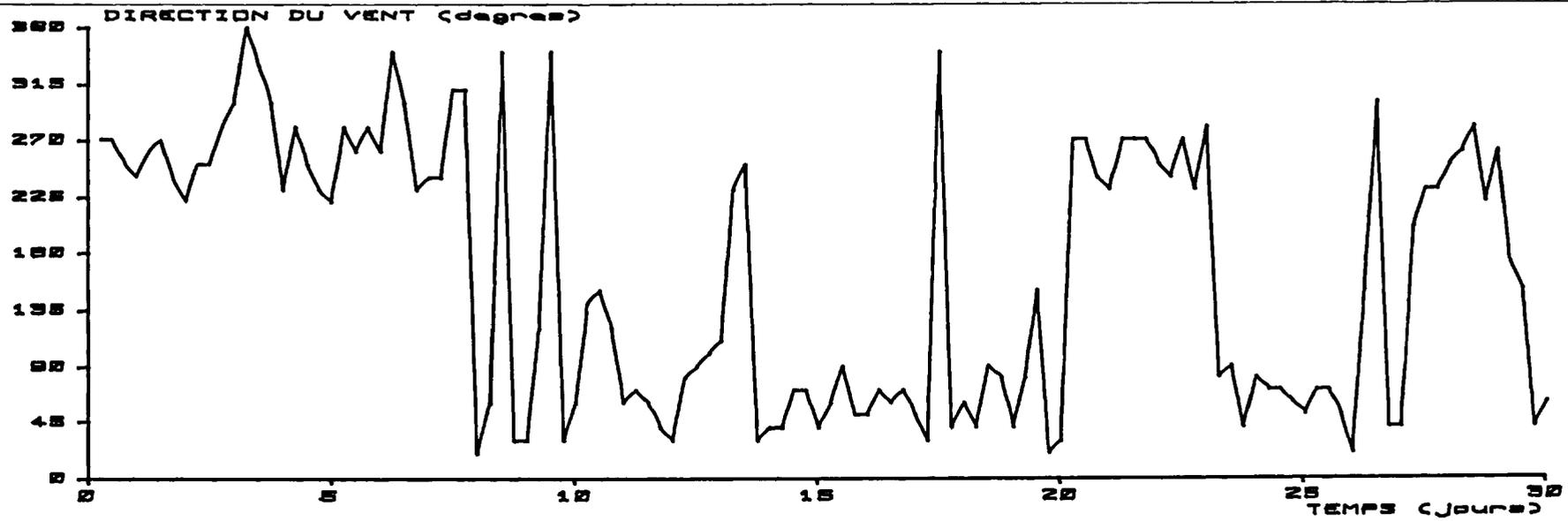


Fig.19 + METEOROLOGIE DU 1 AU 30 SEPTEMBRE 1986
RELEVES DE LA METEOROLOGIE NATIONALE

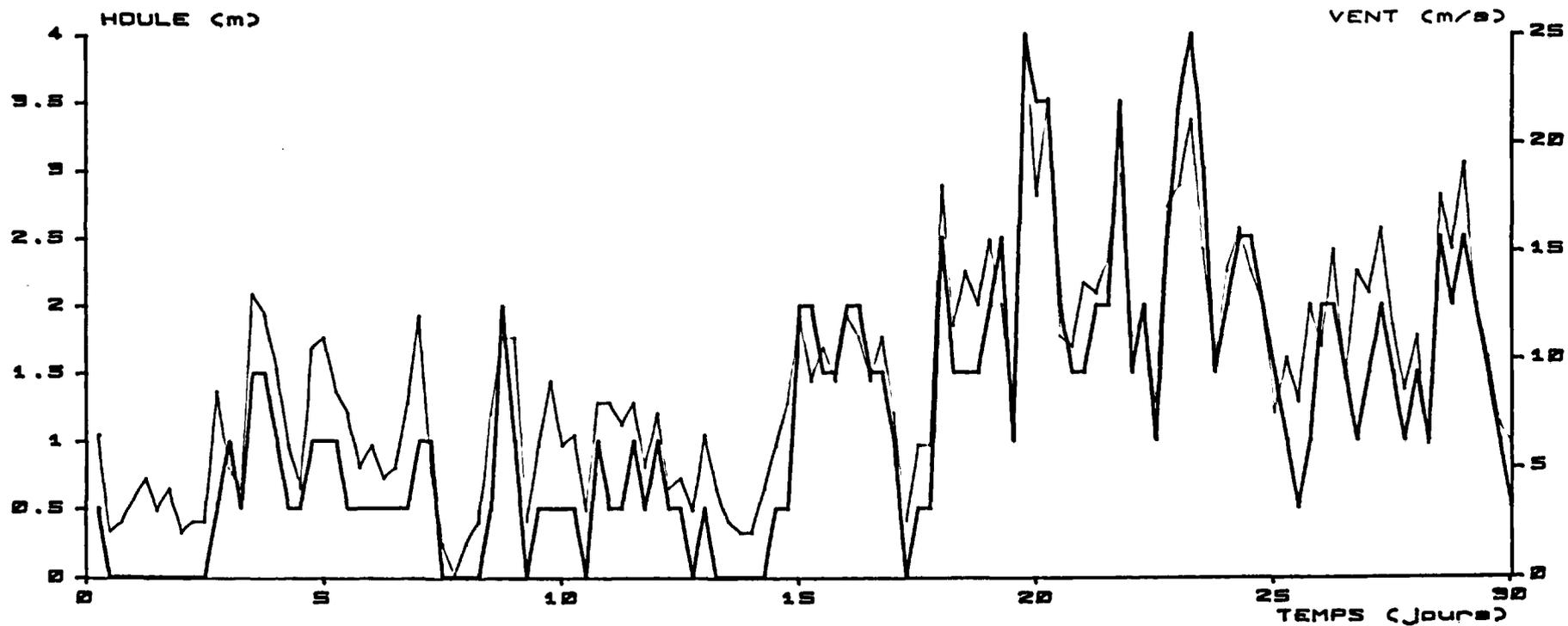
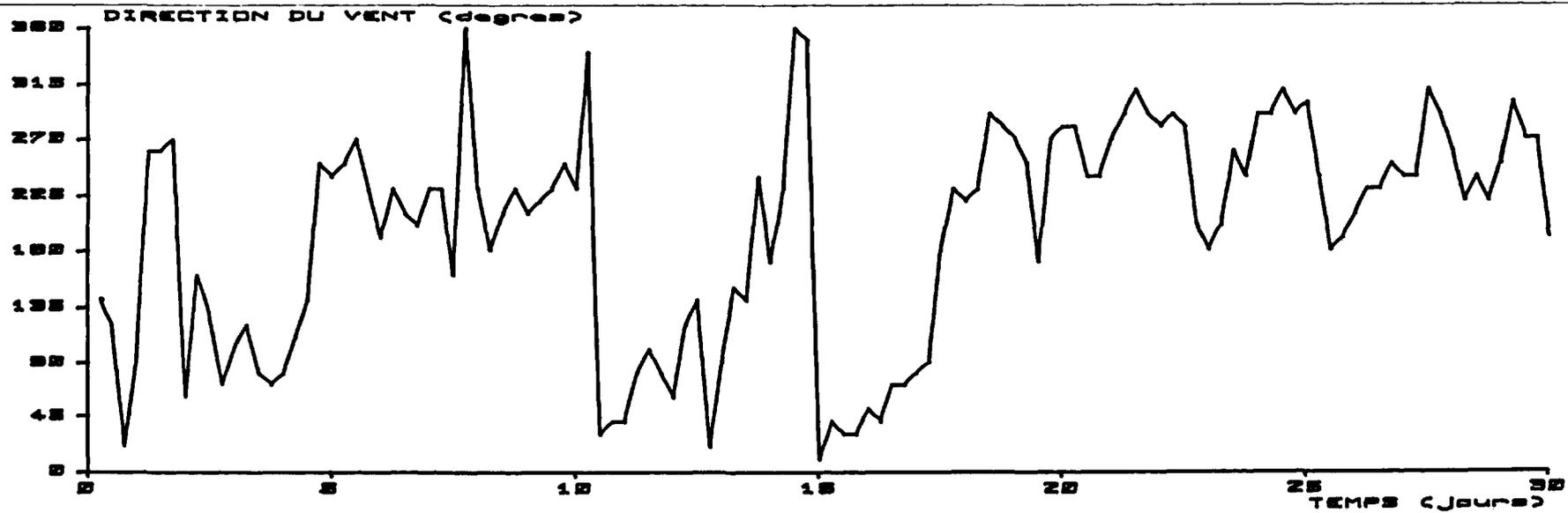
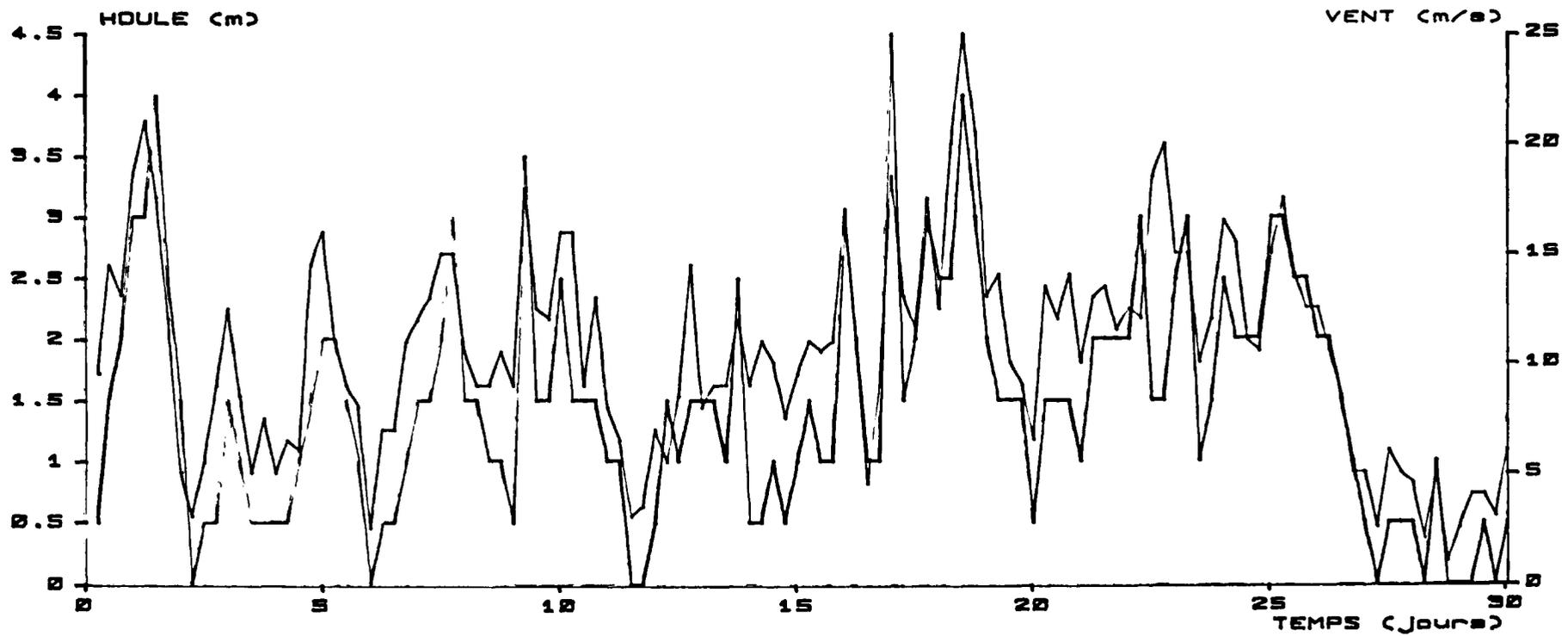
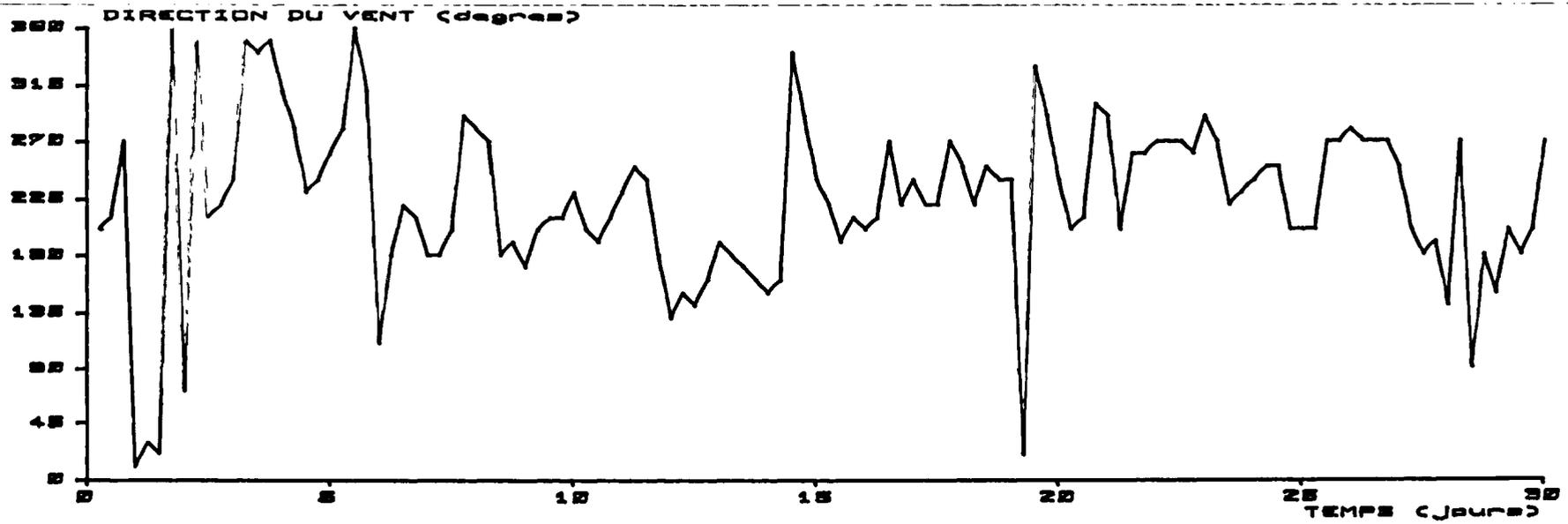


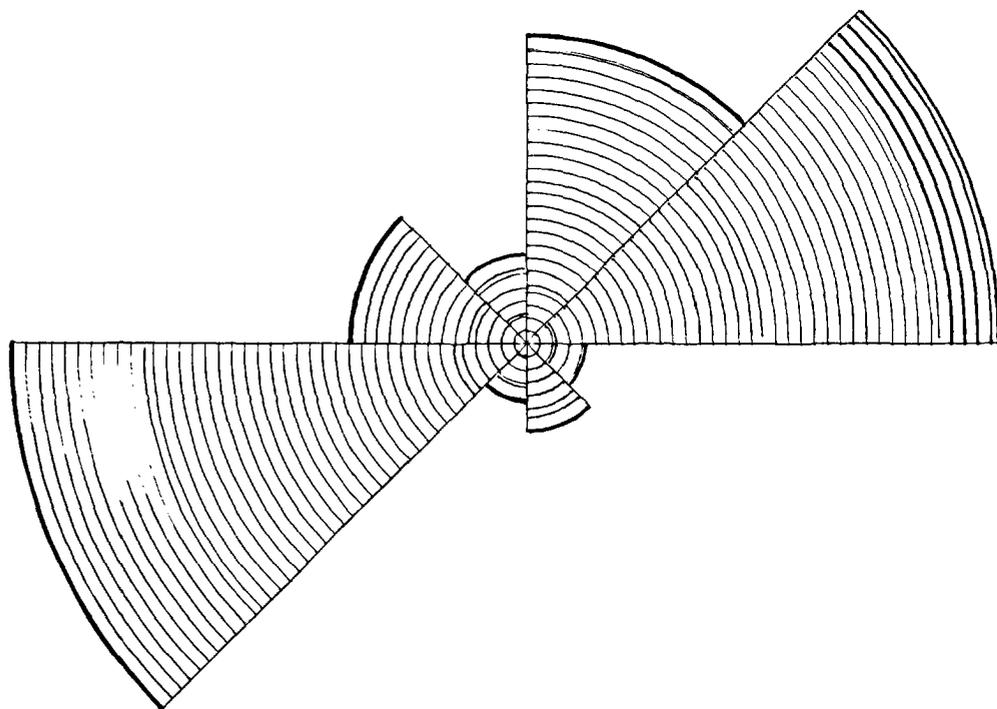
Fig. 14 - METEOROLOGIE DU 1 AU 30 OCTOBRE 1988
RELEVES DE LA METEOROLOGIE NATIONALE



F19.15 - METEOROLOGIE DU 1 AU 30 NOVEMBRE 1988
 RELEVES DE LA METEOROLOGIE NATIONALE



VITESSE MOYENNE : 8.6 M/S
VITESSE MAXIMALE: 19.5 M/S



0-5 M/S



5-10 M/S



10-15 M/S



15-20 M/S



20-25 M/S

Fig.16 - ROSE DES VENTS
SEPTEMBRE 1996



VITESSE MOYENNE : 9.1 M/S
VITESSE MAXIMALE: 25 M/S

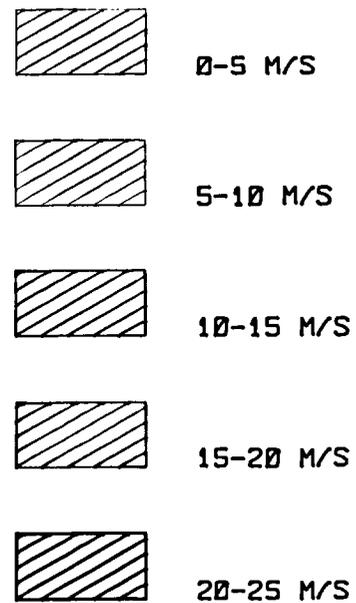
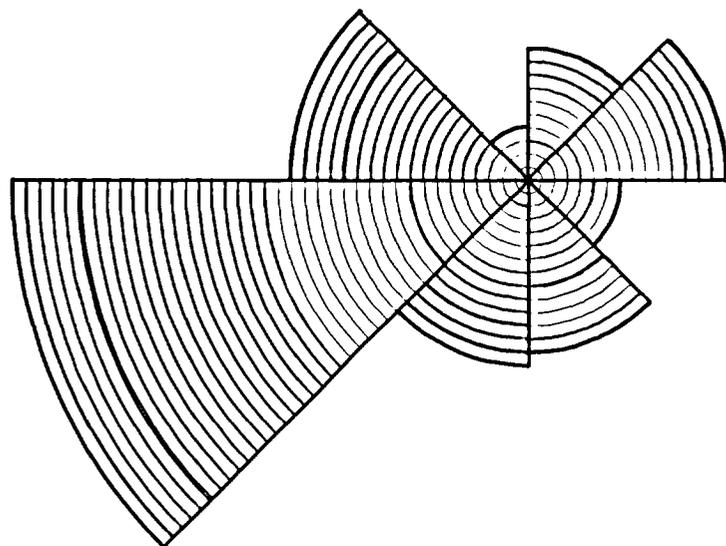
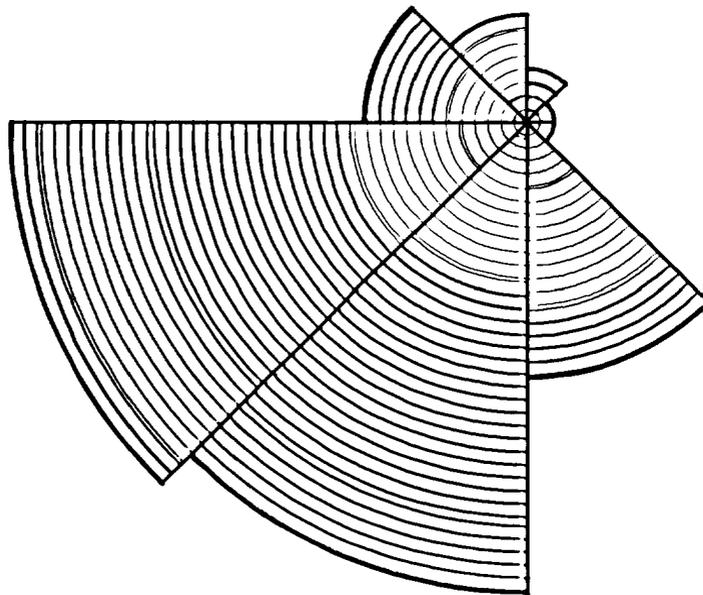


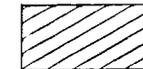
Fig.17- ROSE DES VENTS
OCTOBRE 1986



VITESSE MOYENNE : 10.6 M/S
VITESSE MAXIMALE : 25 M/S



0-5 M/S



5-10 M/S



10-15 M/S



15-20 M/S

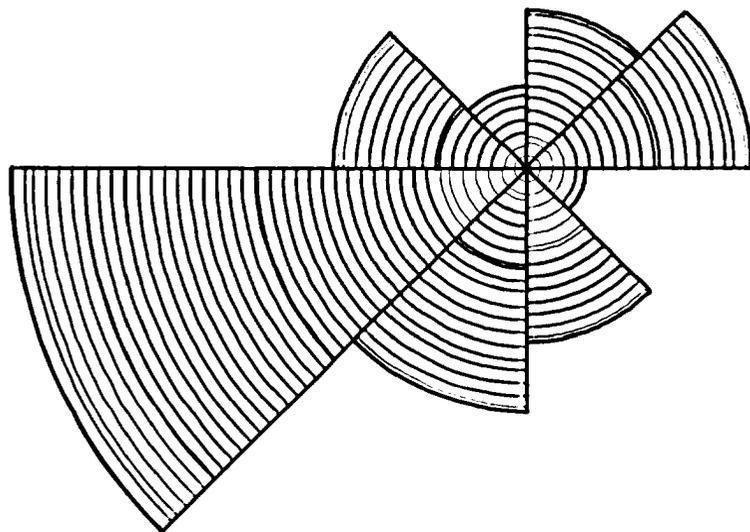


20-25 M/S

Fig.18 - ROSE DES VENTS
NOVEMBRE 1986



VITESSE MOYENNE : 9.4 M/S
VITESSE MAXIMALE : 25 M/S



0-5 M/S



5-10 M/S



10-15 M/S



15-20 M/S



20-25 M/S

Fig.19 - ROSE DES VENTS
SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE 1986

III.2 - Les immersions

Au Sud du Cap Gris-Nez, site dénommé "BOULOGNE", les immersions ont lieu le 11 septembre 1986 (CM : 55):

Point 3 (le plus près de la côte) à 7h 55, la hauteur d'eau est de 17 m et les courants* sont:

en surface	de 30 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
à - 4 m	30 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
- 8,5 m	20 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
- 16,9 m	12 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°

Point 4 (le plus au large) à 8h 30, la hauteur d'eau est de 20 m et les courants sont:

en surface	de 17 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
à - 5 m	15 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
- 10 m	15 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
- 15 m	12 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°
- 19,9 m	4 cm.s ⁻¹	avec une direction de 250°

Au nord du Cap Gris-Nez, site dénommé "WISSANT", les immersions ont lieu le 10 septembre 1986 (CM : 70) pour les points 1 et 2, et 16 septembre 1986 (CM : 81) pour le point 5 (Estran).

Point 1 (le plus en côte) à 9h 12, la hauteur d'eau est de 7 m et les courants* sont :

en surface	de 40 cm.s ⁻¹	et de direction 0°
à - 1 m	35 cm.s ⁻¹	et de direction 350°
- 2,5 m	32 cm.s ⁻¹	et de direction 340°
- 3 m	30 cm.s ⁻¹	et de direction 270°
- 4 m	28 cm.s ⁻¹	et de direction 260°
- 5 m	28 cm.s ⁻¹	et de direction 245°
- 6 m	22 cm.s ⁻¹	et de direction 240°
- 6,9 m	22 cm.s ⁻¹	et de direction 240°

Point 2 (le plus au large) à 10h 07, la hauteur d'eau est de 13,5 m et les courants* sont:

en surface	de 45 cm.s ⁻¹	et de direction 230°
à - 1 m	45 cm.s ⁻¹	et de direction 230°
- 5 m	52 cm.s ⁻¹	et de direction 235°
- 10 m	45 cm.s ⁻¹	et de direction 240°
- 12 m	40 cm.s ⁻¹	et de direction 240°
- 13 m	40 cm.s ⁻¹	et de direction 240°
- 13,4 m	15 cm.s ⁻¹	et de direction 240°

* Courants mesurés au courantomètre TOHO-DENTAN.

Point 5 (sur estran) le 16 septembre 1986 à 18h 10 à basse-mer (fig. 20)

III.3 - Résultats qualitatifs et quantitatifs

Avant toute chose il est à noter que le travail en mer dans cette région pose de nombreux problèmes. D'une part, les courants sont tels qu'il n'est possible de travailler qu'aux étales de basse ou pleine mer alors que les conditions météorologiques sont souvent, en cette période de l'année, mauvaises : tempêtes, mer forte ou brouillard. Par ailleurs, malgré notre insistance, le bateau affecté aux mesures, en raison d'un programme chargé, n'a pas été mis à notre disposition quand il était possible et impératif de faire des mesures. Tous ces aléas n'ont pas facilité les détectations des traceurs immergés. En conséquence l'interprétation des résultats souffre du manque de données.

Les résultats des détectations ont été traduits :

- a) sous forme de réseaux d'isochocs
- b) sous forme de diagramme de transport et de diagramme de transport cumulé.

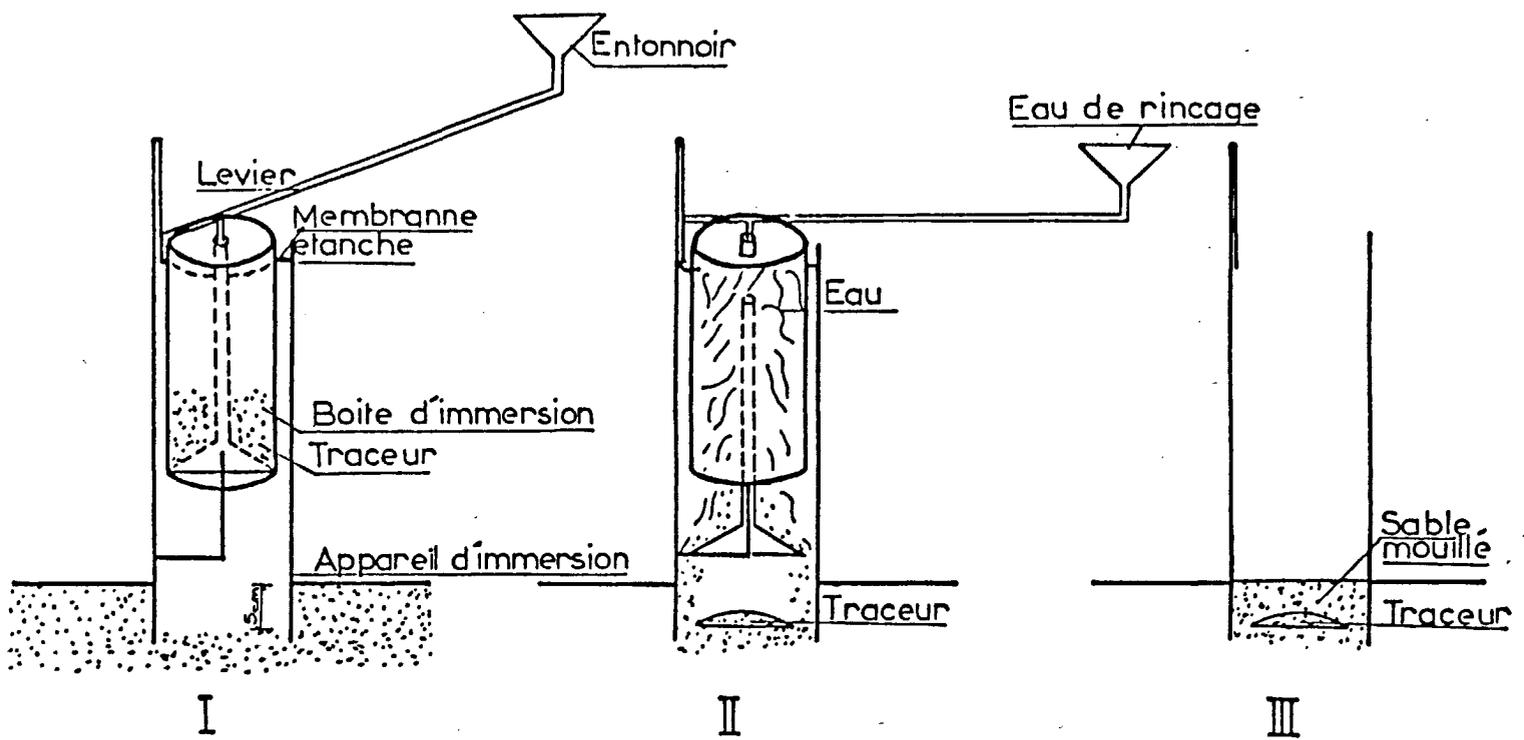


FIGURE 20

Schéma du principe d'immersion sur estran

Rappelons que le diagramme de transport d'activité est un diagramme dans lequel est porté en abscisses les distances tout au long d'un axe de transport choisi et en ordonnée l'activité totale retrouvée en cps.m^{-1} perpendiculairement à cette axe à une distance donnée de l'origine. (Ces figures se trouvent en annexe I). Le tableau regroupe toutes des données pour chacun des points immergés.

III.3.1 - Au sud du Gris-Nez : Points 3 et 4 "BOULOGNE"

(Point 3 en côte - Point 4 au large)

Les détections de mise en place se font quelques heures après les immersions. Elles ont uniquement pour but de délimiter les taches radioactives sans chercher à faire une détection complète pour ne pas perturber l'intégration des traceurs aux sédiments naturels. Les immersions ont lieu en fin d'étale de pleine mer les courants portant au S.W. (250°) mais de faible intensité quelques cm.s^{-1} .

Les détections de mise en place montrent des enveloppes radioactives des quelques centaines de mètres de longueur (700 m Pt 3 - 150 m Pt 4) et quelques dizaines de large elles sont orientées NNE - SSW, ce qui est conforme avec la direction du courant au moment des immersions.

Détection du 16 septembre 1986

Point 3

L'enveloppe de la tache atteint 900 m de long et 150 m de large orientée N-S et se trouvant de part et d'autre du point d'immersion avec une légère tendance au déplacement vers le N, le centre de gravité se trouvant à 22 m au N du point d'immersion. Le bilan de l'activité est très faible (28% retrouvé) cela est dû au faible mouvement, le traceur étant encore fortement concentré au point d'immersion.

Point 4

La détection montre une répartition du traceur de part et d'autre du point d'immersion avec un centre de gravité se situant à 11 m SSW dû à

l'immersion faite en fin d'étale de P.M avec un courant porteur au 250°, la tache atteint toutefois 600 m orientée SSW.NNE. Les mouvements étant faibles, comme au point 3 : Le traceur se trouve encore très concentré au point d'immersion. On ne retrouve que 11% de l'activité initiale.

Détection du 25 septembre 1986

Point 3

L'effet des courants de flot se faisant plus nettement ressentir, les traceurs progressent vers le NNE. Le centre de gravité se trouve à 54 m et la tache atteint près de 1000 m avec un point d'immersion encore très riche en traceur. On retrouve toutefois 74 % de l'activité immergée. L'application de la méthode du bilan des taux de comptage [ref. 4 et annexe] permet de calculer une épaisseur de transport E : 6 cm. D'où un débit de charriage moyen.

$$Q = V_m \cdot E \cdot L_t \text{ (voir annexe II)}$$

où : Q = débit de charriage en $m^3 \cdot m^{-1} \cdot j^{-1}$
 V_m = vitesse moyenne de déplacement en $m \cdot j^{-1}$
 E = épaisseur moyenne de transport en m
 L_t = largeur du transport en m

Pour le point 3 on a

$$V_m = 3,86 \text{ m} \cdot j^{-1} \text{ (54 m pour 14 j)}$$

$$E = 0,06 \text{ m}$$

$$L_t = 1 \text{ m}$$

$$Q = 3,86 \times 0,06 \times 1 = 0,23 \text{ m}^3 \cdot m^{-1} \cdot j^{-1}$$

Point 4

L'enveloppe de la tache atteint 800 m et le centre de gravité se trouve à 49 m NNE. Comme au point 3 ce sont les actions des courants de flot qui prédominent. Cependant on ne retrouve que 30% de l'activité immergé, le

point d'immersion étant toujours très concentré en traceur , il n'y a donc que peu de mouvement. Il n'est pas possible de calculer sur débit de charriage.

Détection du 27 novembre 1986

La zone de Bassure de Baas était encombrée de filets (trémails), la détection des points s'est avérée très dangereuse pour le matériel (risque d'arracher les filets avec le traîneau et risque pour l'hélice du bateau), seule une partie du point 3 a été mesurée.

Point 3

Les limites de la tache sont toujours de l'ordre de 1000 m mais le centre de gravité a nettement progressé vers le NNE, il se situe à 173 m, ce qui donne une vitesse moyenne de déplacement de $2,25 \text{ m.j}^{-1}$ alors qu'elle était de $3,86 \text{ m.j}^{-1}$ le 25 septembre. On ne retrouve que 12% du traceur mais comme la détection fut incomplète, on ne peut tenir compte de cette valeur.

Point 4

La densité de bouées matérialisant les filets était telle qu'il n'a pas été possible de faire des mesures (voir annexe I les courbes isoactives).

III.3.2 - Au nord du Gris-Nez : points 1 et 2 "Wissant"

(Point 1 en côte - Point 2 au large)

Comme aux points 3 et 4 les détections de mise en place se font quelques heures après les immersions. Les deux taches (Pt 1 et 2) sont identiques, elles se présentent orientées SW-NE parallèles à la côte, avec une longueur de l'ordre de 300 m, une largeur voisine de 50 m et une nette influence des courants de jusant.

Détection du 3 novembre 1986

C'est en fait la première détection; les conditions météorologiques et les indisponibilités du bateau et des différents participants à l'étude sont responsables de cette situation.

Point 1

La tache radioactive atteint une longueur de 1000 m et une largeur de 250 m mais son centre de gravité ne se situe qu'à 38 m au NE ce qui signifie un faible déplacement et ce qui explique le faible pourcentage de l'activité retrouvée 27%. Une grosse partie de l'activité est restée au point d'immersion. On note toutefois une action prédominante des courants de flot, vue la largeur de la tache, surtout dans la partie la plus orientale, on peut supposer un léger effet de la houle. La vitesse de transport est de l'ordre de $0,7 \text{ m.j}^{-1}$.

Point 2

La courbe isoactive (annexe I) montre une tache ayant une enveloppe de 1000 m de long et 500 m de large, mais à l'intérieur de cette enveloppe, on trouve le traceur réparti en trois îlots de 500 m environ. Cela s'explique soit par la présence de ridens (fig.21), soit par une remise en suspension. Un relevé bathymétrique de la zone, effectué en 1985 par l'Université de Lille, montre effectivement une zone à ridens. Un profil bathymétrique coïncidant à l'axe de transport des traceurs, permet de constater que chaque îlot de traceur se trouve entre deux ridens de forte amplitude où la longueur d'ondes des ridens est de l'ordre de 500 m (isoactives annexe I). L'activité retrouvée est de 42%, cette faible quantité s'explique par le fait qu'en franchissant chaque sommet de dune, une partie du traceur est dispersée.

Dans son étude sur les ridens en mer du Nord, MAC CAVE [5] dit "Les matériaux les plus fins que $230 \mu\text{m}$ seront largement transportés en suspension, la suspension totale arrivant pour $D < 170 \mu\text{m}$; d'appréciables quantités de matériaux entre 230 et $300 \mu\text{m}$ pourront également être transportées en suspension".

Or, les sables immergés sont compris entre 250 et $315 \mu\text{m}$ avec un $D_{50} = 280 \mu\text{m}$.

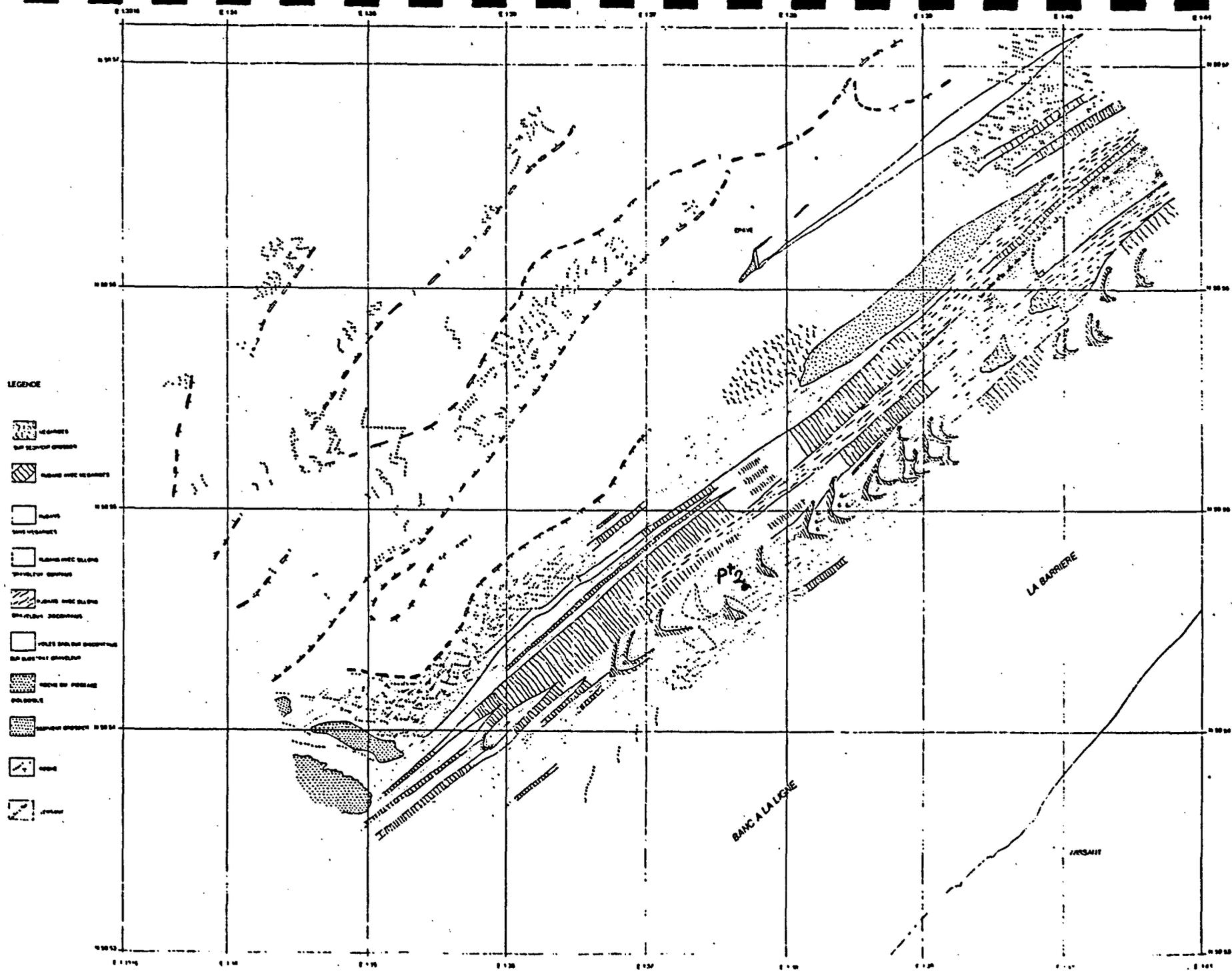


FIGURE 21 - Etude de la couverture sédimentaire meuble au large de WISSANT au moyen du sonar latéral | 3 |

Détection du 28 novembre 1986

Point 1

La tache atteint alors 1500 m pour une largeur toujours égale à 250 m et le centre de gravité est à 109 m NE du point d'immersion, soit une vitesse moyenne de déplacement de $1,4 \text{ m.j}^{-1}$. Le diagramme de transport et le réseau de courbes isochocs ne permettent pas de confirmer un transport en suspension bien qu'on ne retrouve que 30 % de l'activité immergée. L'application de la méthode du bilan des taux de comptage conduit à une épaisseur de remaniement de 24 cm et un débit de charriage de $0,34 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Cette détection ne confirme pas un effet éventuel de la houle.

Point 2

La tache s'allonge beaucoup et les limites atteignent le pied du Cap Gris-Nez, sa longueur est de 2 800 m pour une largeur toujours de l'ordre de 500 m, le déplacement est dû à l'action des courants de flot. Le centre de gravité est à 841 m NE, ce qui donne une vitesse de déplacement de $10,9 \text{ m.j}^{-1}$ ce qui est important.

La quantité retrouvée est de 47 % sensiblement la même qu'au 3 novembre. Pour les mêmes raisons on ne peut calculer un débit de charriage mais on peut l'estimer en admettant que le transport se fasse sur 1 ou 2 cm d'épaisseur.

Le débit de charriage serait de l'ordre de :

$$0,1 < Q < 0,2 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}.\text{j}^{-1}$$

N.B.: Une détection des 4 points était prévue en Janvier 87, pour des raisons de planing d'utilisation de la vedette, elle fut repoussée à Février 87, or à la date retenue la météorologie ne nous a pas permis de tenter la moindre détection.

Tableau récapitulatif des résultats des points en mer

	10 et 11 septembre 1986	15 et 16 septembre 1986	25 septembre 1986	3 novembre 1986	27 et 28 novembre 1986
Jours après immersion		5	14	54	77
A immergée	0,98 Ci			0,59 Ci	0,47 Ci
A retrouvée				0,16 Ci	0,14 Ci
Pt1 %	détection	mauvais	mauvais	27	30
C G	de mise	temps pas	temps pas	38 m NE	109 m NE
V m.j ⁻¹	en place	de mesure	de mesure	0,7	1,42
E cm				26	24
A immergée	0,98 Ci			0,62 Ci	0,49 Ci
A retrouvée				0,26 Ci	0,23 Ci
Pt2 %	détection	mauvais	mauvais	42	47
C G	de mise	temps pas	temps pas	166 m NE	841 m NE
V m.j ⁻¹	en place	de mesure	de mesure	3,1	10,9
E cm					
A immergée	0,87 Ci	0,83 Ci	0,76 Ci		0,42 Ci
A retrouvée		0,23 Ci	0,56 Ci	mauvais	0,05 Ci
Pt3 %	détection	28	74	temps pas	12
C G	de mise	22 m NNE	54 m NNE	de mesure	(résultats
V m.j ⁻¹	en place	4,4	3,9		partiels)
E cm		-	6		173 m NNE
Q m ³ .m ⁻¹ j ⁻¹		-	0,23		2,2
A immergée	1,77 Ci	1,68 Ci	1,05 Ci		
A retrouvée	détection	0,18 Ci	0,31 Ci	mauvais	zone
Pt4 %	de mise	11	30	temps	couverte
C G	en place	11 m SSW	49 m NNE	pas de	de
V m.j ⁻¹			3,5	mesure	trémaills

III 3.3 - Sur estran point 5 "Wissant"

(les courbes isoactives sont en annexe I)

(Principe de détections sur estran fig. 22)

Une surveillance quotidienne du 16.09 au 3.10.86 n'a pas permis de noter le moindre mouvement bien qu'à partir du 1er octobre il y eut de légères modifications morphologiques de l'estran. Cela est dû à une période de temps relativement calme et de vent de secteur Nord dominant, on observe seulement une période perturbée du 12 au 16 Sept avec un vent et une légère houle mais de secteur ENE donc sans influence sur l'estran.

A partir du 1er octobre on remarque de légères modifications de l'état de surface de la plage mais sans incidence sur les traceurs.

Détection du 23 Oct. CM=56 BM=11h07

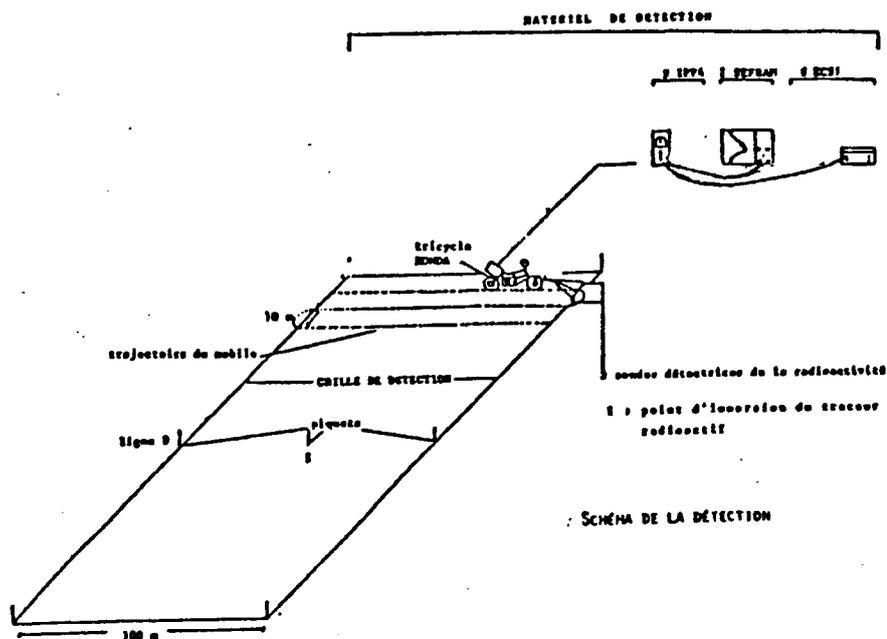
Une petite perturbation survient à partir du 18.10 et se continue jusqu'à la fin du mois avec des vents allant jusqu'à 35 m.s^{-1} et de direction moyenne W.S.W., cela a pour effet un très net bouleversement de l'estran et les traceurs se déplacent sur une distance de plus de 200 m vers le ENE, donc suivant l'influence du vent. Le centre de gravité se situe à 24 m du point d'immersion et on retrouve 32 % de l'activité, ce qui correspond à un remaniement sur une épaisseur de 21,5 cm. Cela paraît compatible avec le bouleversement morphologique de la plage. On mesure un recouvrement du point d'immersion de plus de 15 cm. Entre 100 et 150 m du point d'immersion en direction de Wissant, de nombreux trous se sont creusés et on note un fort ruissellement du haut estran vers la mer.

Détection du 28 octobre CM = 42 BM = 16h 30

L'aspect de la plage s'est très modifié, la zone très bouleversée remarquée le 23/10 s'est comblée par contre quelques dizaines de mètres plus au ENE, de nombreux trous se sont creusés à environ 200 m du P.I.

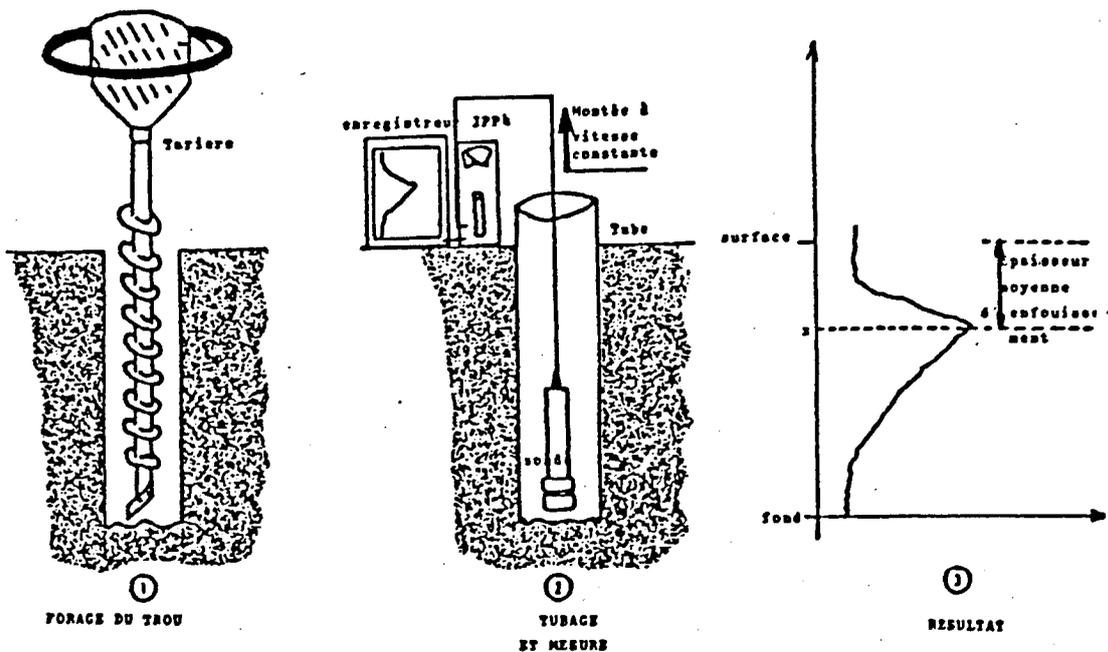
FIGURE 22

mesure de la répartition de la radioactivité en surface



mesure de la répartition de la radioactivité en profondeur

Mesure de l'épaisseur moyenne d'enfouissement par forage



Le réseau de courbes isoactives donne l'impression d'un fort recouvrement. La tache n'a que peu évolué en longueur, par contre les contours se sont lissés. On ne retrouve que 9% de l'activité, ce qui conduirait à 79 cm de remaniement, ce qui n'est pas impossible à certains endroits mais pas de manière homogène, il y a un départ en suspension et un fort transport éolien. Le centre de gravité se situe à 71 m ENE. On retrouve quelques grains radioactifs à la limite du découverture, ce qui confirme un transport en suspension et un charriage vers la mer lors du reflux. Une prospection jusqu'au pied de la dune d'Amont (ruisseau d'Herlen), n'a pas permis de retrouver de sables radioactifs, bien qu'il y ait un très important engraissement devant la digue de Wissant. Il est vraisemblable qu'une grosse partie du traceur soit emportée en mer et une autre vers les dunes mais avec une grande dilution.

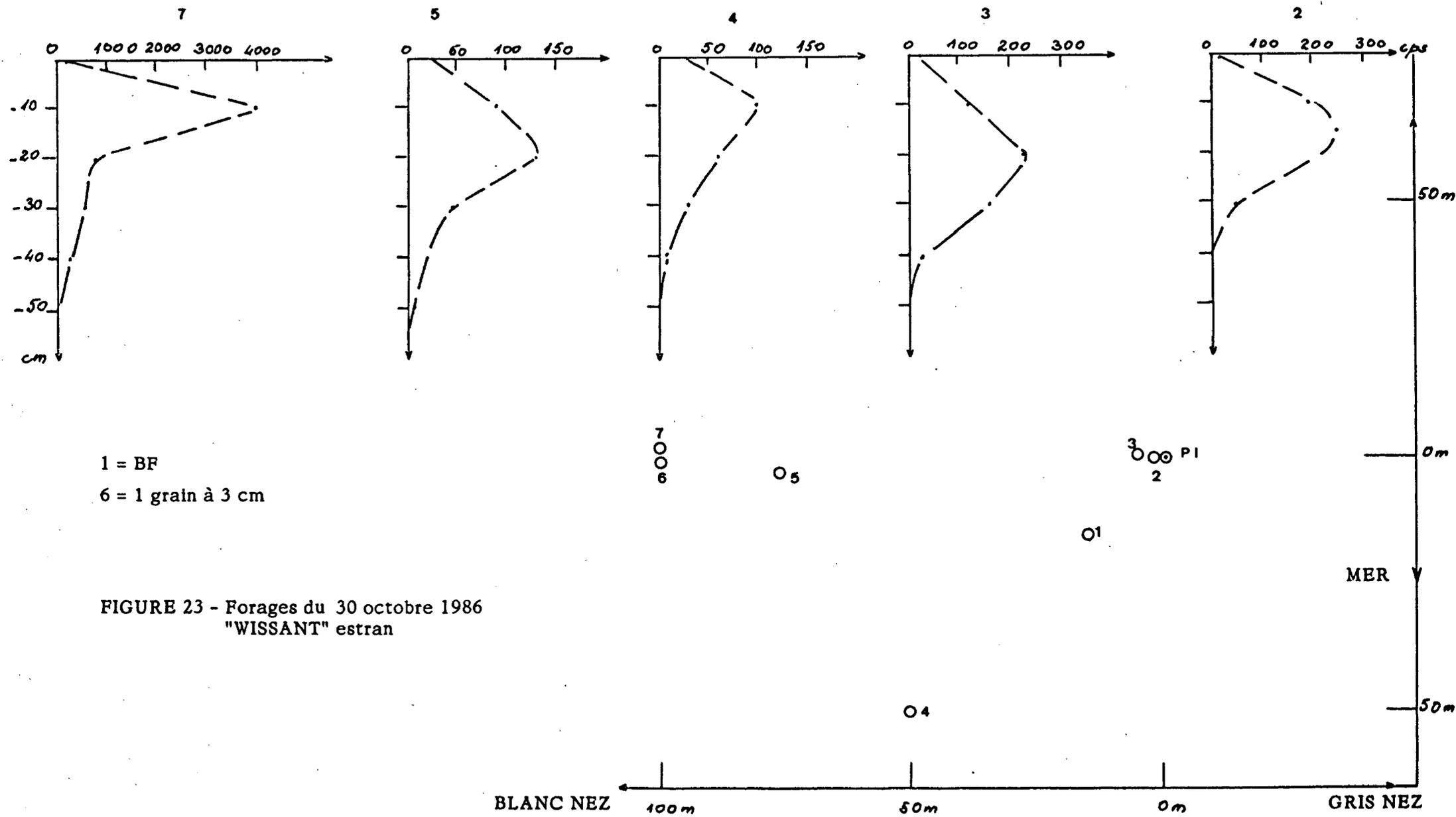
Détection du 29 octobre 1986 CM = 57 BM = 17h 30

En période de mauvais temps les modifications sont journalières. Aussi la plage est totalement modifiée, il y a des trous jusqu'au point d'immersion jusqu'ici épargnés. Cela se traduit par réseau de courbes isochoques très déchiqueté qui se termine sur une zone tourbeuse qui n'apparaissait pas jusqu'alors. Cela fait environ une épaisseur de 50 cm de sable qui ont disparu à cet endroit. On ne retrouve que 8% du traceur ce qui représentait un enfouissement de 97 cm vu l'érosion cela paraît impossible, il faut donc conclure à une disparition par charriage vers la mer au moment où la plage se découvre et par transport éolien, la vitesse du vent étant voisine de 20 m.s^{-1} .

Détection du 30 octobre 1986 CM = 73 BM = 18h 20

Vu l'aspect de la plage, il n'est plus question de faire de détection, ce n'est plus que trous et bosses, aussi il est décidé de faire des forages de place en place afin de déterminer l'épaisseur du remaniement. La fig. 23 donne la situation des forages et les profils d'activité mesurés. Il est à noter qu'au delà de 100 m du P.I. il n'y a plus de traceur.

L'épaisseur moyenne de remaniement ainsi mesurée est de 50 cm avec un maximum à 20 cm. On remarque encore une forte activité à 100 m du P.I.



1 = BF
 6 = 1 grain à 3 cm

FIGURE 23 - Forages du 30 octobre 1986
 "WISSANT" estran

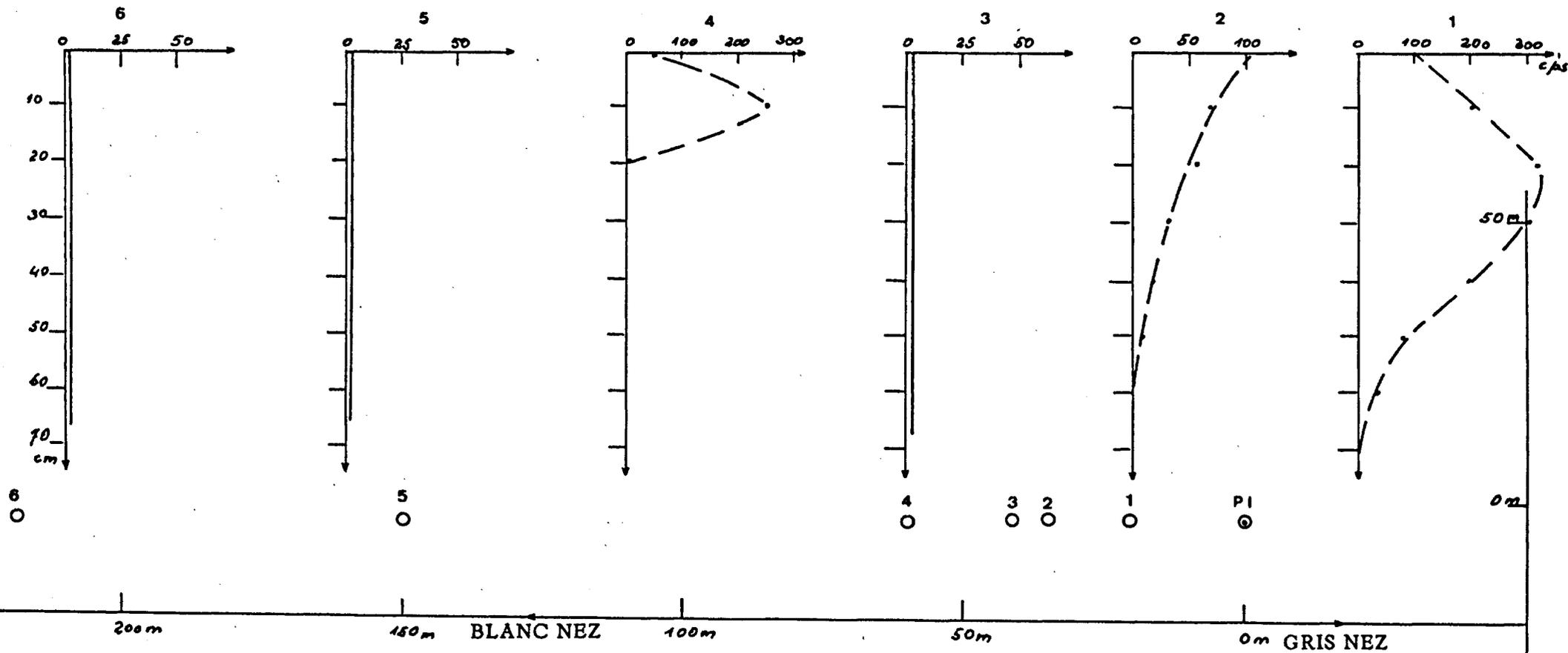


FIGURE 24 - Forages du 26 novembre 1986 "WISSANT" estran

MER
50m

Détection du 26 novembre CM = 45 BM = 15h 30

Profitant d'une veille de détection des points en mer, quelques forages sont effectués. Les résultats sont consignés sur la fig. 24. On note qu'il ne reste presque plus de traceur, seuls trois forages mettent en évidence des sables marqués, c'est le plus près du point d'immersion qu'en reste la majeure partie sur une profondeur de 60 cm avec un maximum à 25 cm.

Ces forages ne donnent qu'une information qualitative.

Estran

Tableau récapitulatif

	23.10.86	28.10.86	29.10.86	30.10.86	26.11.86
Ao	0,49 Cl	0,47	0,46		
Ar	0,16 Cl	0,044	0,04	forages	forages
%	32	9	8		
E	21,5 cm (1)	79 cm (1)	97 cm (1)	50 cm (2)	(3)
CG	24 m ENE	71 m ENE	83 m ENE		

(1) E. calculée

(2) E. mesurée avec une valeur max. à 20 cm

(3) Inf. qualitatives

IV - SYNTHÈSE ET INTERPRÉTATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats de cette étude est délicate pour deux raisons:

1. Les conditions météorologiques et le manque de disponibilité du bateau ont très profondément perturbé le déroulement des mesures et limité leur nombre et leur qualité.

2. Les résultats obtenus se caractérisent le plus souvent par le faible pourcentage d'activité retrouvée sur chacune des zones étudiées. Les "pertes" d'activité peuvent avoir des origines différentes:

2.1. Remise en suspension du traceur. Une partie de celui-ci est dispersée sous l'action cumulée des courants de marée et de ceux engendrés par les houles. La fraction du traceur ainsi perdue ne participe pas au bilan.

2.2. Remaniement et mélange du traceur dans des couches de sable naturel en mouvement. Dans ce cas, l'application de la méthode et de l'équation du "bilan des taux de comptage" [ref. 4], permet d'estimer une épaisseur de transport par charriage.

2.3. Recouvrement par des sédiments naturels qui formeraient un écran. Cela se traduit par des formes et des évolutions particulières des taches radioactives, lisibles par des spécialistes.

2.4. Immobilité d'une fraction importante du traceur déposé au point d'immersion. Dans ce cas, cette zone ponctuelle est mal mesurée en raison de sa ponctualité et en raison d'autre part de la très forte activité de cette petite surface qui "sature" le détecteur. Seules les surfaces autres que la zone d'immersion, sont alors réellement bien mesurées. De ce fait, ce sont elles qui participent au bilan. Il est donc indispensable d'examiner les résultats obtenus en ayant à l'esprit ces quatre hypothèses et les conditions matérielles dans lesquelles cette étude fut réalisée.

Zone Sud du Cap Gris-Nez (points 3 et 4)

Les traceurs ont une granulométrie très classée (250/315 μm), bien représentative des sables naturels si l'on en exclut les matériaux grossiers (environ 20% du point 3).

Les points 3 et 4 sont placés à des profondeurs identiques (- 12 m) de part et d'autre du banc de sable BASSURE DE BAAS.

La direction du transport est orientée vers le NORD avec une vitesse moyenne comprise entre 3,5 et 4,4 m/j. Le débit de charriage, sur une épaisseur de 6 cm, est compris entre 0,2 et 0,25 m³/m et par jour. Donc le transport par remise en suspension est possible mais aucun indice permet d'être affirmatif.

Zone de WISSANT (points 1 et 2)

Les traceurs radioactifs déposés ont une granulométrie très classée, identique à celle des sables de la zone SUD Cap Gris-Nez. Ils sont représentatifs des sables naturels au point 1 mais, par contre, ils sont plus fins au point 2.

Le point 1 est situé sur des petits fonds (-5m), entre la bordure du BANC A LA LIGNE et le rivage, alors que le point 2, bien que situé sur l'isobathe - 10 m est moins protégé.

Caractéristiques communes des points 1 et 2

- Même direction de transport, NE, parallèle à la côte.
- Des pourcentages d'activités retrouvées constantes dans le temps
- Point 1 : 27 et 30% respectivement 54 et 77 jours après l'immersion.
- Point 2 : 42 et 47% dans les mêmes conditions.

Caractéristiques différentes des points 1 et 2

. La vitesse de transit au point 2, le plus au large et ayant une granulométrie plus fine que le sable naturel, est nettement plus grande (entre 3 et 11 m/j), que celle du point 1 (0,7 à 1,4 m/j).

. Les réseaux des courbes isoactives sont différentes. Hétérogènes et discontinues au point 2 : il y a une remise en suspension facilitée par la présence des ridens. Ainsi au point 2, le transport s'effectue selon les deux modes : par charriage et en suspension à parts égales puisque environ 45 à 50% du traceur est détecté sur le fond.

Le transport de charriage se ferait sur une épaisseur très faible (puisque le traceur mobile est facilement remis en suspension) de l'ordre de un centimètre, soit, si on admet une vitesse d'environ 11 m/j, un débit de $0,1 \text{ m}^3/\text{m}$ et par jour. Par contre le point 1 se caractérise par une vitesse de transit plus lente (0,7 à 1,4 m/j) et une épaisseur de charriage estimée par la méthode du bilan des taux de comptage, de 25cm. Cette valeur est par excès, car elle suppose qu'il n'y a pas eu de remise en suspension et que toute l'activité non "retrouvée" est contenue dans cette couche en mouvement. Dans ce cas le transport par charriage atteint $0,25 \text{ m}^3/\text{m}$ et par jour.

Estran

Les mouvements sédimentaires sur l'estran sont soit négligeables (période de temps calme), soit intenses dès que la houle et le vent entrent en action.

La vitesse de transit est de l'ordre de 8 m/j sur une épaisseur de 21 cm. Soit un débit de charriage atteignant $1,7 \text{ m}^3/\text{m}$ et par jour en direction du Nord Est. Mais rapidement les épaisseurs remaniées atteignent 60 cm et plus.

A ce transit se superpose un entrainement des sédiments en direction des petits fonds: il y a là une source qui alimente le BANC A LA LIGNE.

Précision des mesures

L'estimation du transport solide par charriage sur une double mesure :

. Celle de la vitesse moyenne du déplacement du centre de gravité du nuage formé par les particules radioactives.

. Celle de l'épaisseur du transport E obtenu en résolvant l'équation du bilan des taux de comptage.

C'est dans cette dernière détermination que se situe la plus grande incertitude. Ceci est dû au fait que la différence entre l'activité totale immergée (corrigée de la décroissance radioactive) et l'activité totale détectée est imputée au mélange, sur une épaisseur E , du traceur avec des sables naturels provoquant l'atténuation partielle des rayonnements γ émis par l'iridium 192. Autrement dit il y a une surestimation de E et donc du charriage quand on néglige le transport par remise en suspension.

Cette surestimation, dans le cas de cette étude, peut atteindre un facteur 2. Ce qui est dans le domaine des transports solides sous l'action des courants et des houles très faible en comparaison des écarts auxquelles conduisent les équations théoriques ou semi empiriques. Dans ce cas, ces écarts sont compris entre 10 et 50 (HEATHERSHAW).

Dans le cas présent, le transport par charriage est probablement surestimé et le transport par suspension quand il existe n'est pas pris en considération. Or, il ne faut pas oublier que les traceurs radioactifs immergés ont une granulométrie fine et très classée. Si le transport par suspension était prédominant, les pourcentages d'activités retrouvés 77 jours après les immersions seraient voisins de zéro. Ce n'est pas le cas.

CONCLUSIONS

L'étude met en évidence un transit sédimentaire parallèle à la côte; du Sud vers le Nord au Sud du Cap Gris-Nez, puis en direction du Nord Est entre Cap Gris-Nez et WISSANT. Ceci est conforme au cycle hydrosédimentaire proposé par CLABAUT [2, 3]. Cependant, cette campagne expérimentale hivernale ne permet pas de conclure quant à l'hypothèse du recyclage du sable du BANC A LA LIGNE qui viendrait, en été, alimenter la plage de WISSANT. Une nouvelle expérience, faite à la belle saison, devant WISSANT, serait indispensable pour lever cette importante incertitude.

L'alimentation du BANC A LA LIGNE avec des matériaux provenant de l'érosion de l'estran est confirmée.

Les quantités transportées par charriage sont comprises entre 0,1 et 0,25 m³ par mètre linéaire et par jour. Ces valeurs en mer sont comparables à celles trouvées par HEATHERSHAW dans la baie de SWANSEA (environ 0,2m³/m.j) en utilisant la même technique des traceurs radioactifs et développant des calculs théoriques avec l'équation de BAGNOLD.

Sur l'estran le débit de charriage 1,7 m³/m.j, qui ne tient pas compte du transport éolien, est également comparable à des résultats obtenus sur d'autres sites [7]. La figure 25 résume les conclusions de cette étude.

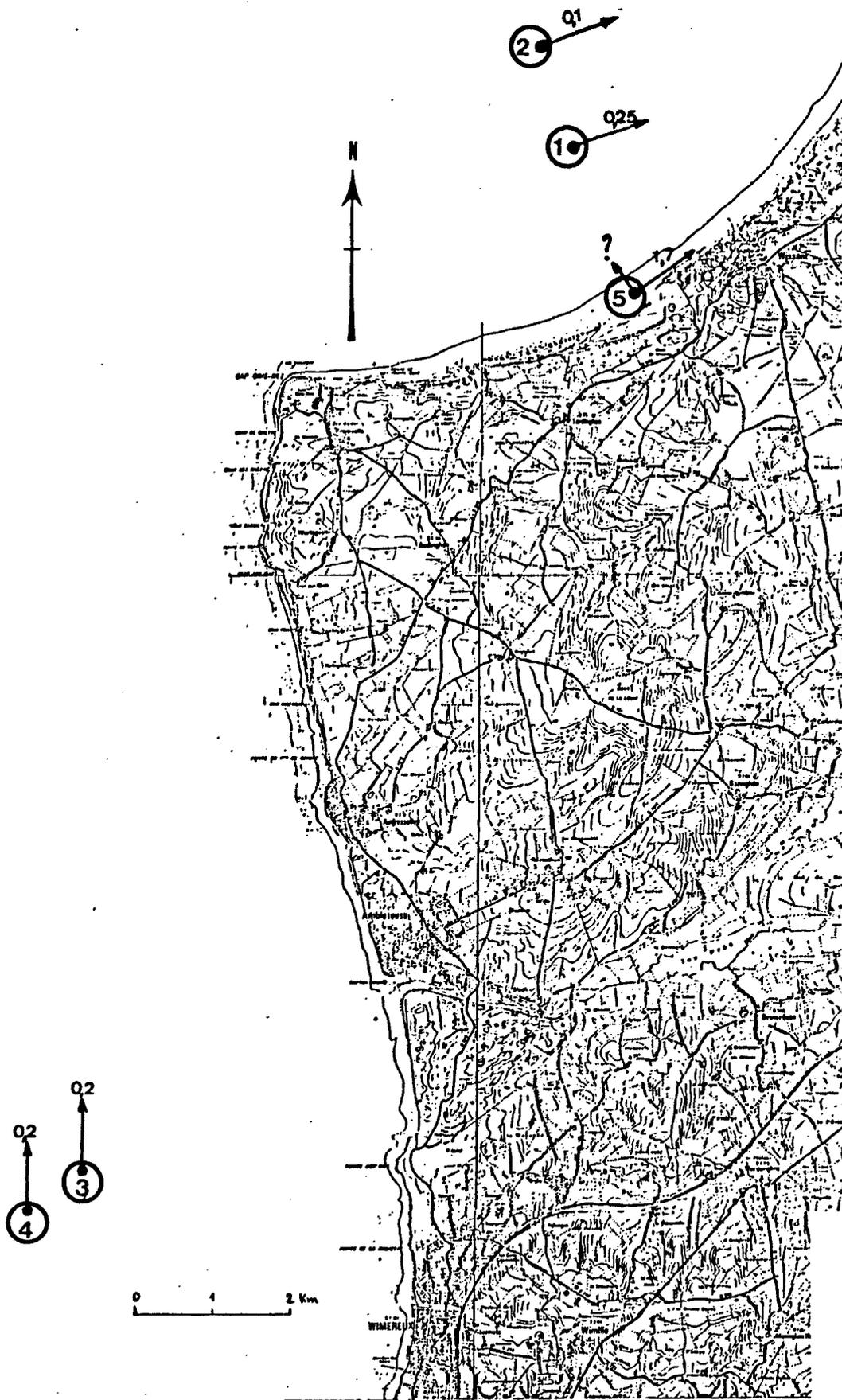


FIGURE 25 - Direction des transports et estimation du charriage en $m^3.m^{-1}.j^{-1}$

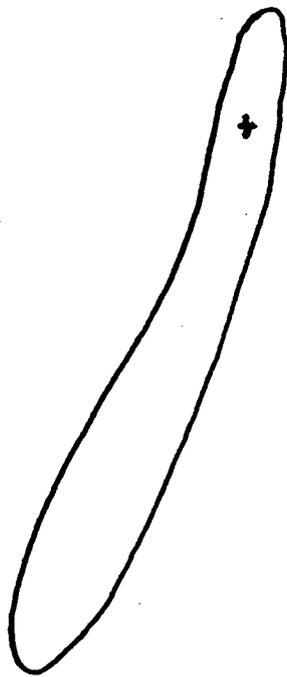
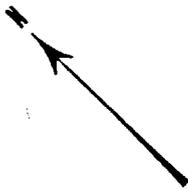
BIBLIOGRAPHIE

- [1] Cl. AUGRIS - Ph. CLABAUT
Répartitions des formations superficielles au large de BOULOGNE/MER (Cap
GRIS-NEZ - Baie d'AUTHIE)
IFREMER. COB-DERO-GM
Université de Lille - Lab. de Sédimentologie et de géochimie.
- [2] Ph. CLABAUT - H. CHEMLEY - C. BECK
Etude Sédimentologique du littoral de WISSANT
Univesité de Lille Lab. de Sédimentologie et de géochimie
- [3] Ph. CLABAUT
Dynamique sédimentaire du littoral de WISSANT et de ses abords.
Diplôme Etudes Approfondies
Université de Lille Dec. 1984
- [4] G. SAUZAY
Méthode du bilan des taux de comptage d'indicateurs radioactifs pour la
détermination du débit de charriage des lits sableux.
Thèse Docteur Ingénieur
Université de Toulouse Nov. 1967
- [5] Mac CAVE
Sand Waves in the North Sea off the coast of Holland
Marine géology [1971] (199-225)
- [6] STRIDE A.H., CARTWRIGHT D.E. 1958
Sand transport at Southern end of the North Sea.
Doc Harb our authorities 39,323-324
- [7] A. CAILLOT
BILAN DE L'ETUDE EFFECTUEE AU MOYEN DE TRACEURS RADIOACTIFS DANS LE GOLF
NORMANO-BRETON sur les sites de Barnevitte Carteret, Hatainville et
Sciotot.

ANNEXE 1

Courbes isochocs

Diagrammes de répartition de l'activité

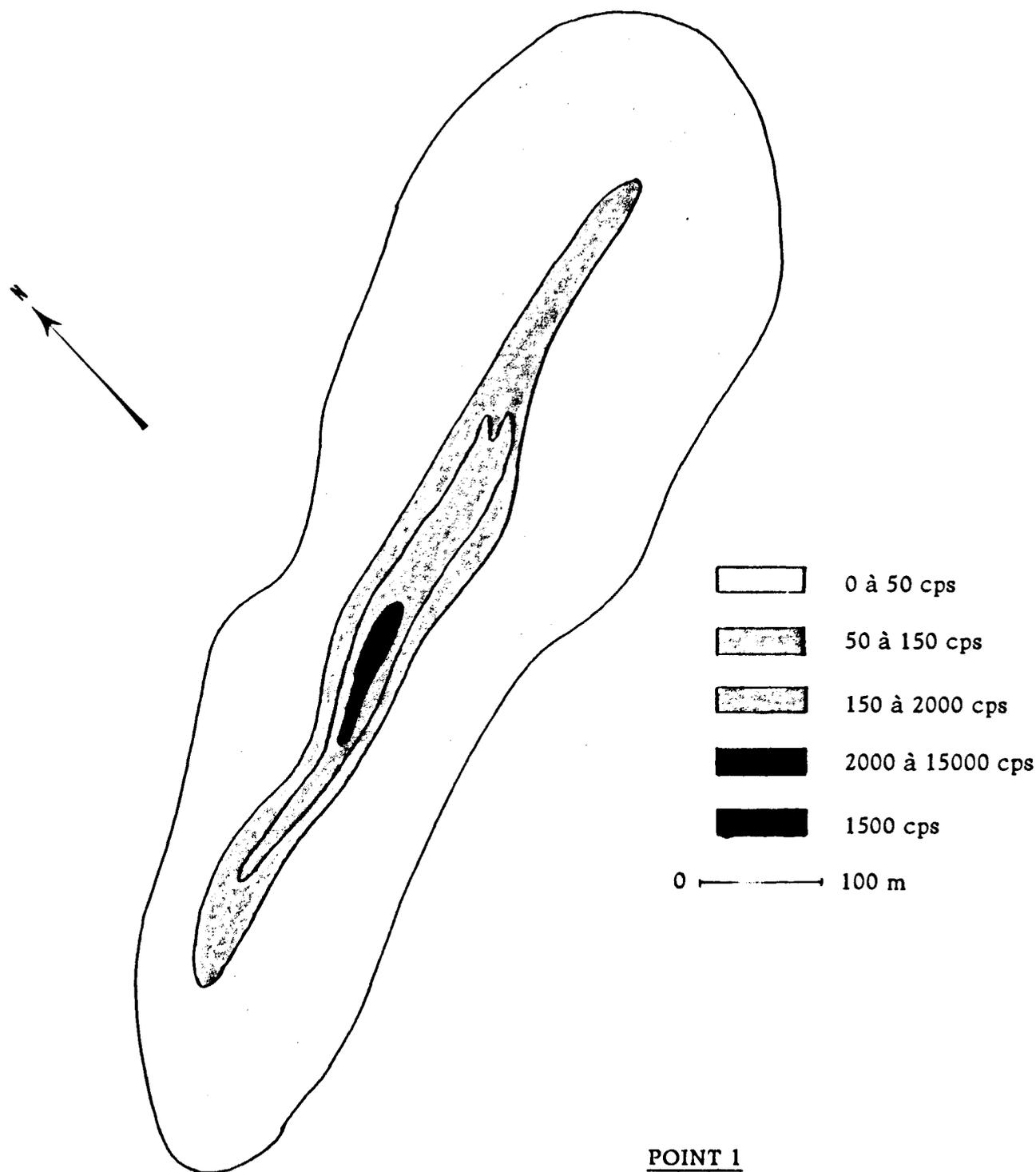


0 100 m

POINT 1

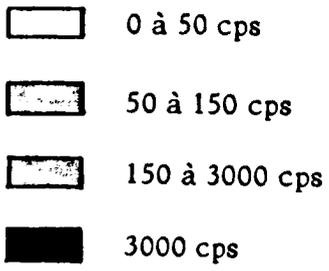
Détection de mise en place

10 septembre 1986

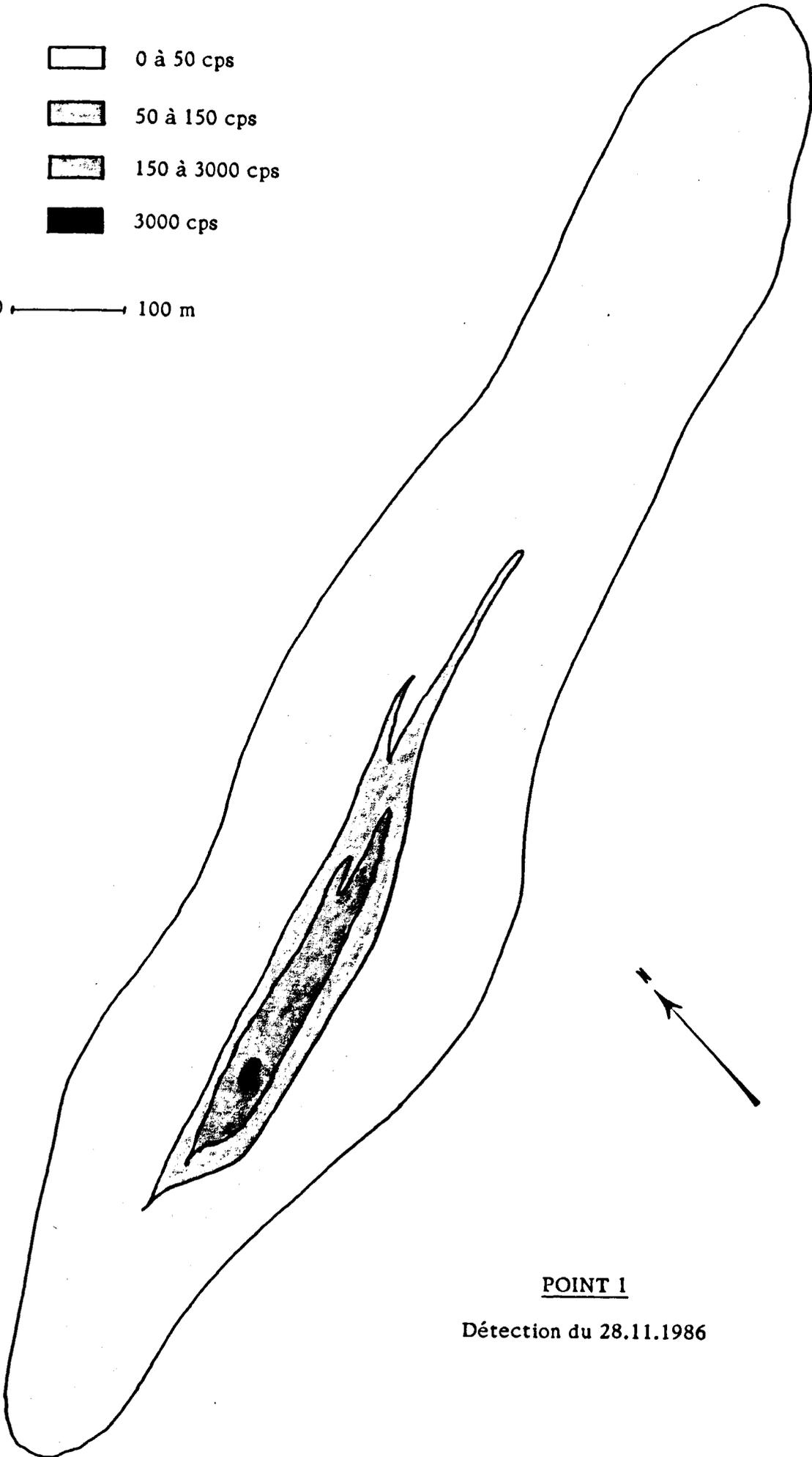


POINT 1

Détection du 03.11.1986

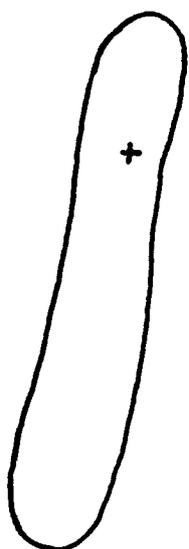


0 — 100 m



POINT 1

Détection du 28.11.1986

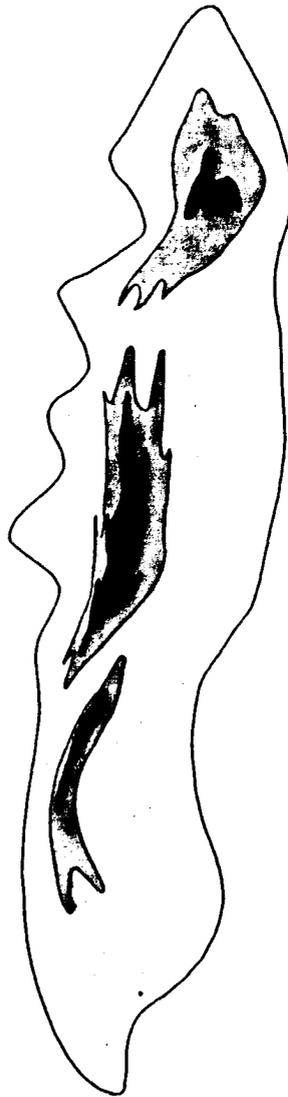
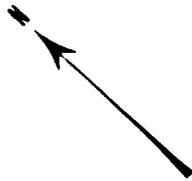
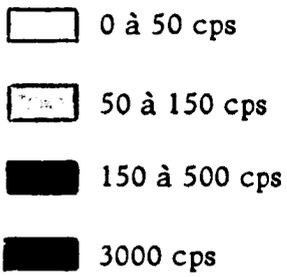


0 ————— 100 m

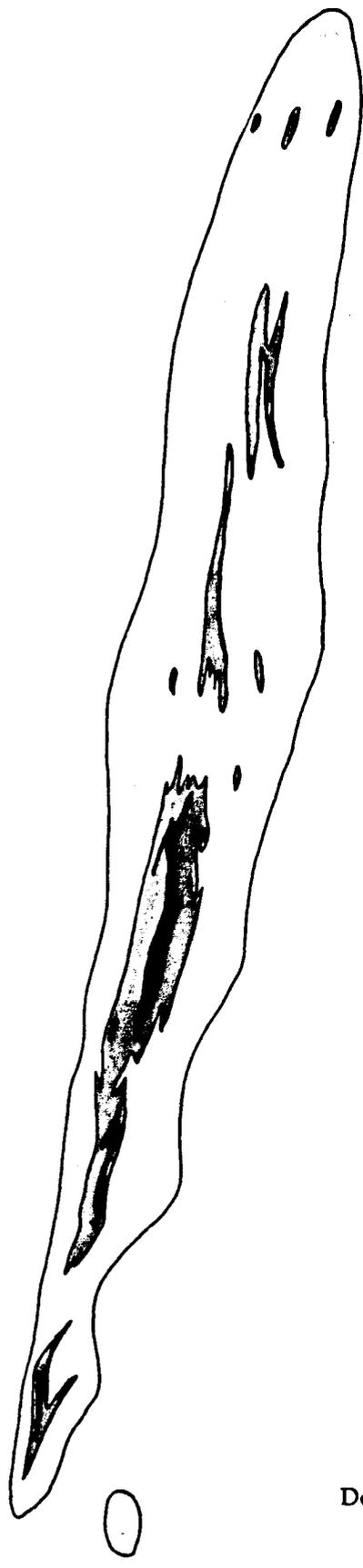
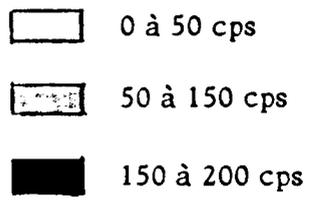
POINT 2

Détection de mise en place

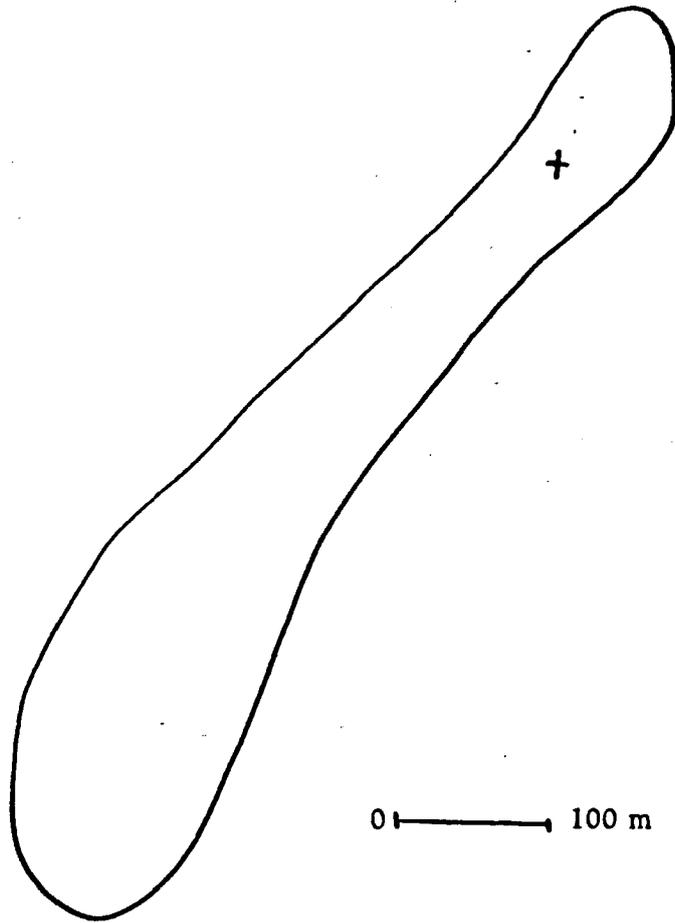
10.09.1986



POINT 2
Détection du 03.11.1986



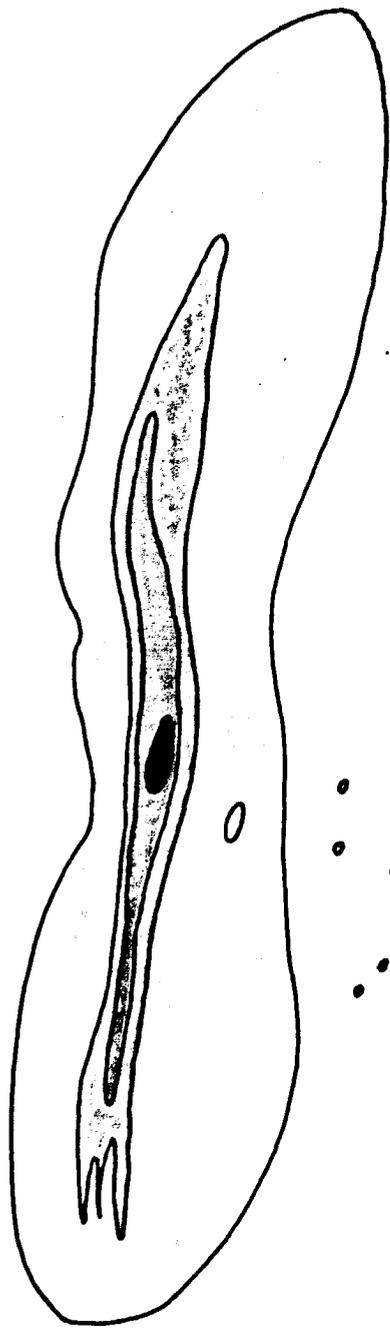
POINT 2
Détection du 28.11.1986



POINT 3

Détection de mise en place

11.09.1986

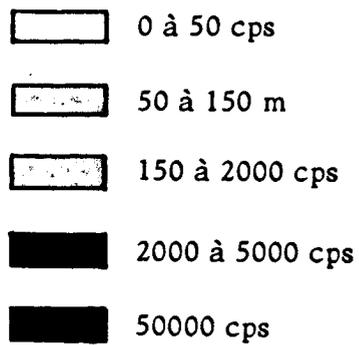
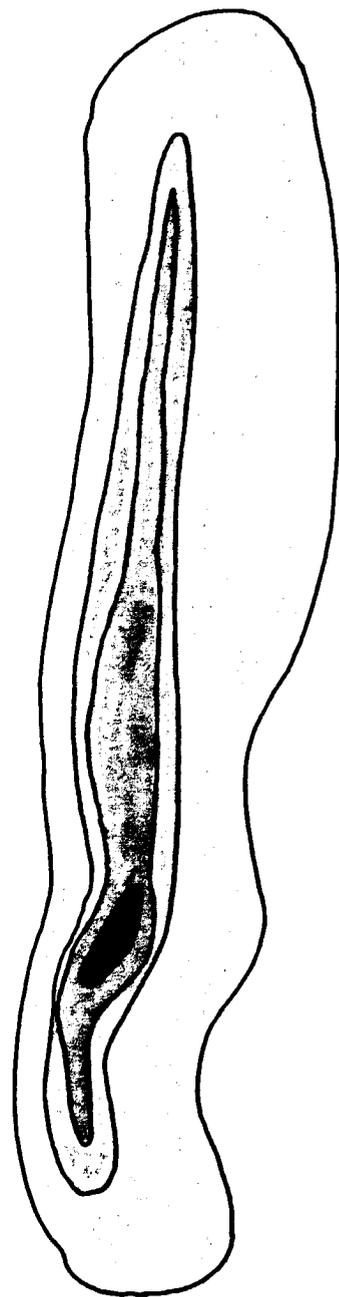


-  0 à 50 cps
-  50 à 150 cps
-  150 à 500 cps
-  500 à 1000 cps
-  5000 cps

0 ————— 100 m

POINT 3

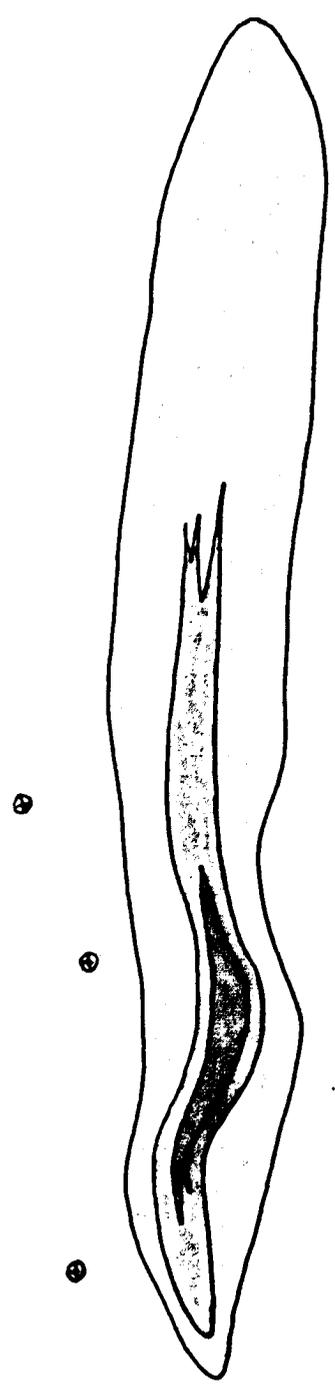
Détection du 16.09.1986



0 ————— 100 m

POINT 3

Détection du 25.09.1986



-  0 à 50 cps
-  50 à 150 cps
-  150 à 200 cps

0 ————— 100 m

POINT 3

Détection du 27.11.1986

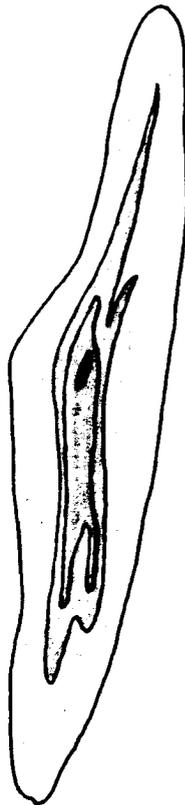


0 ————— 100 m

POINT 4

Détection de mise en place

11.09.1986

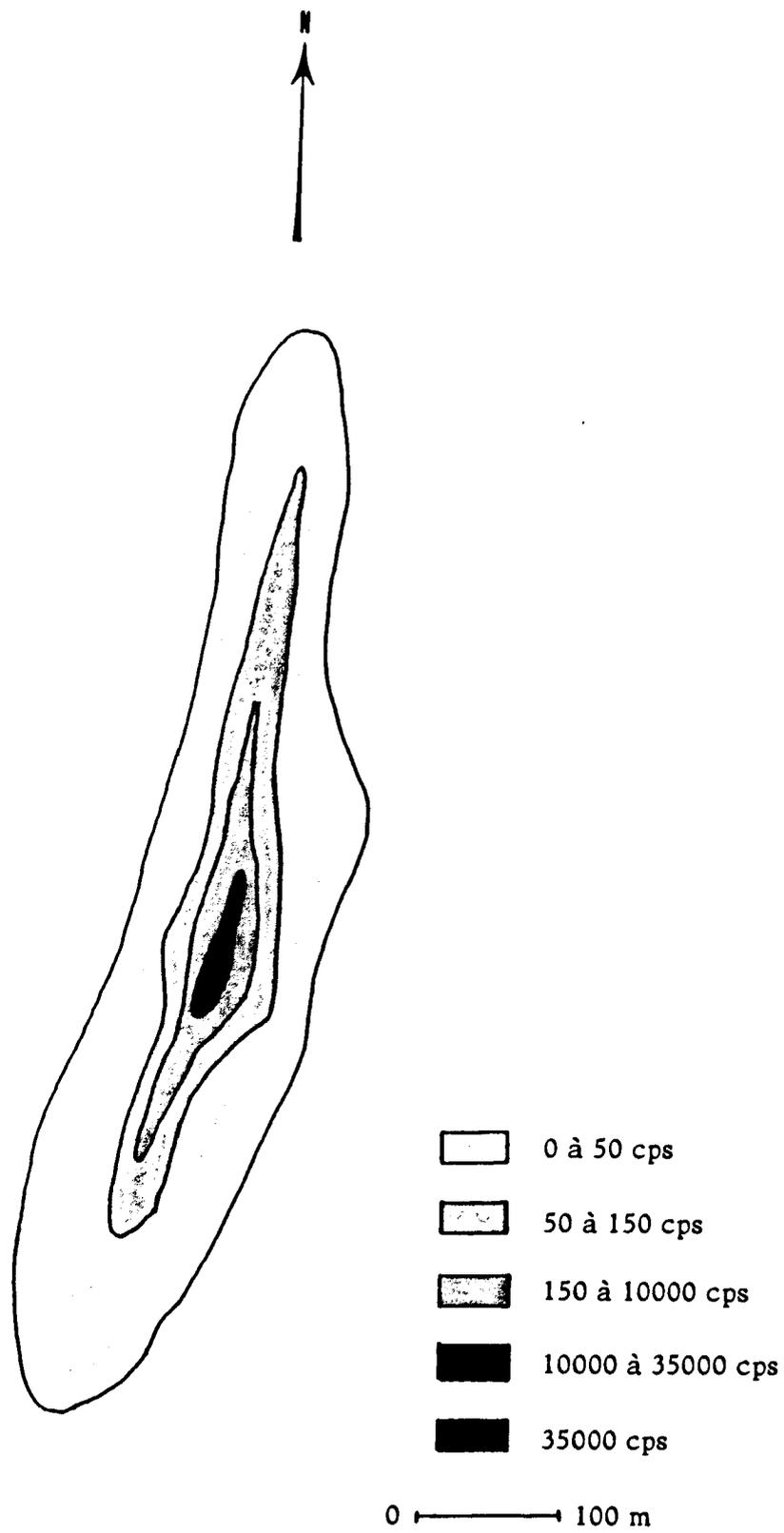


0 ————— 100 m

-  0 à 50 cps
-  50 à 150 cps
-  150 à 10000 cps
-  10000 à 30000 cps
-  30000 cps

POINT 4

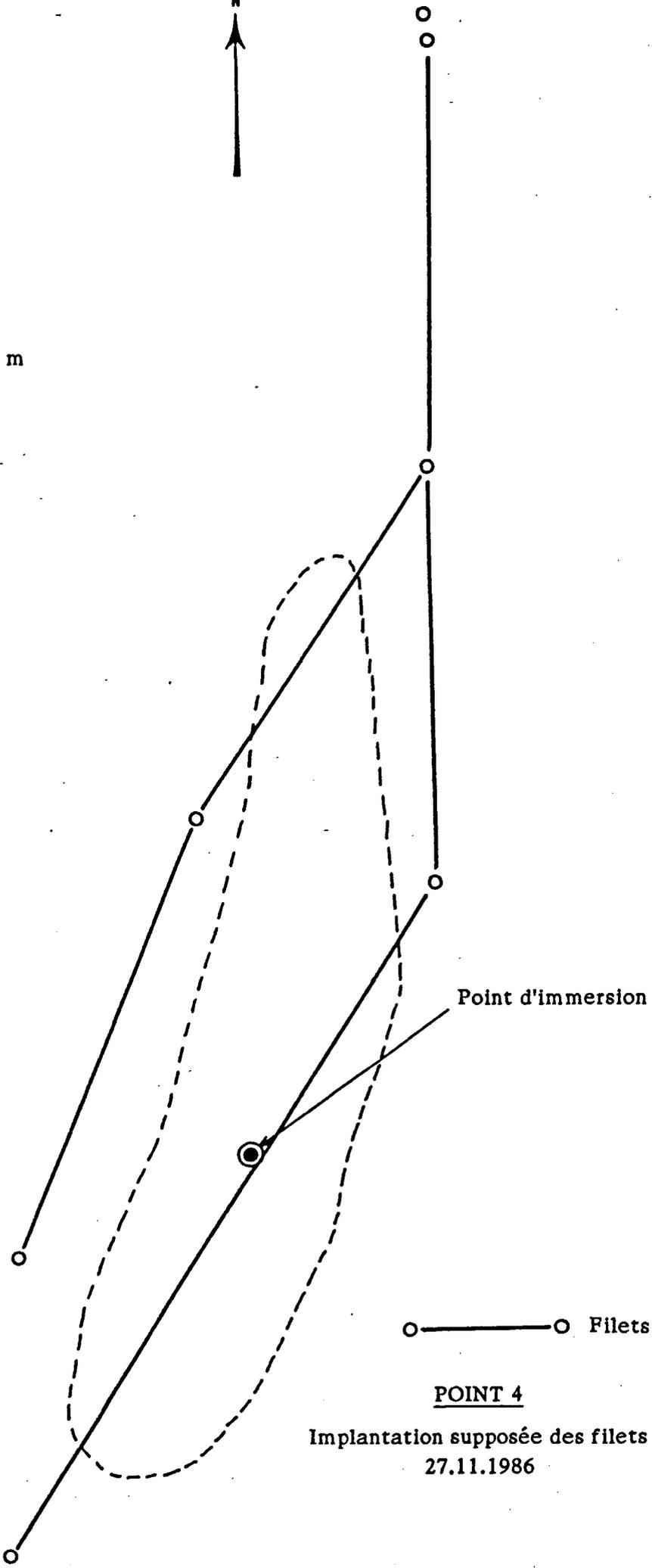
Détection du 16.09.1986



POINT 4

Détection du 25.09.1986

0 100 m

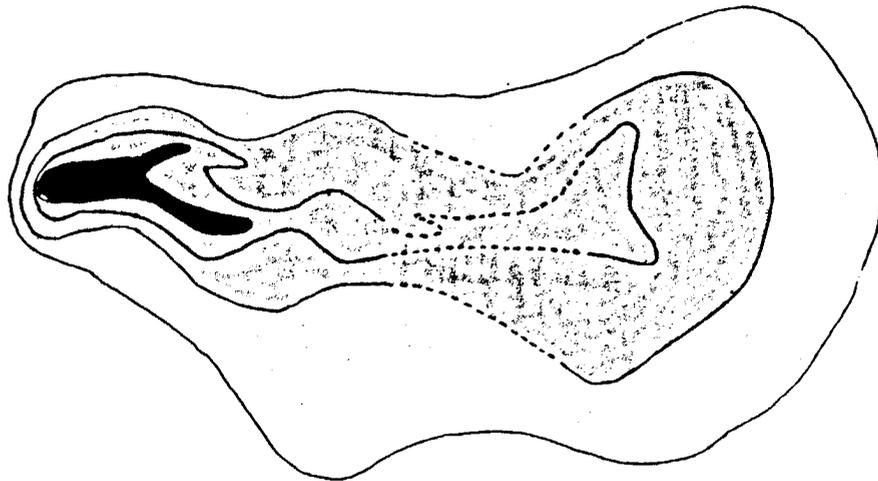
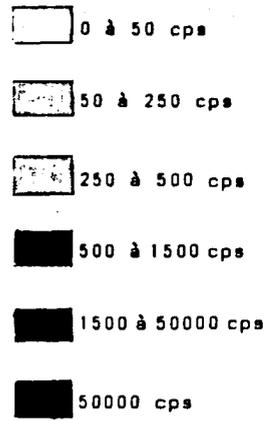


Point d'immersion

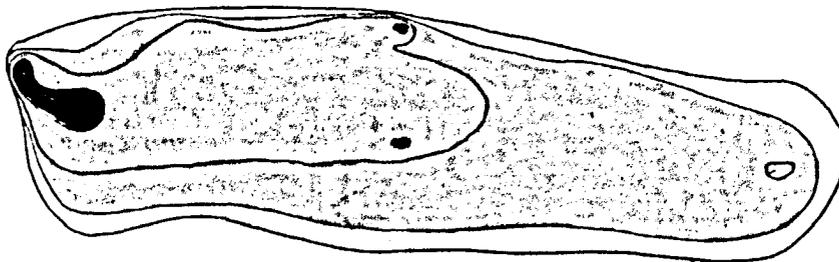
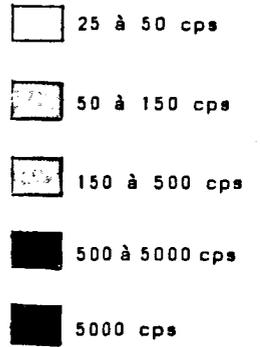
○ — ○ Filets

POINT 4

Implantation supposée des filets
27.11.1986

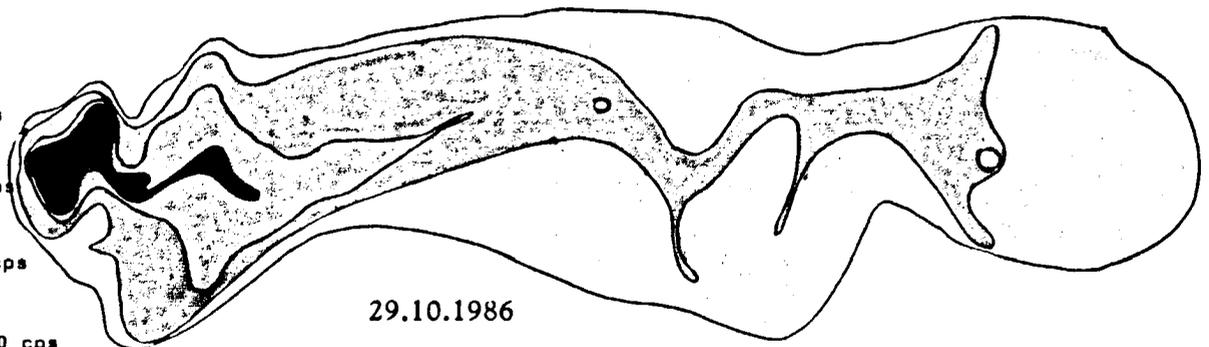
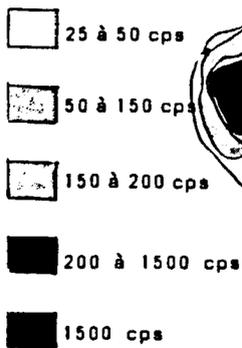


23.10.1986



28.10.1986

50 m



29.10.1986

POINT 5

Détections "WISSANT" ESTRAN

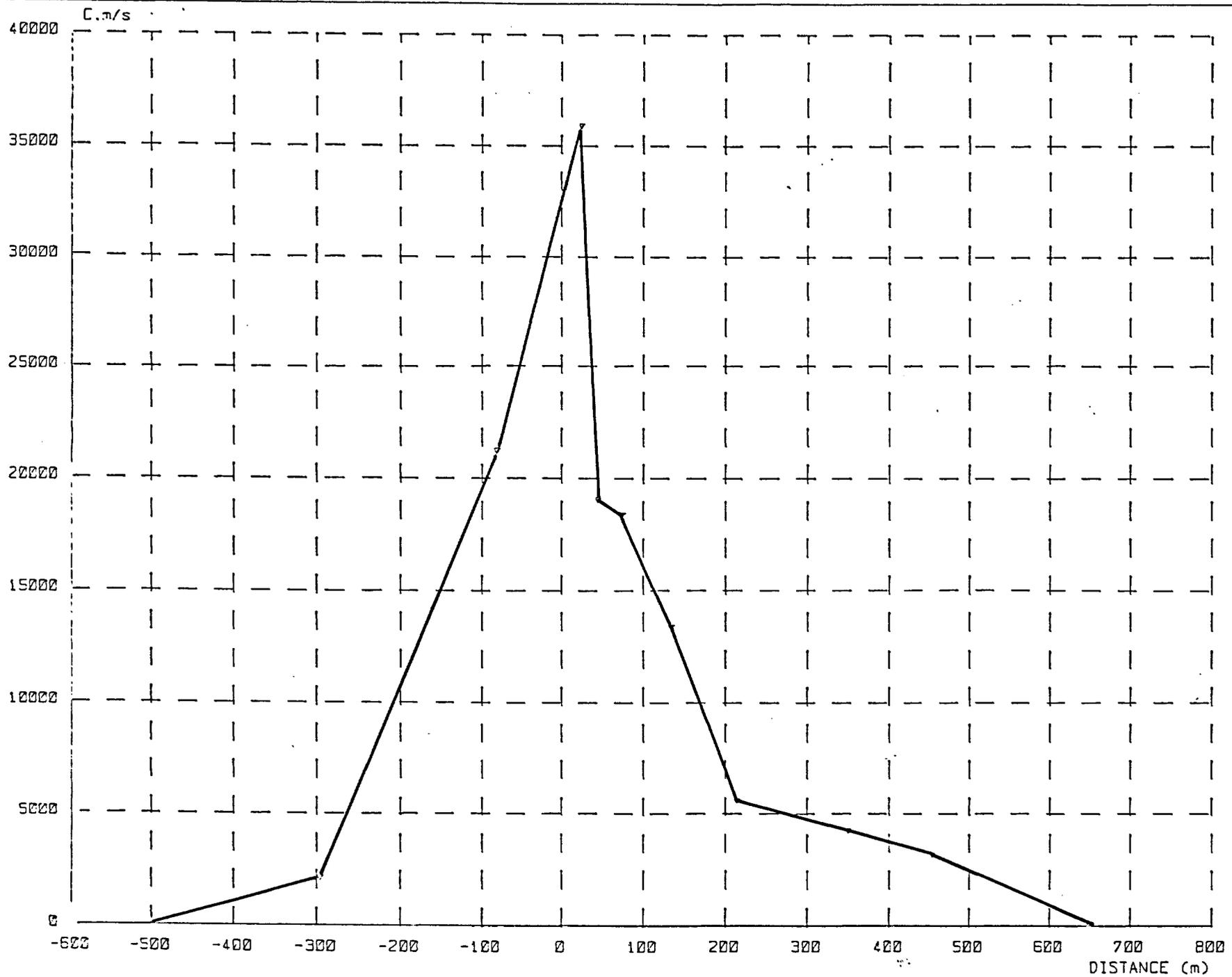
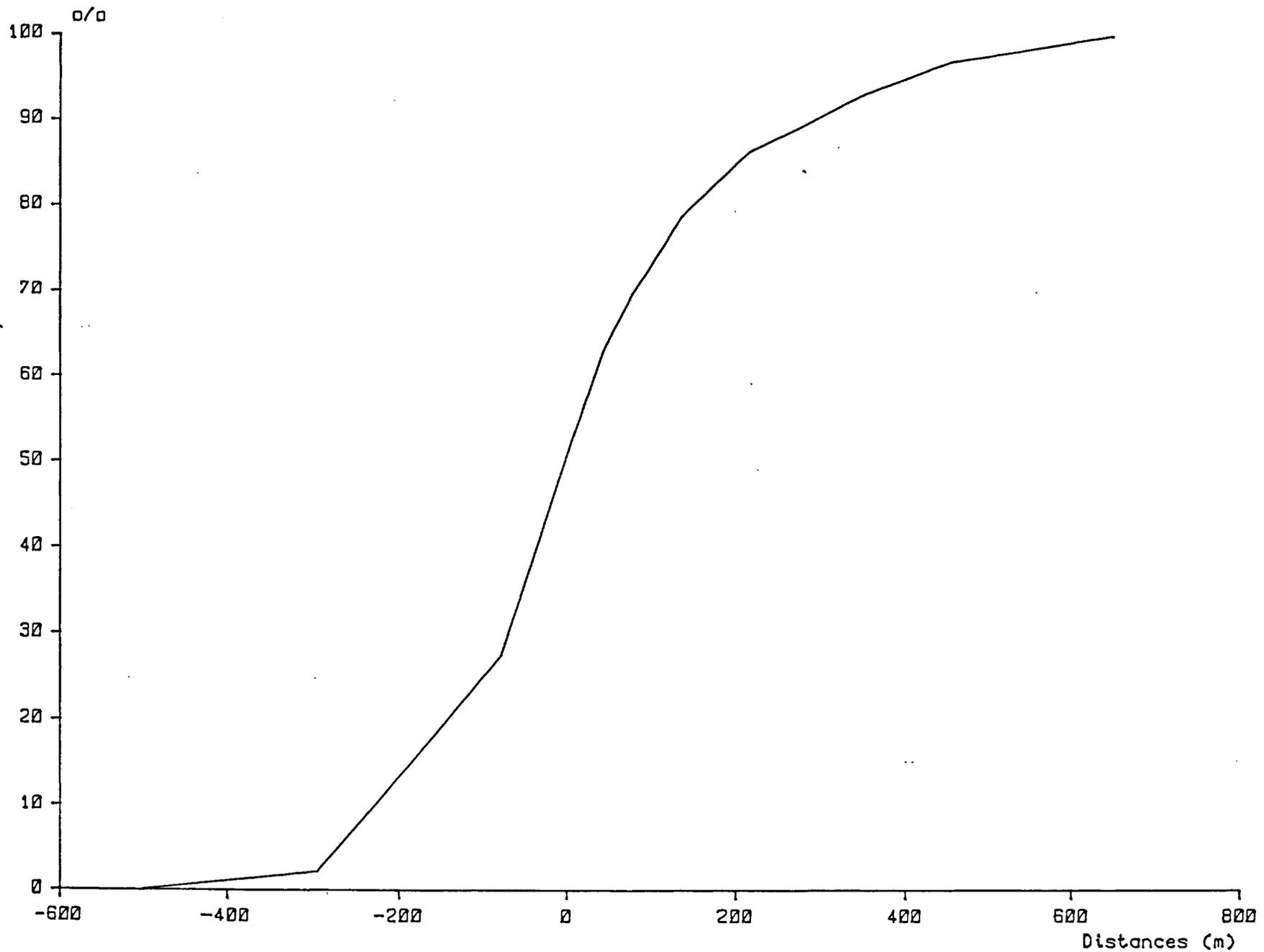


Fig.26 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
 WISSANT - Pt.1 - 3.11.1986



Flg. 26 bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT 1 - 3 NOVEMBRE 1986

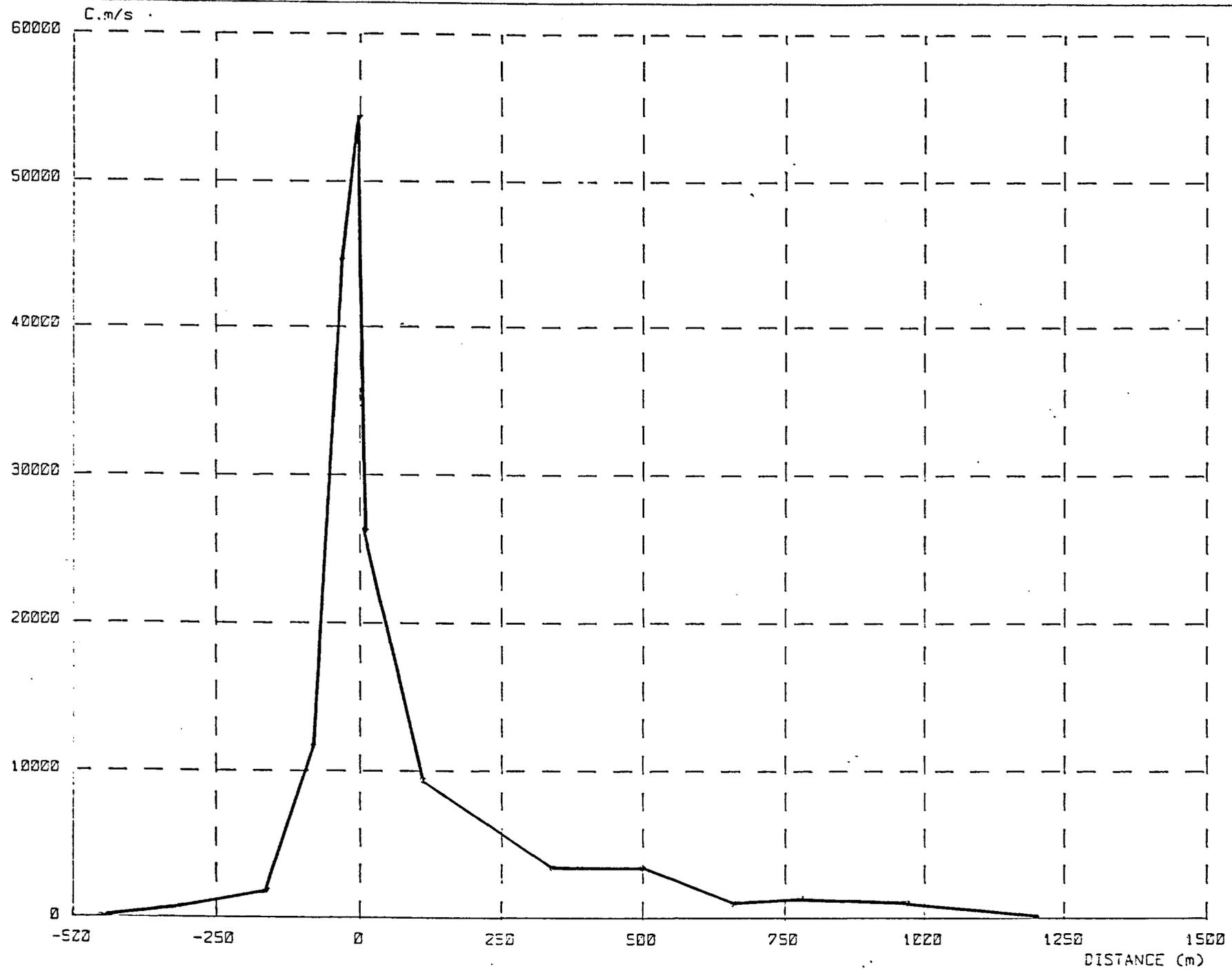


Fig 27 -DIAGRAMME DE TRANSPORT
WISSANT - Pt.1 - 28.11.1956

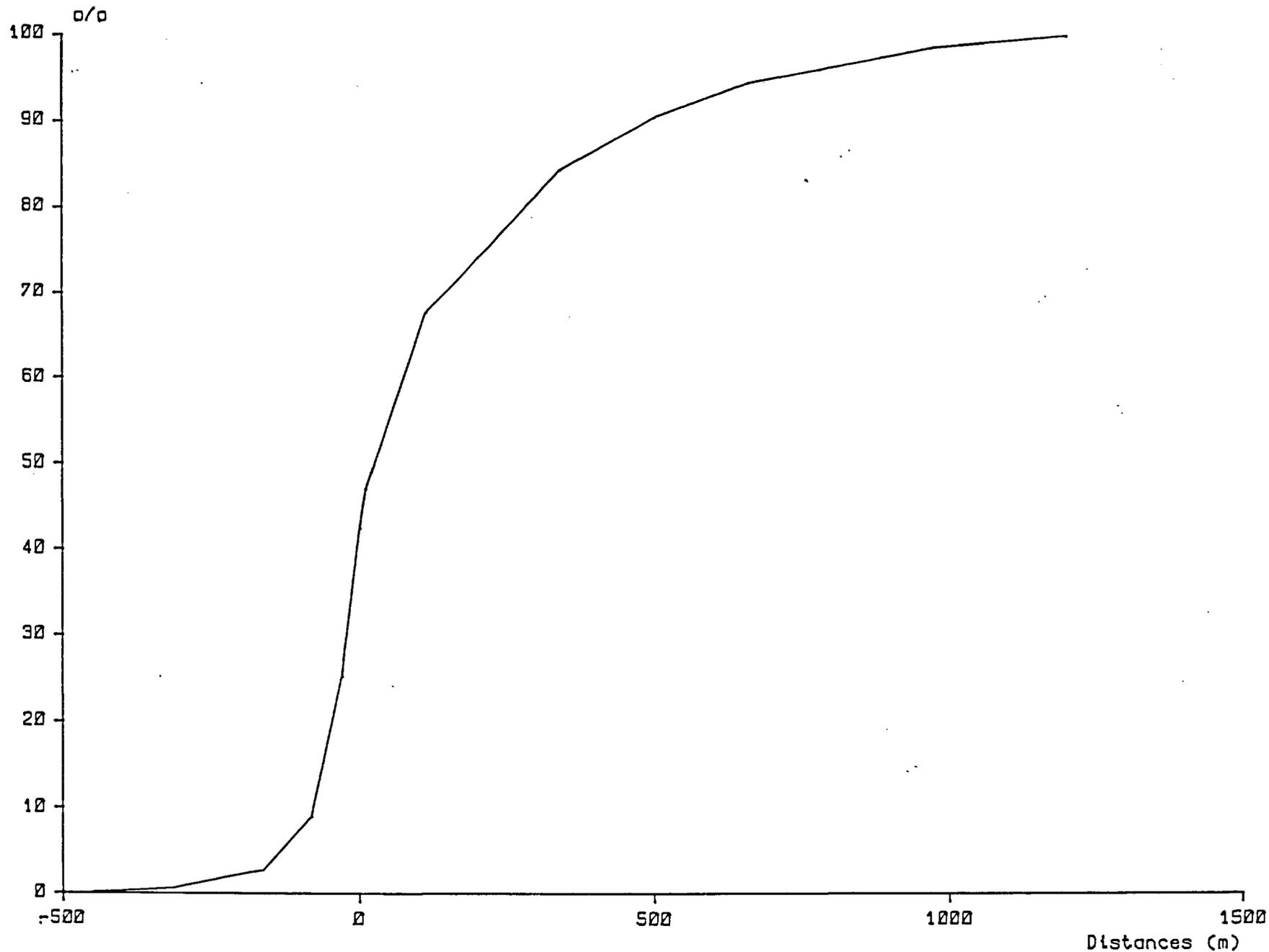


Fig. 27 bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT 1 - 28 NOVEMBRE 1986

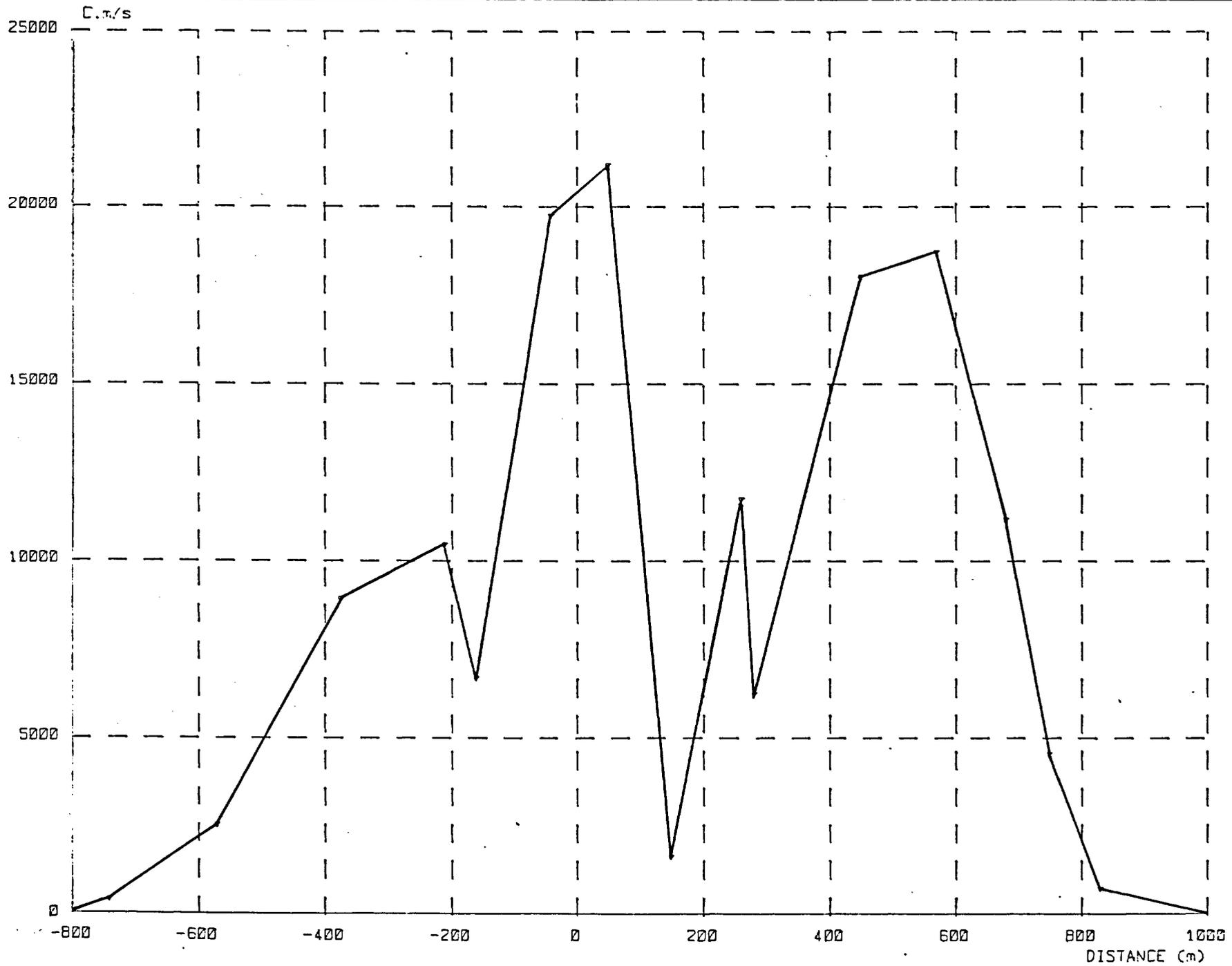


Fig.28- DIAGRAMME DE TRANSPORT
WISSANT - Pt.2 - 3.11.1996

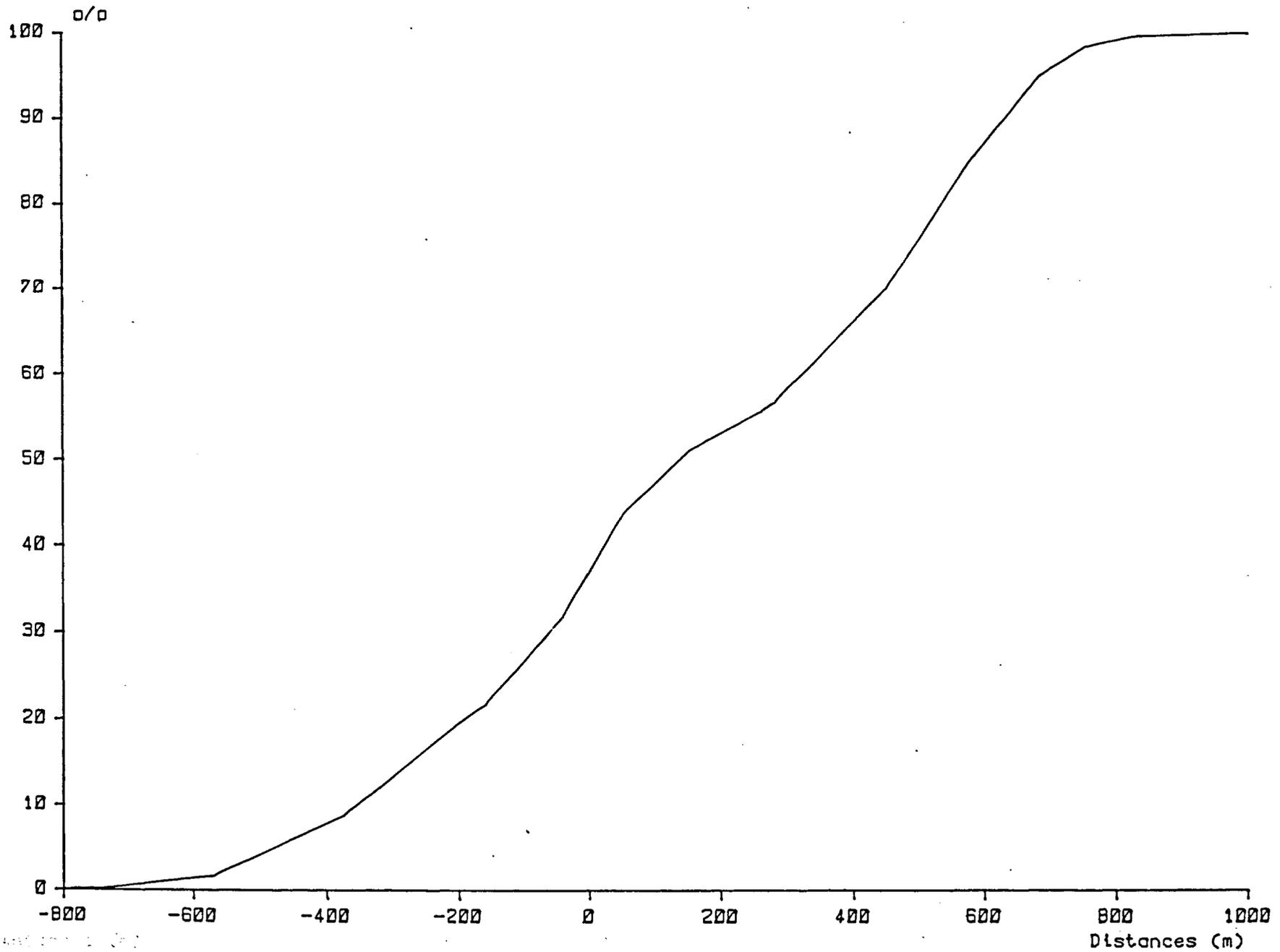


Fig. 2B bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT 2 - 3 NOVEMBRE 1986

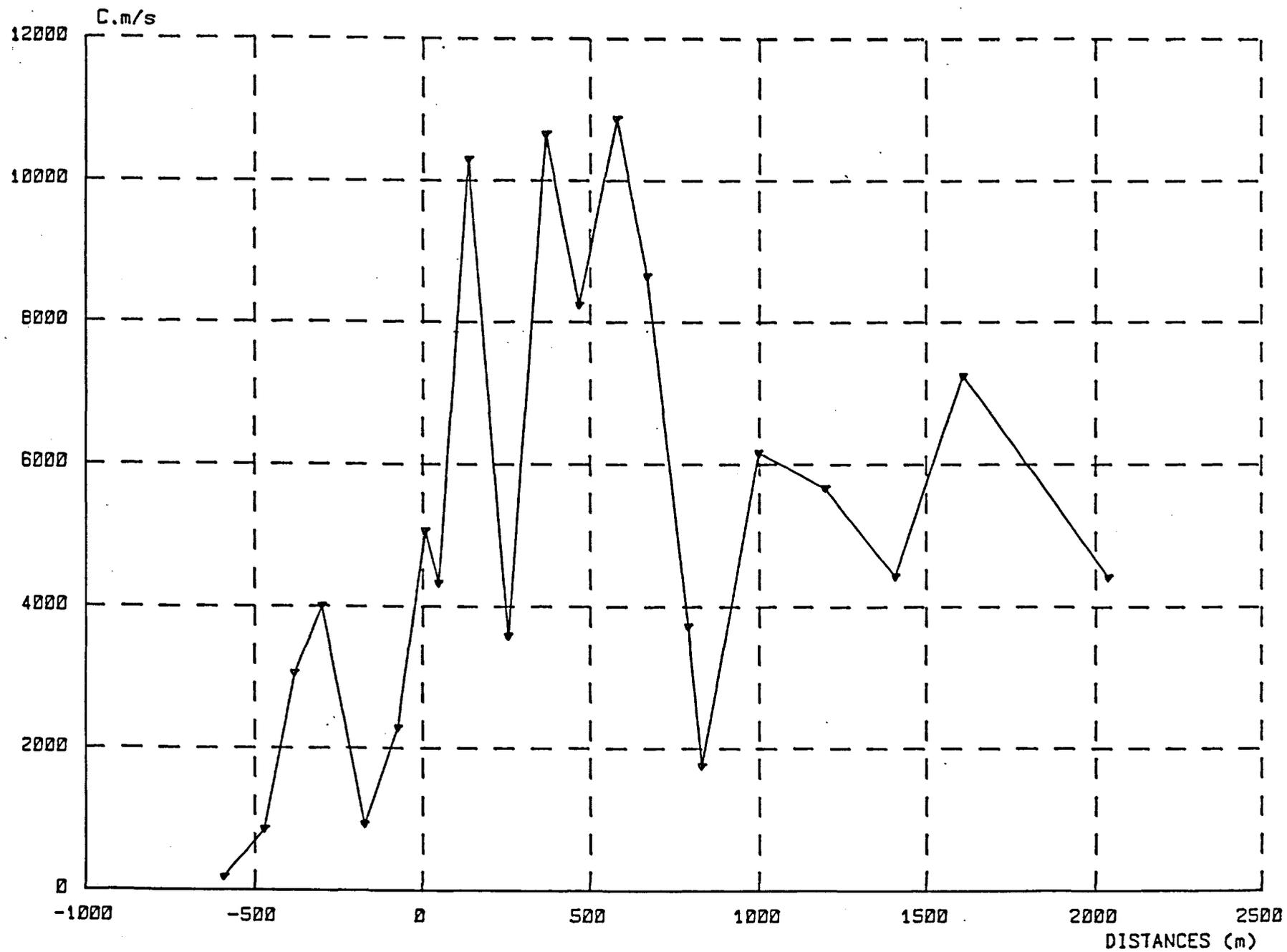


Fig. 29 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
 WISSANT -Pt.2 -28.11.1986

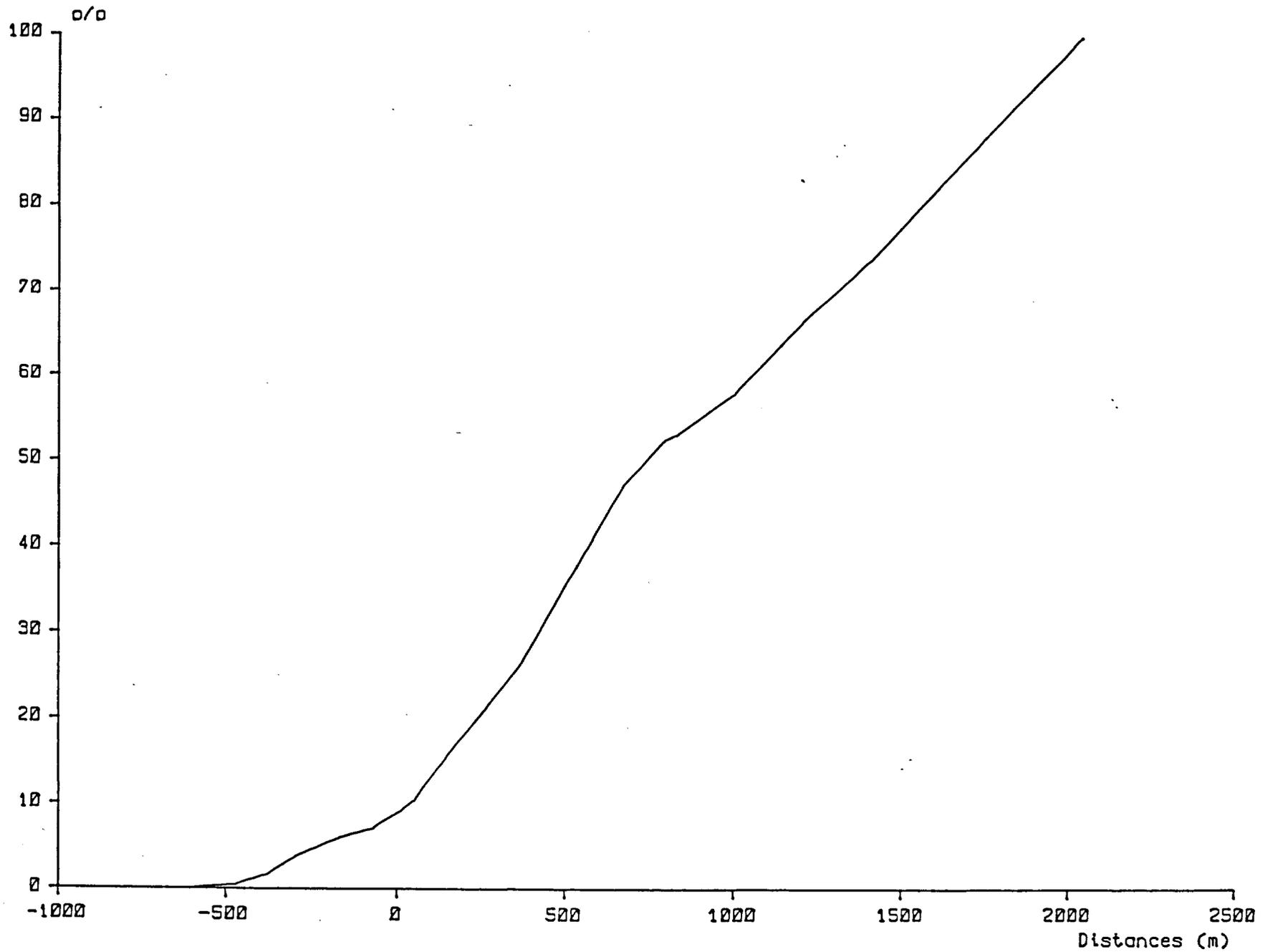


Fig. 29 bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT 2 - 28 NOVEMBRE 1986

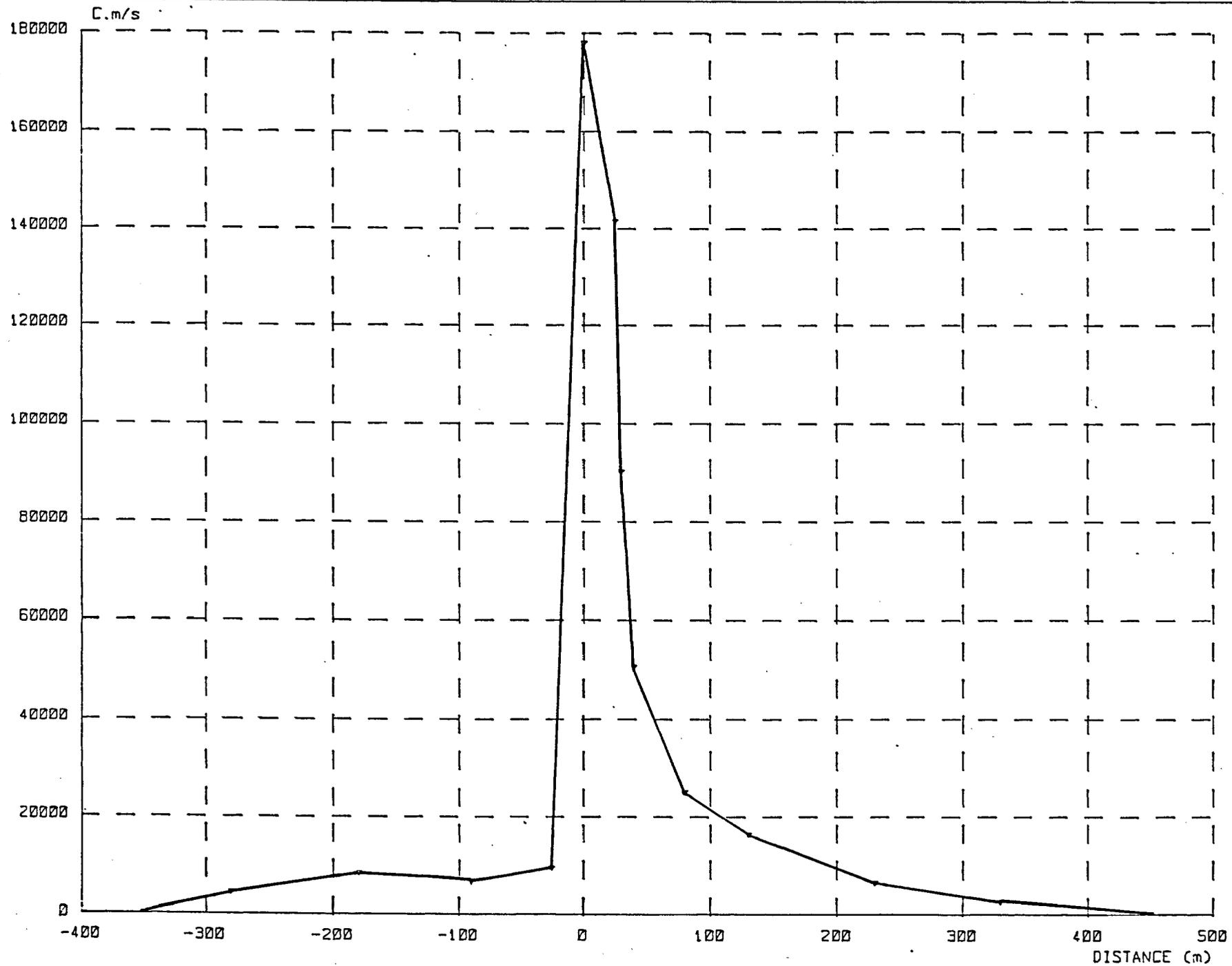


Fig.30- DIAGRAMME DE TRANSPORT
BOULOGNE - Pt.3 - 16.09.1986

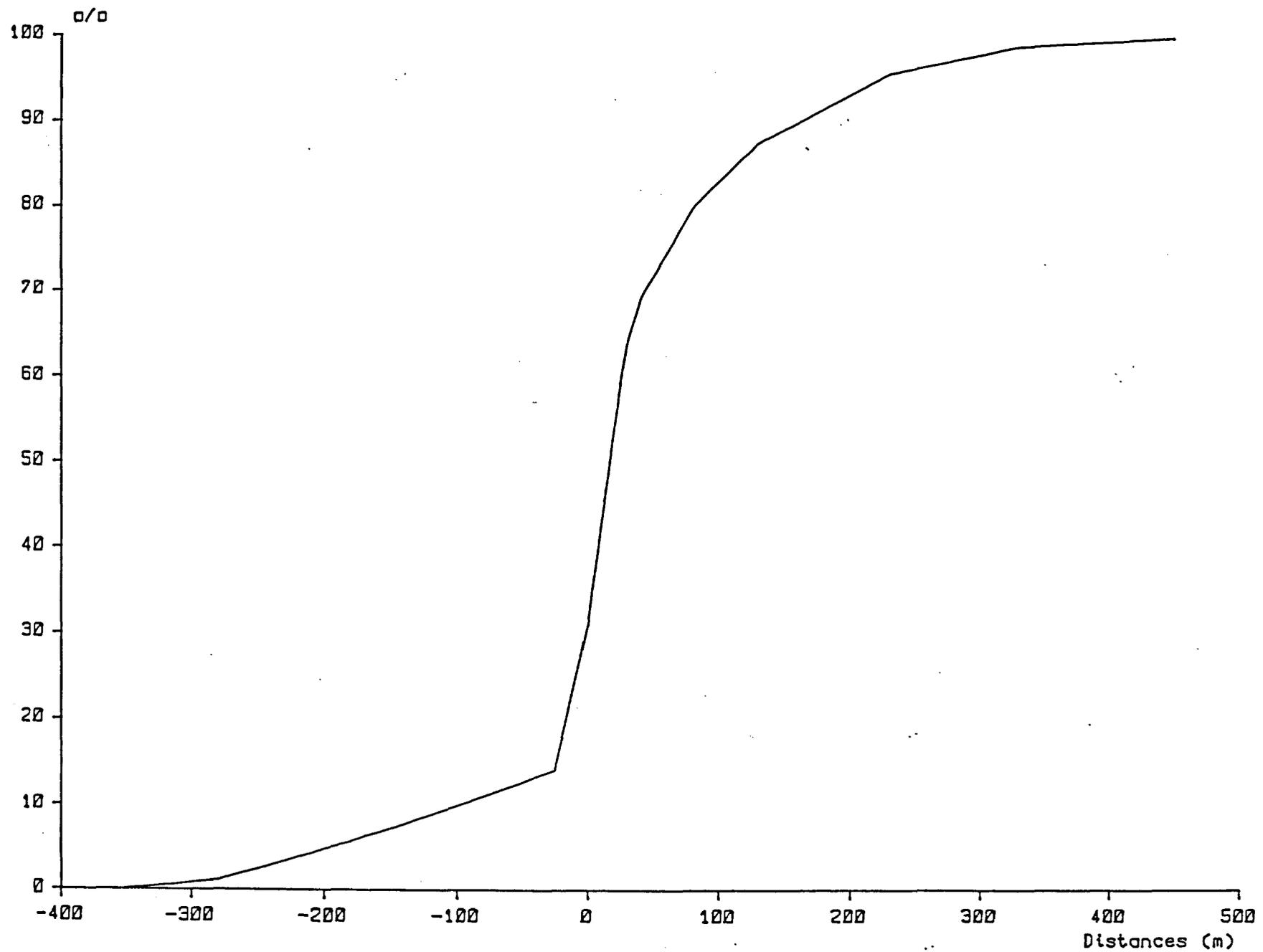


Fig. 30 bis - COURBE CUMULEE
BOULOGNE - POINT 3 - 16 SEPTEMBRE 1986

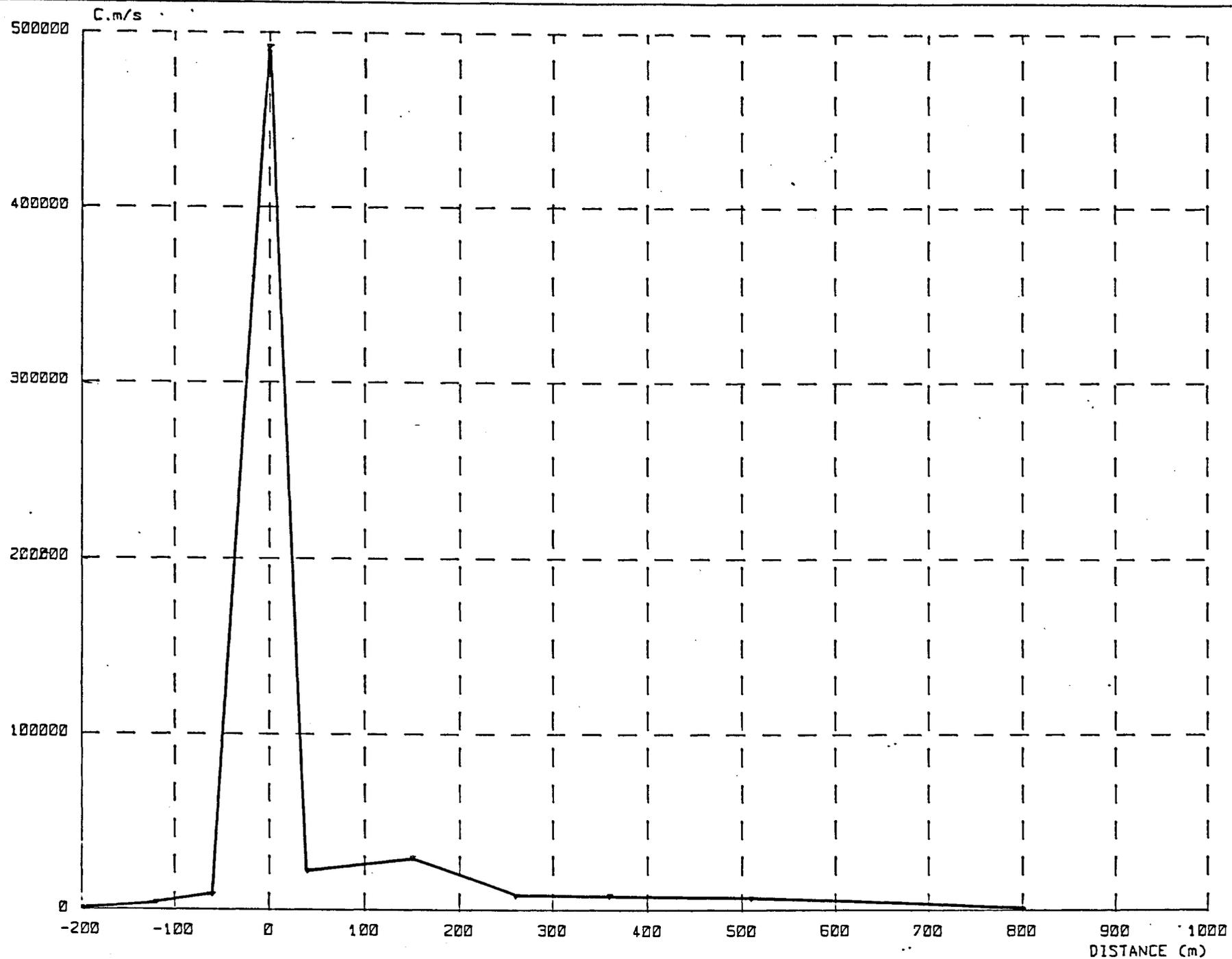


Fig.31 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
BOULOGNE - Pt.3 - 25.9.1986

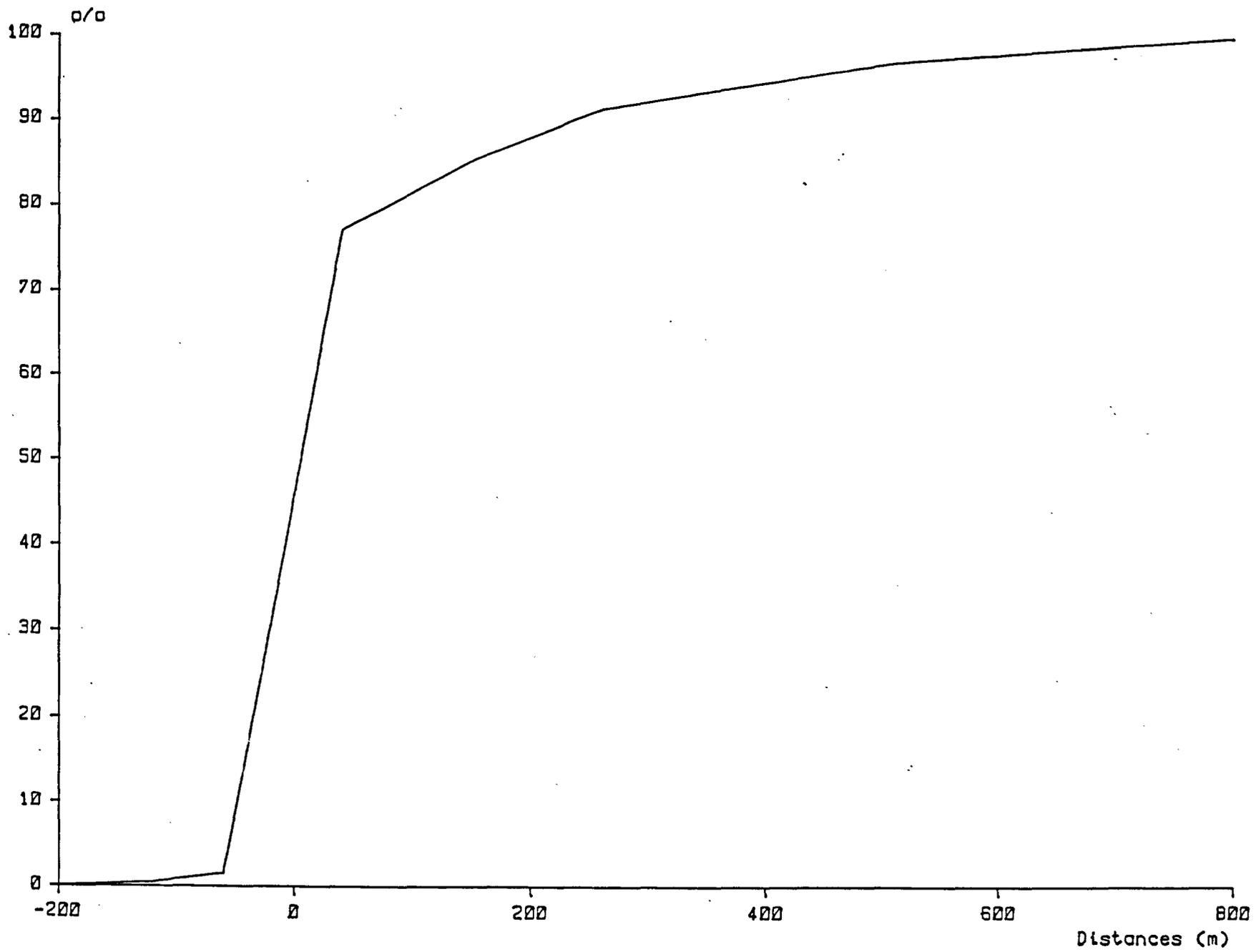


Fig. 31 bis - COURBE CUMULEE
BOULOGNE - POINT 3 - 25 SEPTEMBRE 1986

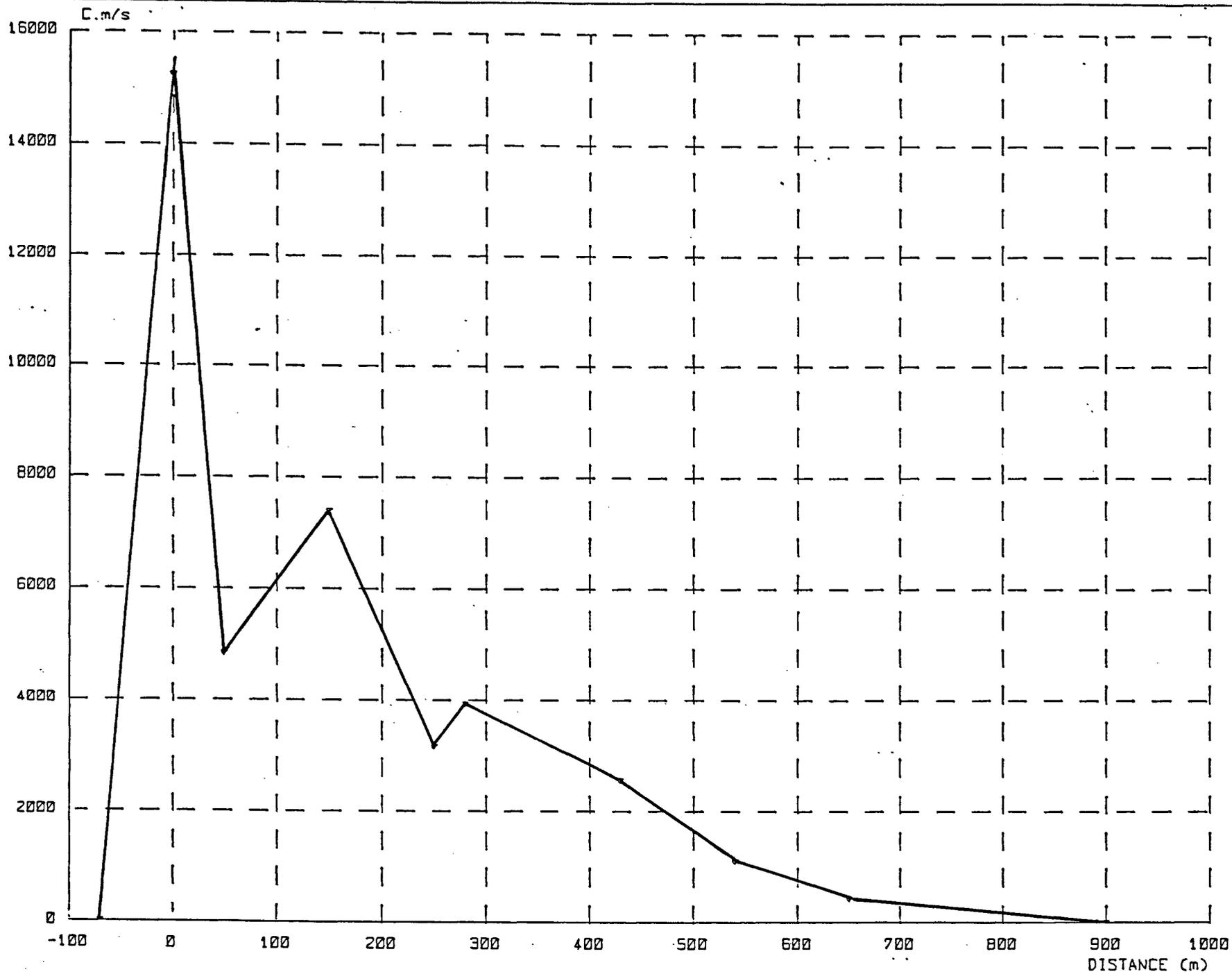
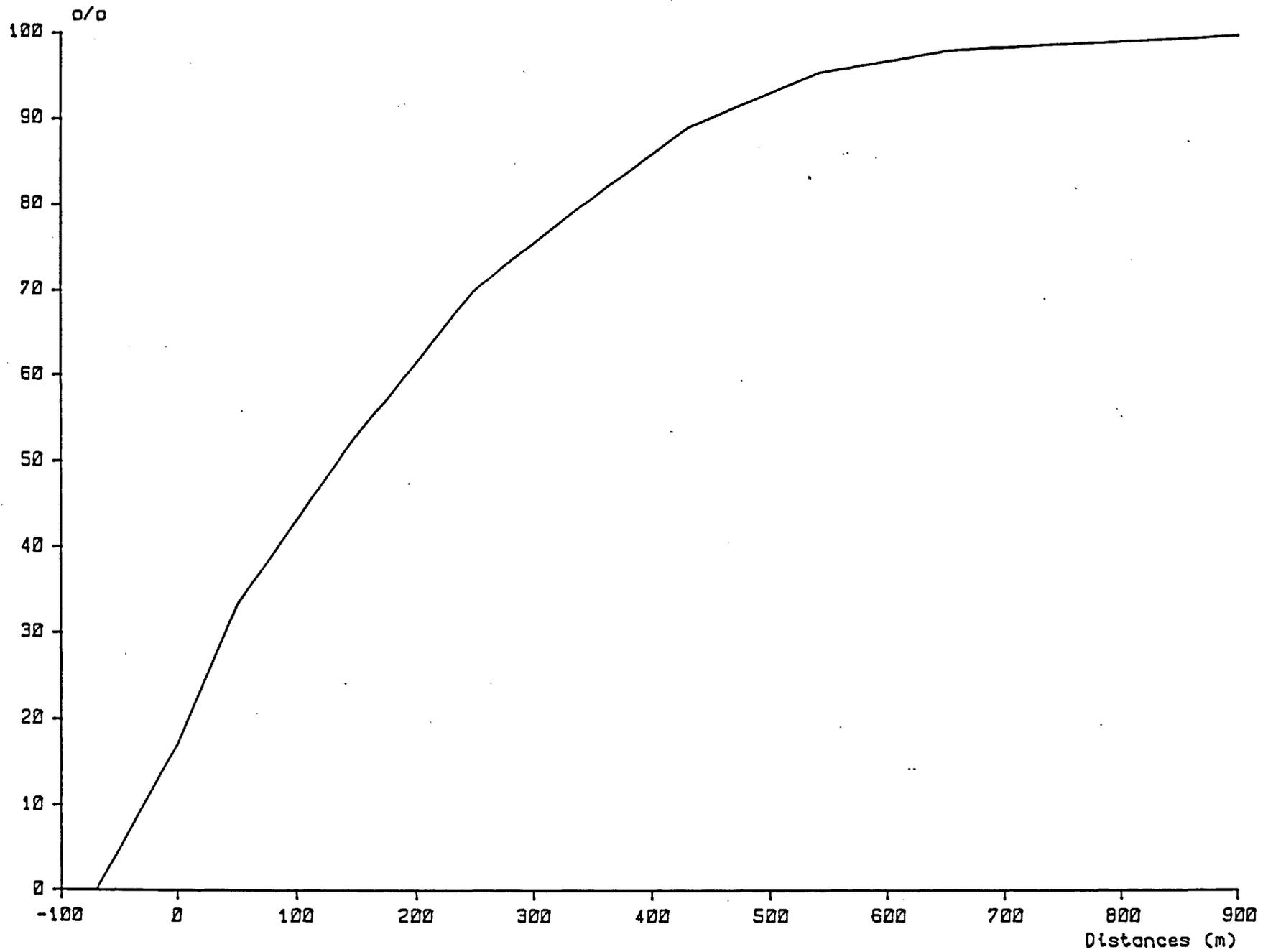
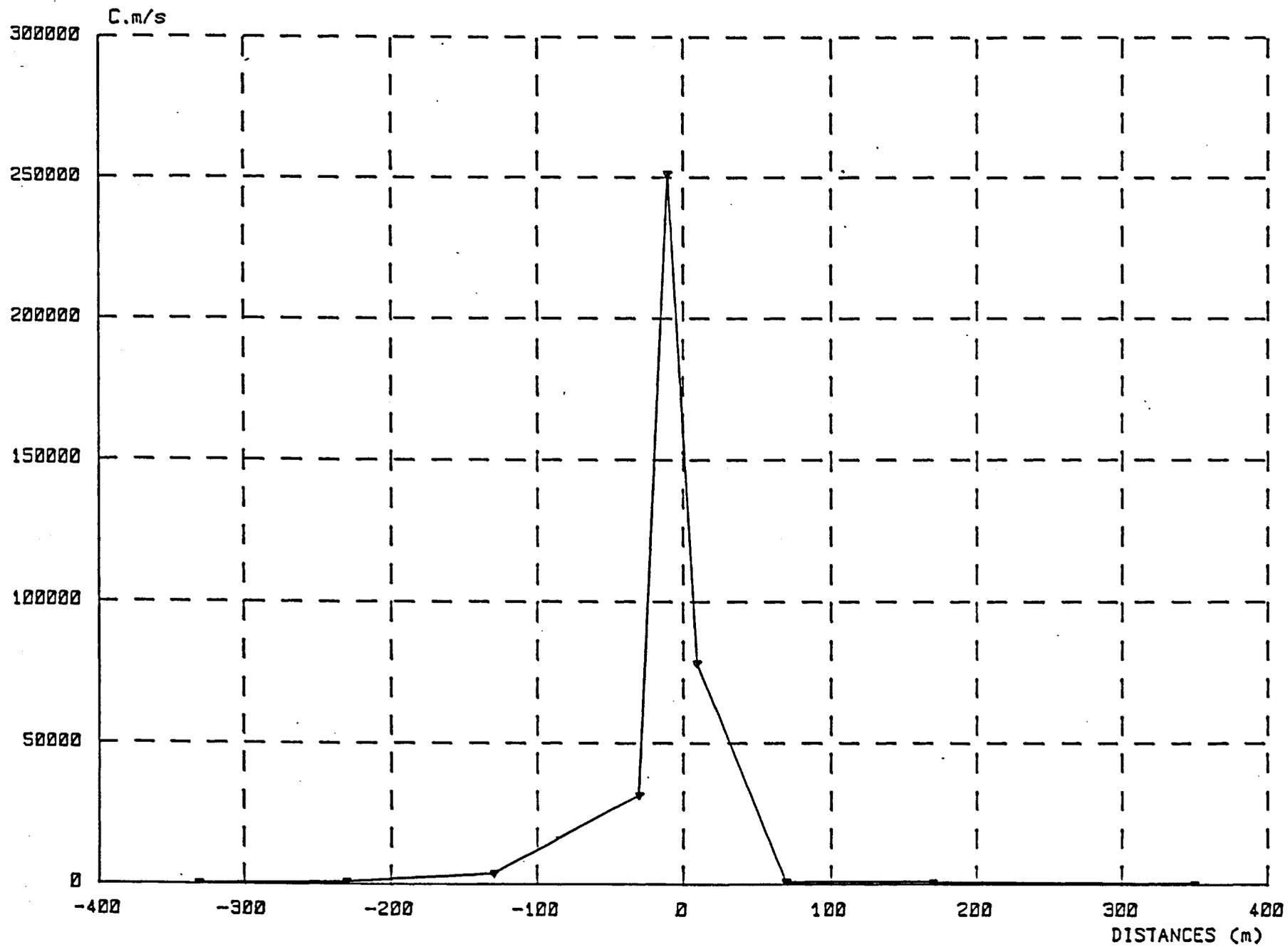


Fig.32- DIAGRAMME DE TRANSPORT
BOULOGNE - Pt.3 - 27.11.1986



. Fig. 32 bis - COURBE CUMULEE
BOULOGNE - POINT 3 - 27 NOVEMBRE 1986



Flg. 33 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
BOULOGNE - Pt.4 - 16.09.1986

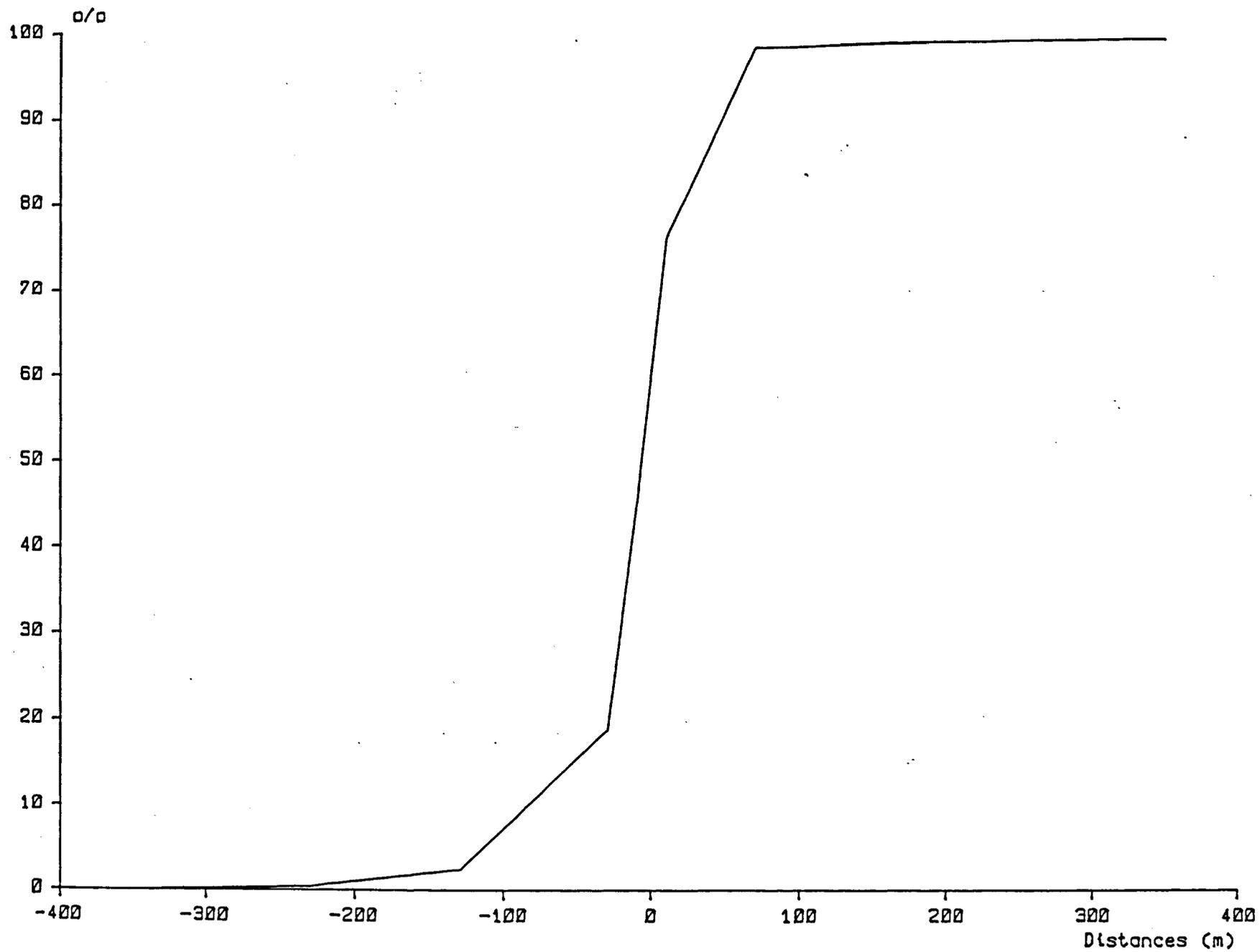


Fig. 33 bis - COURBE CUMULEE
BOULOGNE - POINT 4 - 16 SEPTEMBRE 1986

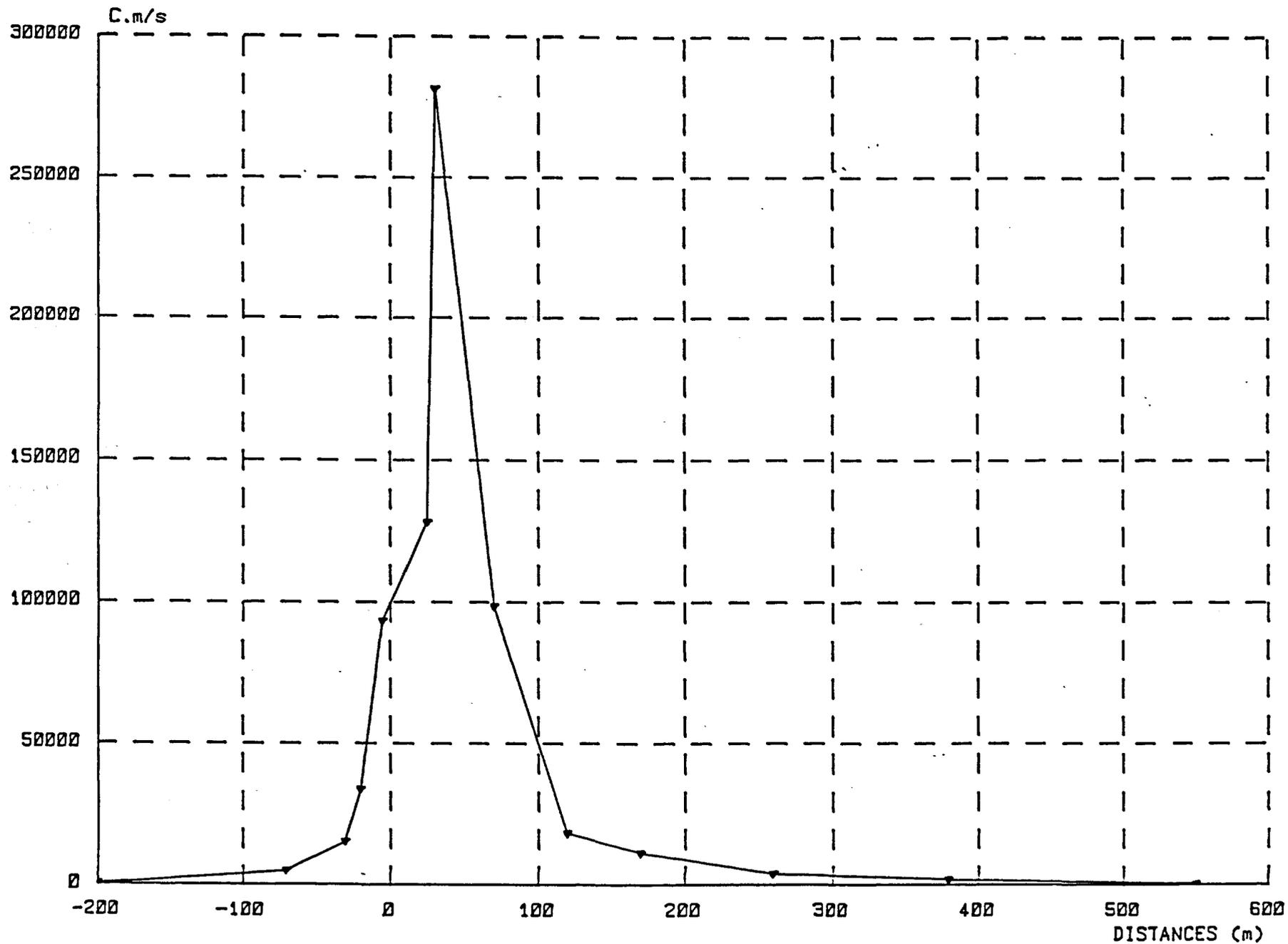


Fig. 34 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
BOULOGNE - Pt.4 - 25.09.1986

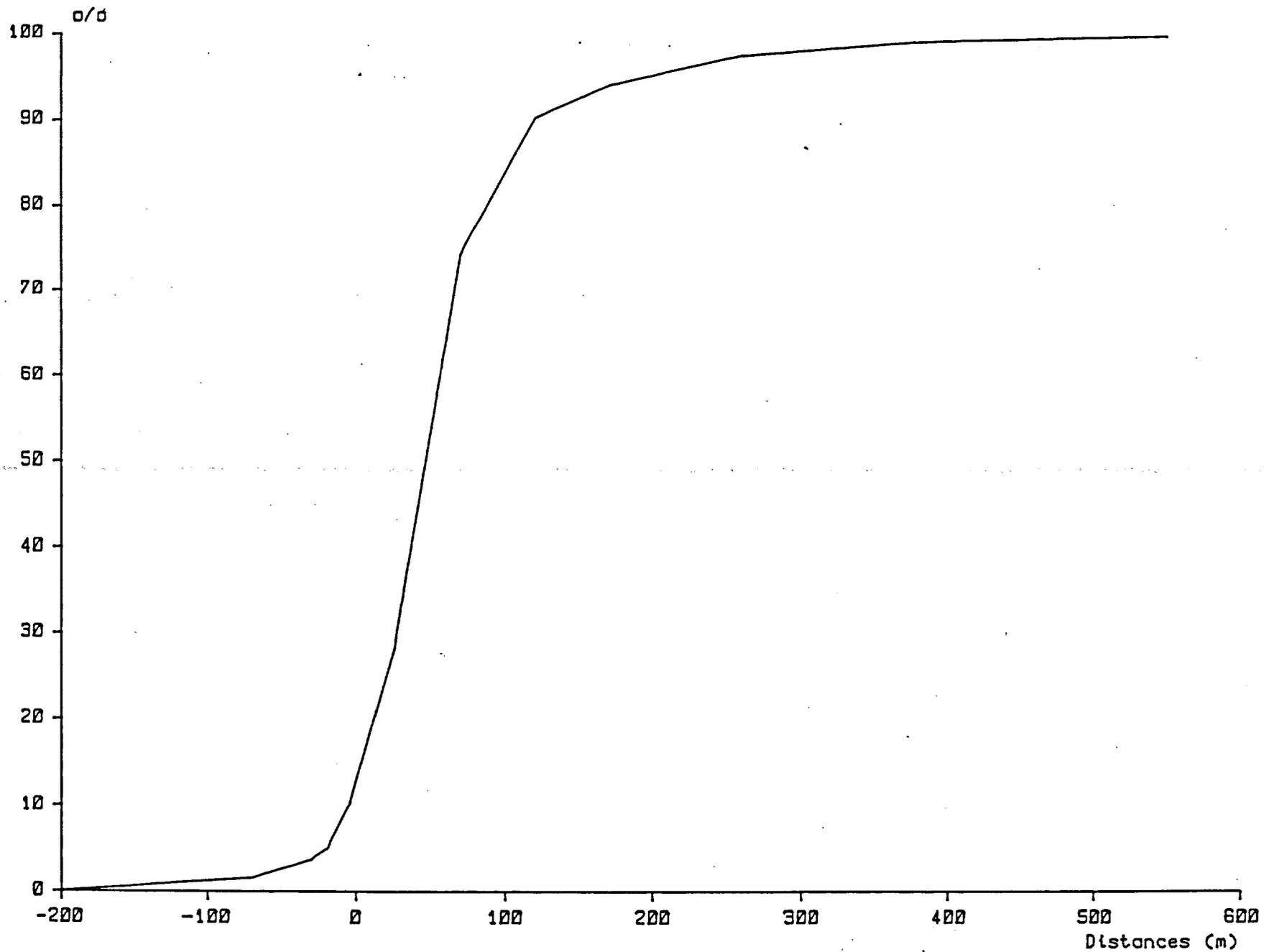


Fig. 34 bis - COURBE CUMULEE
BOULOGNE - POINT 4 - 25 SEPTEMBRE 1986

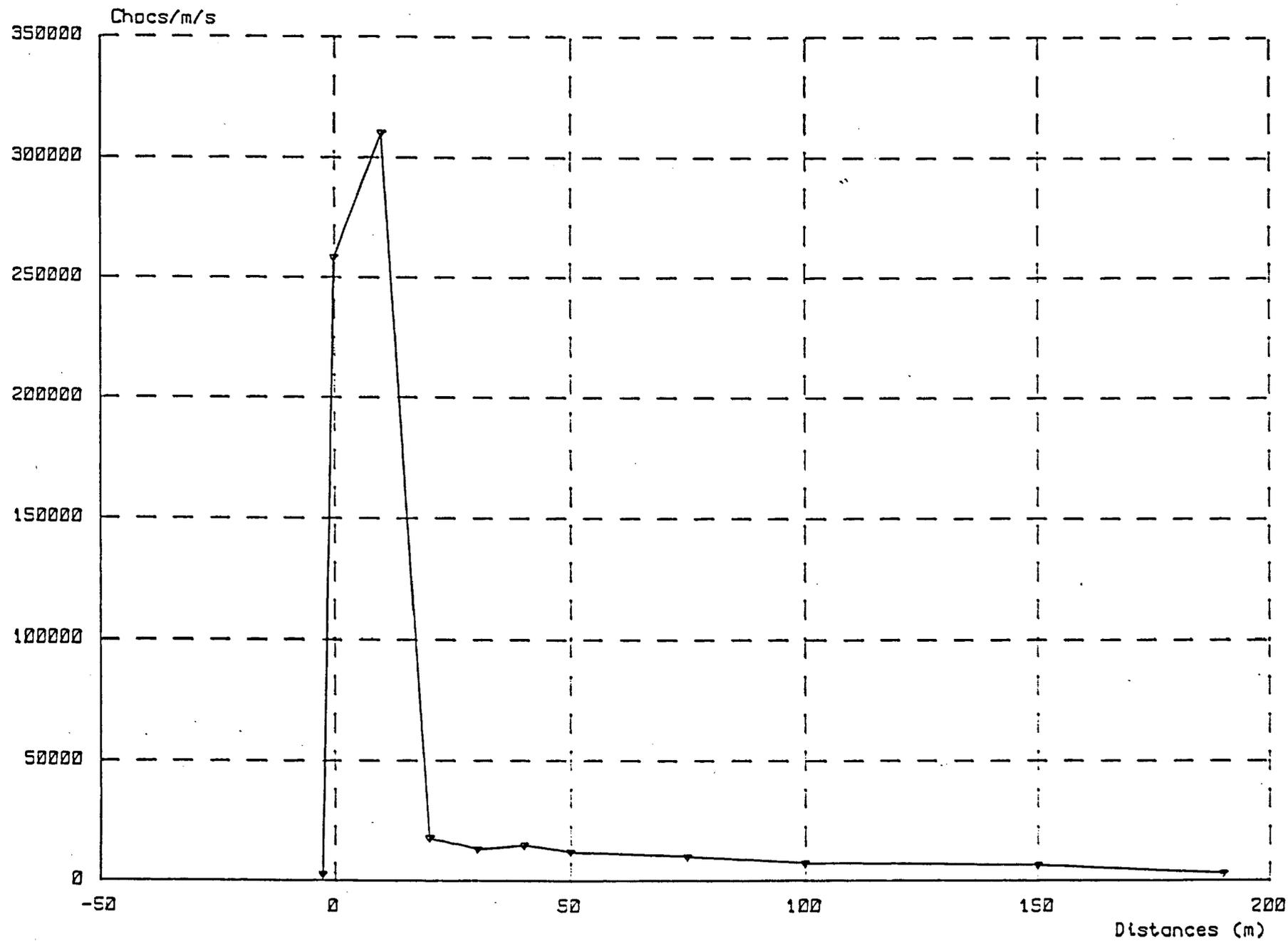


Fig. 95 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
 WISSANT - POINT 5 : ESTRAN - 23 OCTOBRE 1986

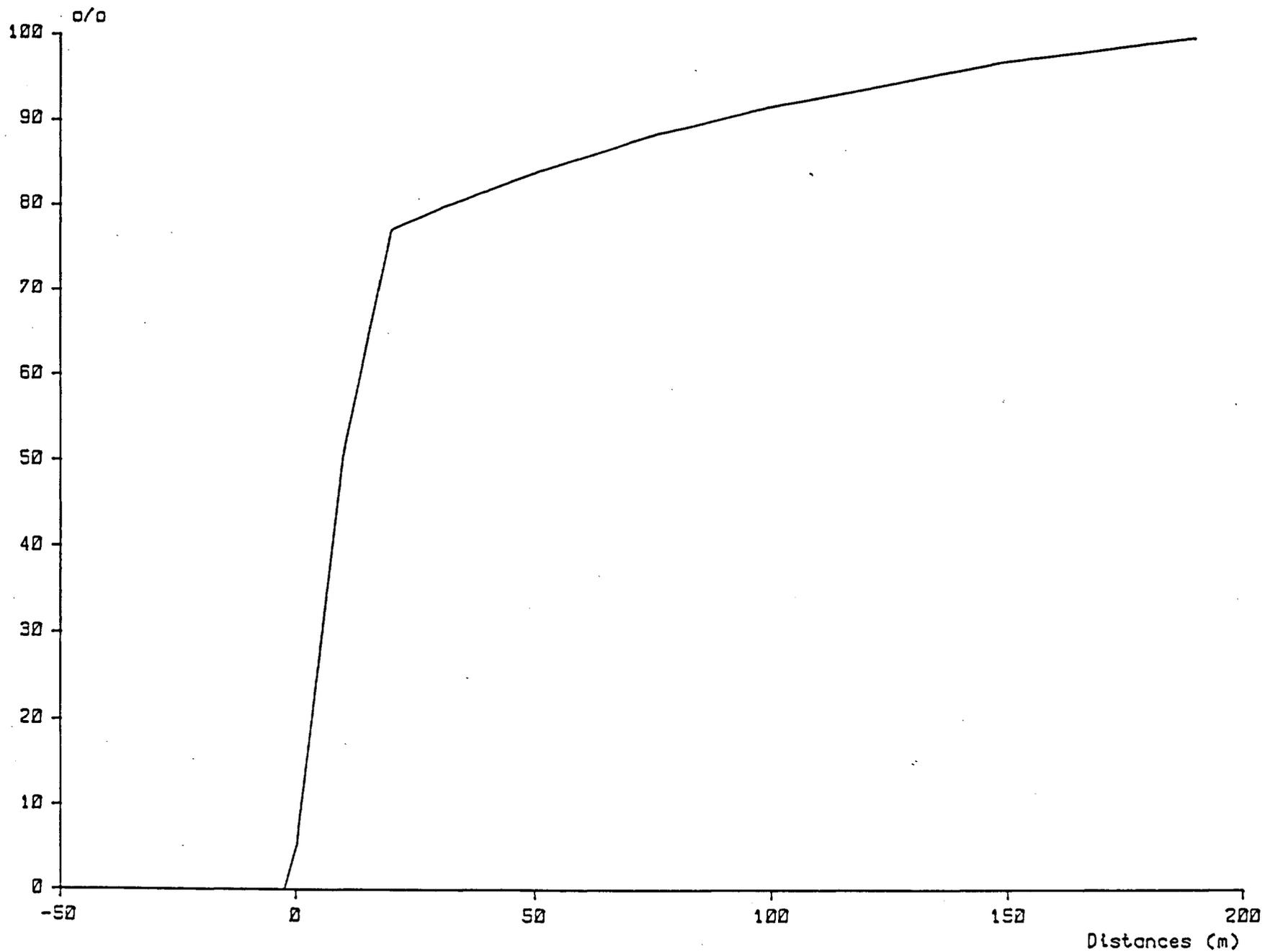


Fig. 35 bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT S : ESTRAN - 23 OCTOBRE 1966

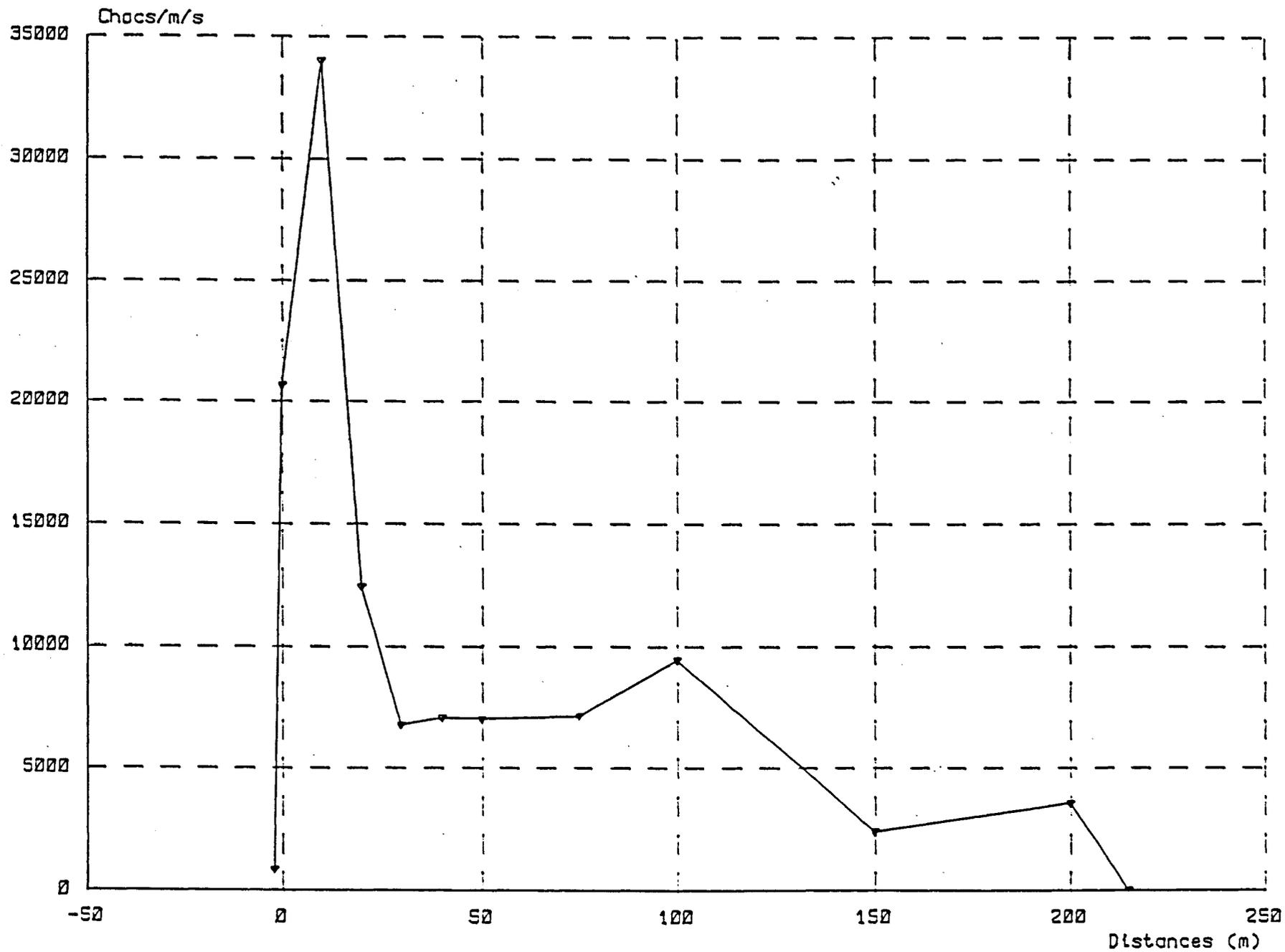


Fig. 36 - DIAGRAMME DE TRANSPORT
 WISSANT - POINT S : ESTRAN - 28 OCTOBRE 1955

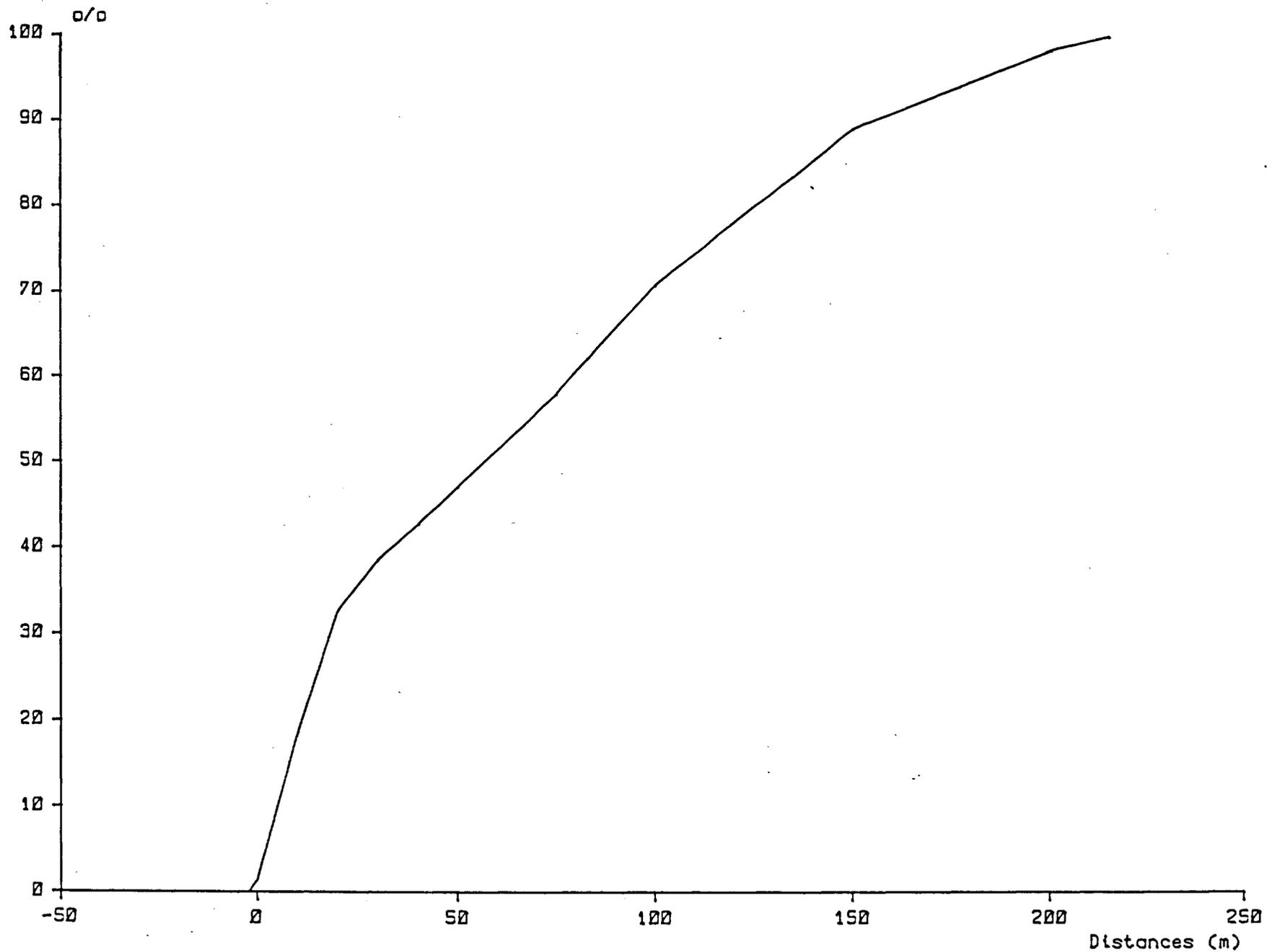


Fig. 36 bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT 5 : ESTRAN - 28 OCTOBRE 1986

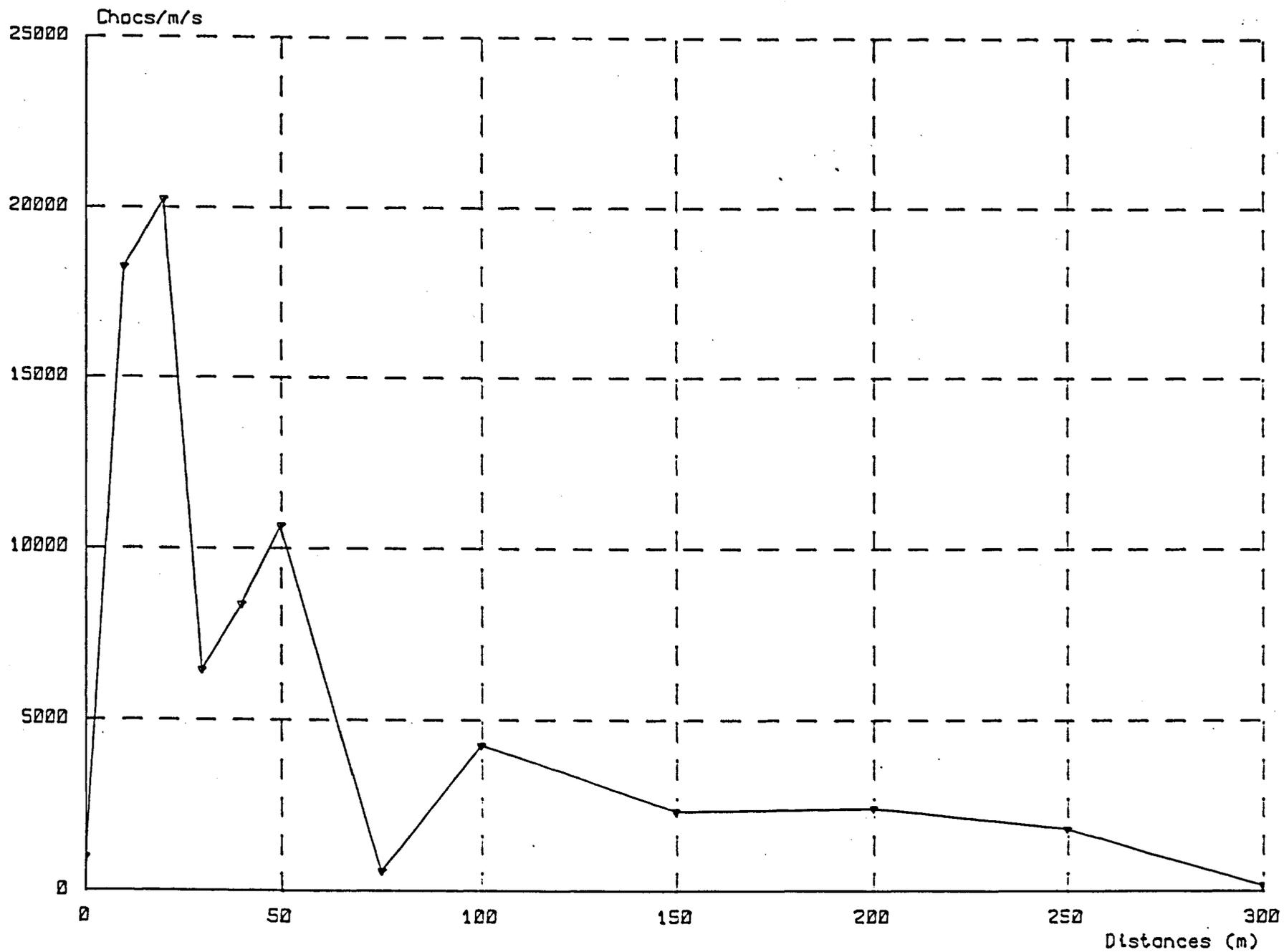


Fig. 37 -DIAGRAMME DE TRANSPORT
WISSANT - POINT S : ESTRAN - 29 OCTOBRE 1986

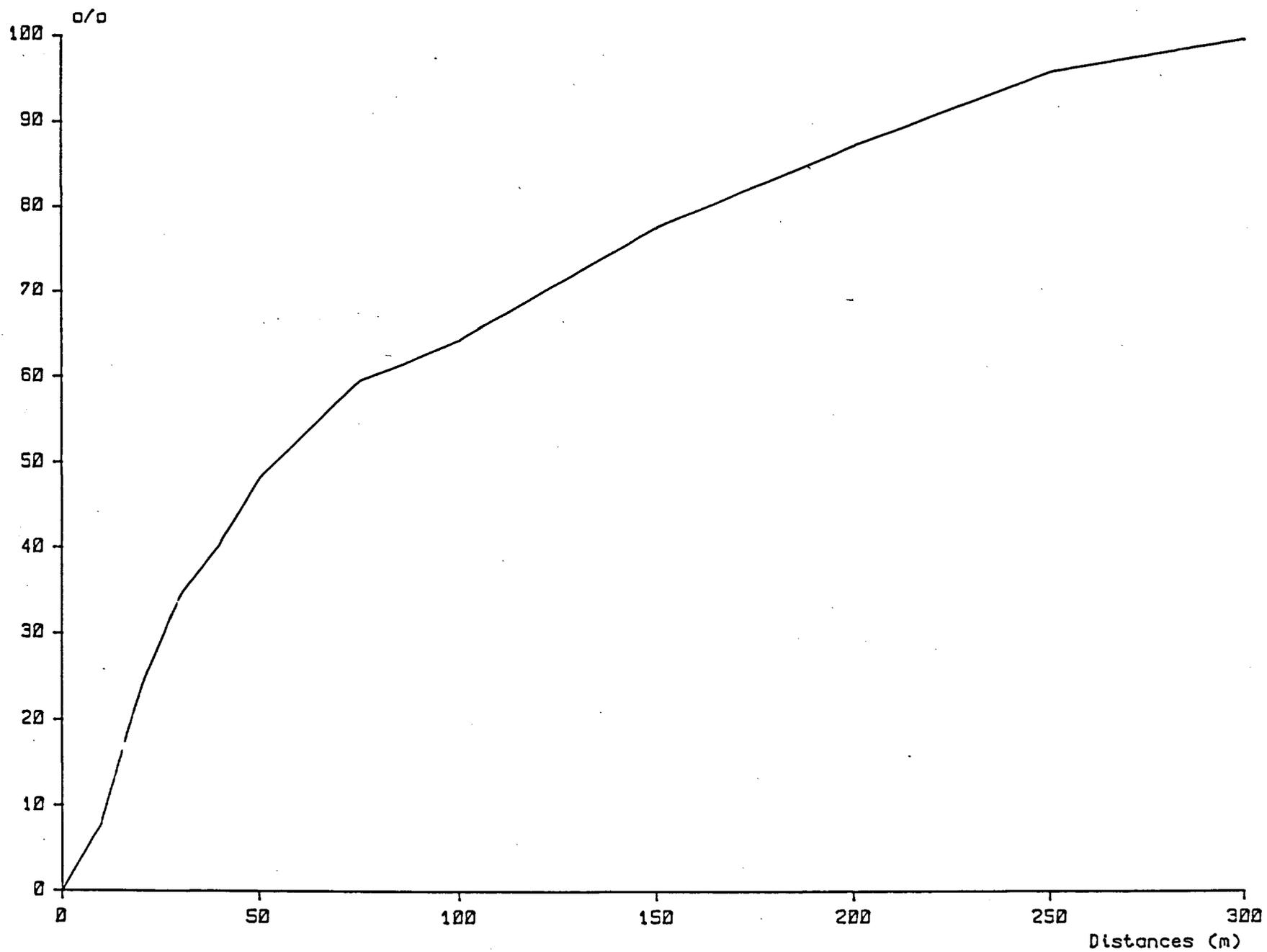
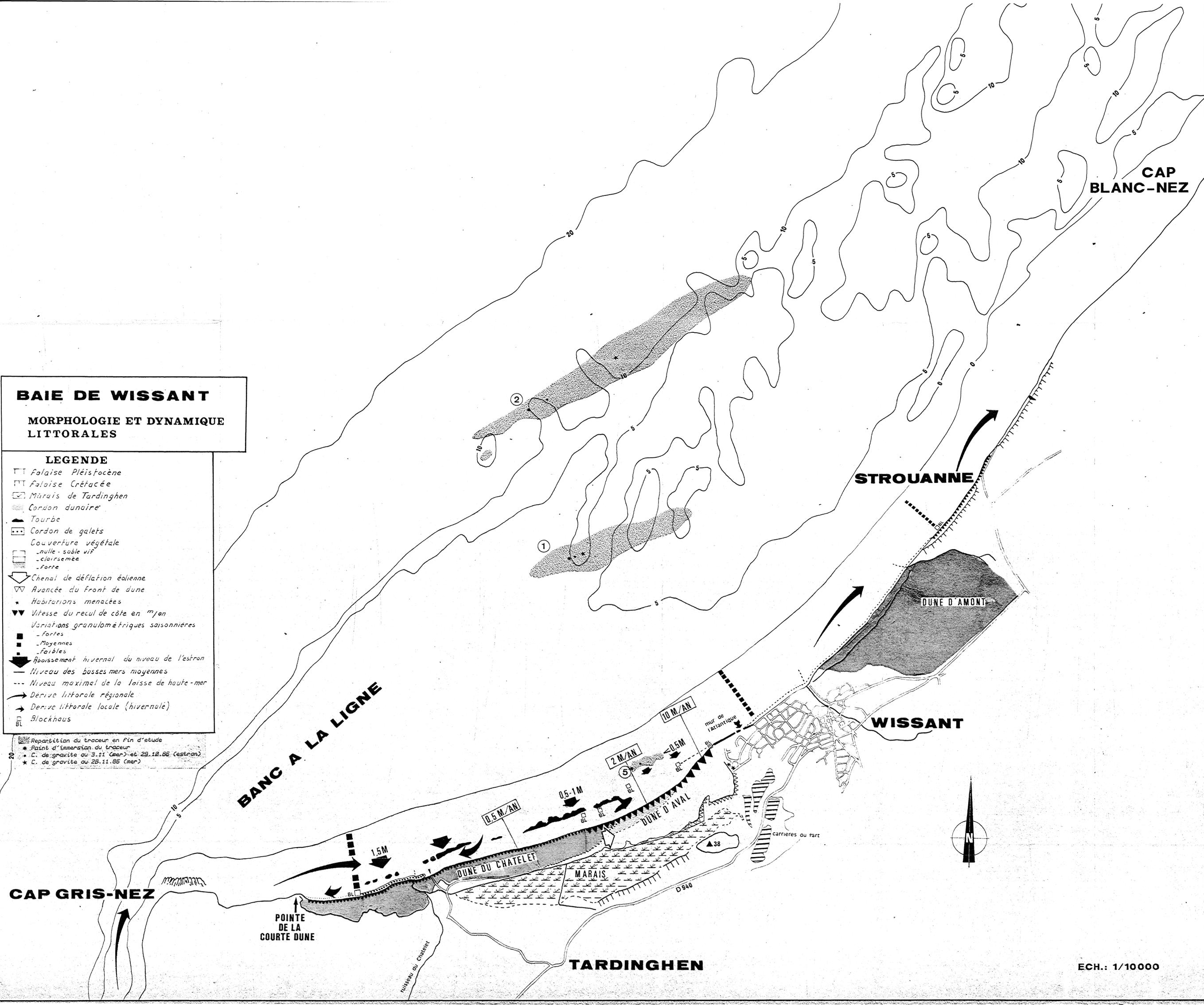


Fig. 37 bis - COURBE CUMULEE
WISSANT - POINT 5 : ESTRAN - 29 OCTOBRE 1986

BAIE DE WISSANT
MORPHOLOGIE ET DYNAMIQUE LITTORALES

- LEGENDE**
- ▭ falaise Pléistocène
 - ▭ falaise Crétacée
 - ▭ Marais de Tardinghen
 - ▭ Cordon dunaire
 - ▲ Tourbe
 - ▭ Cordon de galets
 - ▭ Couverture végétale
 - ▭ -nulle -sable vif
 - ▭ -clairsemée
 - ▭ -forte
 - ▽ Chenal de déflation éolienne
 - ▽ Avancée du front de dune
 - * Habitations menacées
 - ▽ Vitesse du recul de côte en m/an
 - ▭ Variations granulométriques saisonnières
 - ▭ -fortes
 - ▭ -Moyennes
 - ▭ -faibles
 - ▭ Épaissement hivernal du niveau de l'estron
 - ▭ Niveau des basses mers moyennes
 - ▭ Niveau maximal de la laisse de haute-mer
 - Dérive littorale régionale
 - Dérive littorale locale (hivernale)
 - BL Blockhaus

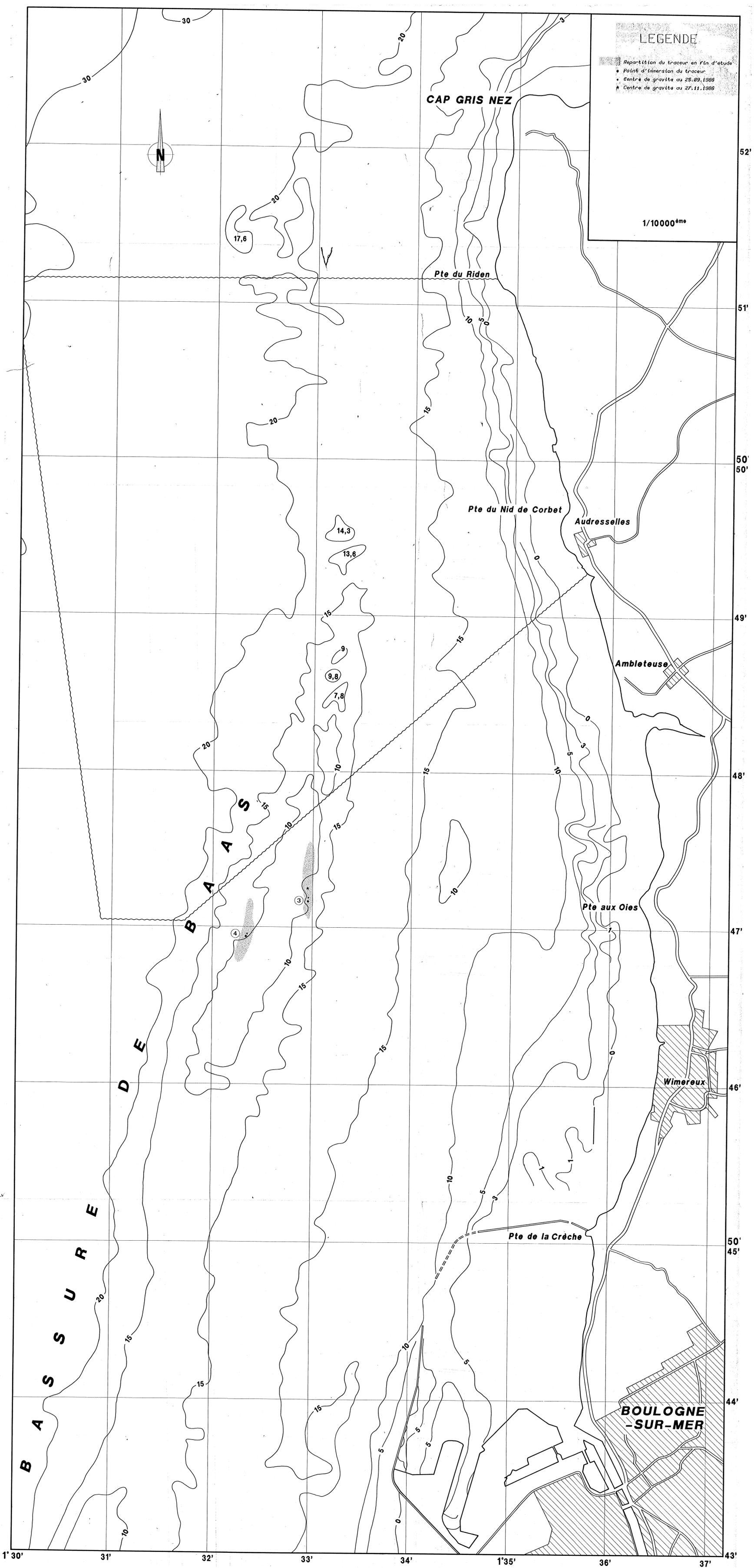
▭ Répartition du traceur en fin d'étude
 * Point d'immersion du traceur
 • C. de gravité au 3.11 (mer) et 29.10.85 (estron)
 * C. de gravité au 28.11.85 (mer)



LEGENDE

- Repartition du traceur en ftn d'etude
- Point d'immersion du traceur
- Centre de gravite au 25.09.1986
- Centre de gravite au 27.11.1986

1/10000^{ème}



ANNEXE 2

ANNEXE II

LA METHODE DES TRACEURS RADIOACTIFS

I - GÉNÉRALITÉS

Les traceurs radioactifs sont utilisés en sédimentologie depuis plus de trente ans. L'introduction artificielle de matériaux radioactifs dans l'environnement, tels que eau ou sédiments (vases, sables, galets, ...) est soumise à une autorisation. Celle-ci est délivrée par la Commission Interministérielle des Radioéléments Artificiels (CIREA) après examen d'un dossier technique déposé par le Service d'Application des Radioéléments (SAR) / 1 / relatant l'étude envisagée. Cette autorisation n'est délivrée qu'après avis favorable du Service de Contrôle et de Protection contre les Radiations Ionisantes (SCPRI) et de la Direction des Pêches Maritimes (Affaires Maritimes et Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes - ISTPM).

II - DÉFINITION DU TRACEUR UTILISÉ POUR LES MESURES DE DÉBIT DE CHARRIAGE

La mise en évidence des mouvements sédimentaires et leur mesure sont facilités par l'introduction dans le milieu de matériaux étrangers : les traceurs.

Ce traceur sédimentaire doit avoir le même comportement hydrodynamique que le sédiment naturel, c'est-à-dire avoir les

mêmes caractéristiques (formes, taille des grains, densité, ...) et être facilement détectable in situ.

L'emploi d'un traceur radioactif émetteur γ permet de suivre le trajet, la dispersion et la vitesse des particules individualisées parmi une population générale. C'est une méthode qui, pour des concentrations suffisantes en traceur permet des mesures in situ.

La durée de vie du radioélément employé doit être supérieure à la durée de l'expérience tout en étant limitée pour ne pas contaminer inutilement et longuement le site.

L'information reçue par le détecteur doit être proportionnelle à la masse du traceur afin d'obtenir des résultats quantitatifs. Le marquage doit être massique. L'utilisateur dispose d'une série de radioisotopes permettant de choisir le plus adapté au problème à traiter. L'emploi d'un verre activable dans lequel l'élément radioactif est inclus d'une façon homogène donne une activité proportionnelle à la masse et répond au critère de stabilité physique et chimique.

II.1 - Choix des isotopes

Isotope	Période en j	Energie en MeV		Rayonnement utilisé	Période d'utilisation
		β	γ		
^{198}Au	2,7	0,96	0,412	γ	≤ 8 j
^{147}Nd	11,1	0,688	0,09 (79 %) 0,4 à 0,7 (21%)	γ	≤ 30 j
^{51}Cr	28	-	0,32	γ	1 à 2 mois
^{192}Ir	74	0,5 à 0,6	0,3 à 0,6	γ	1 à 6 mois
^{46}Sc	84	0,36	0,9 à 1,1	γ	1 à 6 mois
^{182}Ta	111	0,5	0,07 à 1,2	γ	1 à 6 mois

II.2 - Composition des verres activables

La densité des verres est comprise entre 2,66 et 2,75.

Composition	Or %	Néodyme %	Chrome %	Iridium %	Scandium %	Tantale %
Elément activable	0,5	6 Nd ₂ O ₃	3	0,3	1	15 Ta ₂ O ₅
SiO ₂	50,5	53	48	48	48	40
Al ₂ O ₃	20	19	22	19	19	12
CaO	18	10,7	11	17	17	13
MgO	6,2	23	6	6	5	5,5
BaO	-	-	5	-	-	6,5
K ₂ O	-	5	-	5	5	5
TiO ₂	5	5	5	5	5	3

La masse et l'activité du traceur doivent être minimales pour des raisons de facilité et de radioprotection évidentes mais aussi parce qu'une faible masse de traceur s'incorpore plus facilement à la masse en mouvement. Le "bon mélange" du traceur au sédiment naturel est plus vite atteint. Mais cette masse doit être suffisante pour que le nombre de grains radioactifs détectés par la sonde soit statistiquement suffisant et représentatif du transport.

Cette masse de sédiments marqués à injecter dans une expérience de traceurs radioactifs a été calculée.

En détection dynamique (c'est-à-dire détecteur remorqué sur les fonds), la quantité minimum est égale à :

$$P_d = 1,25 \frac{d_m^3}{lvt} \frac{R_e}{f_0} \frac{1 - e^{-2\alpha E}}{1 - e^{-\alpha E}} \left(\frac{\mu_0 I_Y}{\sigma_R} \right)^2 \left(1 + 1,05 \frac{L(h/2)}{d_m} \right)^2$$

Notations utilisées dans la formule		Unités
P_d	Poids de sédiment à immerger en détection dynamique pour 1 Curie de traceur	Kg/Ci
d_m	Diamètre moyen des grains immergés	mm
l	Largeur d'emprise de l'ensemble de détection (détection dynamique, largeur prise perpendiculairement à la direction de détection)	m
v	Vitesse de détection	m/s
t	Intervalle de temps entre deux informations (pris égal à deux constantes de temps pour un décodage analogique)	s
R_e	Taux de comptage limite significatif	cps
σ_R	Déviations standard due à la fluctuation statistique du nombre de grains et imposée par l'expérimentateur	cps
f_0, α	Caractéristiques géométriques de l'ensemble de détection de fonction générale : $f = f_0 e^{-\alpha z}$	cps pour 1 μ Ci/m ²
E	Épaisseur de la couche en mouvement	cm
μ_0	Coefficient d'absorption linéaire du rayonnement de l'émetteur dans l'eau	cm ⁻¹
I_Y	Constante d'ionisation de l'émetteur choisi	mR/h par Ci à 1 m
$L(h/2)$	Largeur à mi-hauteur de la courbe des fréquences granulométriques	mm

III - PARAMÈTRES À MESURER

Le but à atteindre est la détermination du débit de charriage à travers une section orthogonale à la direction de transport.

Ce débit est donné par :

$$Q = \rho L_t V_m E_m$$

$t/j \quad t/m^3 \quad m \quad m/j \quad m$

où

ρ : la masse volumique du sédiment en place

L_t : largeur du transport

E_m : l'épaisseur, supposée identique partout, de la couche de sédiments qui participent au mouvement

V_m : la vitesse moyenne dans cette couche et s'obtient en comparant les positions des centres de gravité des diagrammes de transport successifs.

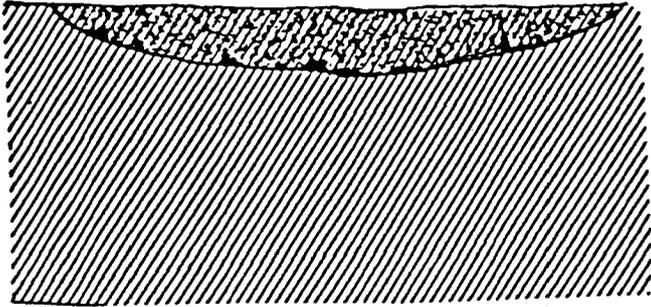
Le problème consiste donc à mesurer V_m et E_m pour une largeur de transport L_t donnée.

III.1 - Détermination de l'épaisseur du transport E - Principe de la méthode du bilan des taux de comptage

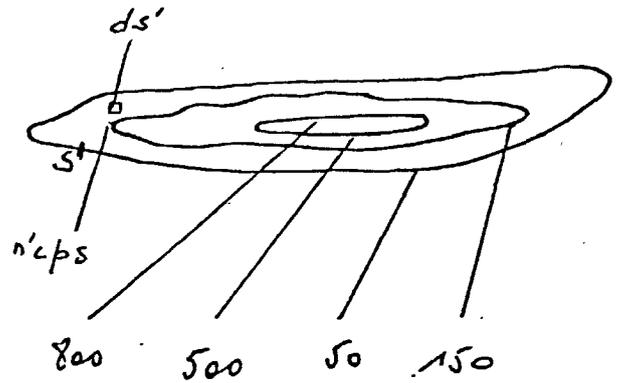
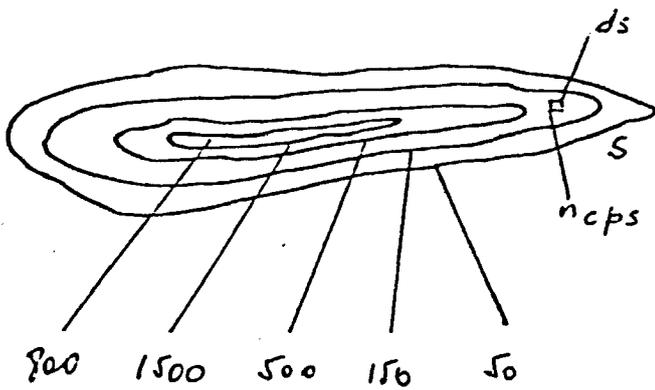
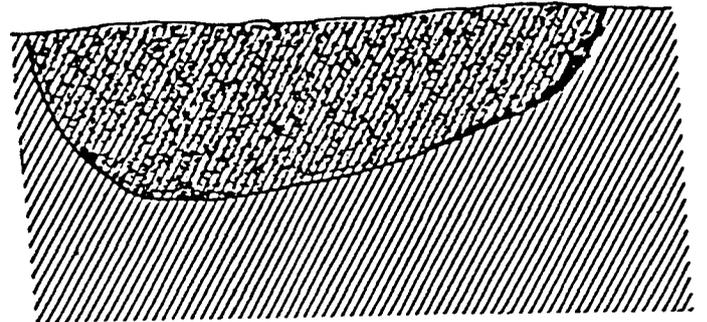
Le développement mathématique de la méthode fait l'objet de la thèse de Guy SAUZAY / 2 /. Nous n'en rappellerons ici que l'essentiel :

Soit une activité totale A de traceurs radioactifs mélangés de façon quelconque à un lit formé de sédiments naturels, plus l'épaisseur du mélange sera grande, plus les traceurs seront enfouis et plus les rayonnements qu'ils émettent seront absorbés et diffusés (figure 1). En conséquence, l'appareil de

Nuage faiblement enfoui



Nuage fortement enfoui



$$\iint_S n ds = N > N' + \iint_{S'} n' ds'$$

avec $E < E'$

avec $A = A'$

Figure 1 - Principe de la méthode du bilan des taux de comptage.

mesure situé au-dessus du milieu actif recevra moins de rayons. Il existe une relation entre le nombre N de rayons γ reçus par le détecteur, l'activité A introduite et l'épaisseur d'enfouissement E .

$$(1) \quad \frac{1}{\beta} \frac{\alpha}{f_0} \frac{N}{A} E = 1 - e^{-\alpha E}$$

- α et f_0 sont les coefficients d'étalonnage pour les détecteurs utilisés. La loi de réponse de ces derniers a été étudiée expérimentalement en laboratoire. C'est le taux de comptage f (en chocs par seconde c.p.s.) mesuré par la sonde lorsqu'elle détecte une radioactivité unité ($1 \mu\text{Ci}$) répartie uniformément sur une surface plane circulaire de 1 m^2 centrée sous le détecteur et enfouie sous une profondeur Z de matériau naturel

$$f = f_0 e^{-\alpha Z}$$

- N est calculé à partir des mesures faites sur le terrain. En chaque point du nuage formé par les particules du traceur, il existe un taux de comptage net n (corrigé du bruit de fond dû à l'électronique et la radioactivité naturelle) qui est fonction de la quantité de traceur présent sous le détecteur et de l'enfouissement.

L'intégration de ces taux de comptage sur l'ensemble de toute la tâche radioactive est égale à :

$$N = \int n \, d s$$

- A est l'activité totale immergée. Elle est déterminée par l'étalonnage dans un laboratoire de mesure de la radioactivité.
- β est une fonction de l'enfouissement E , connue selon la forme de la répartition de concentration en profondeur adoptée.

L'expérience acquise après de nombreuses mesures montrent que β est égal à 1,15 lorsque le transport sédimentaire s'effectue sur de faibles épaisseurs E .

Le calcul de N , à partir des mesures sur le terrain, permet de résoudre l'équation (1) et de déterminer l'épaisseur E .

III.2 - Calcul de la vitesse de transport V

Le nuage formé par les particules radioactives peut être représenté soit par un réseau de courbes isochocs, soit par un diagramme de répartition dont l'axe des abscisses est confondu avec la direction moyenne de transport. Un tel diagramme peut être caractérisé par son centre de gravité G .

Les détections successives dans le temps permettent d'établir autant de diagrammes de répartition et, par la suite, autant de centres de gravité. L'évolution en fonction du temps donne la vitesse moyenne de transport V_m

$$V_m = \frac{\Delta X_G}{\Delta t}$$

IV - LES IMMERSIONS

Elles sont conduites de telle sorte que les particules radioactives déposées sur le fond forment une couche de faible épaisseur de façon à ne pas modifier localement les forces existantes. De plus, il est souhaitable que le nuage initialement formé soit suffisamment grand (quelques centaines de m^2) pour être aisément détecté.

L'appareil permettant de telles immersions est schématisé sur la figure 2.

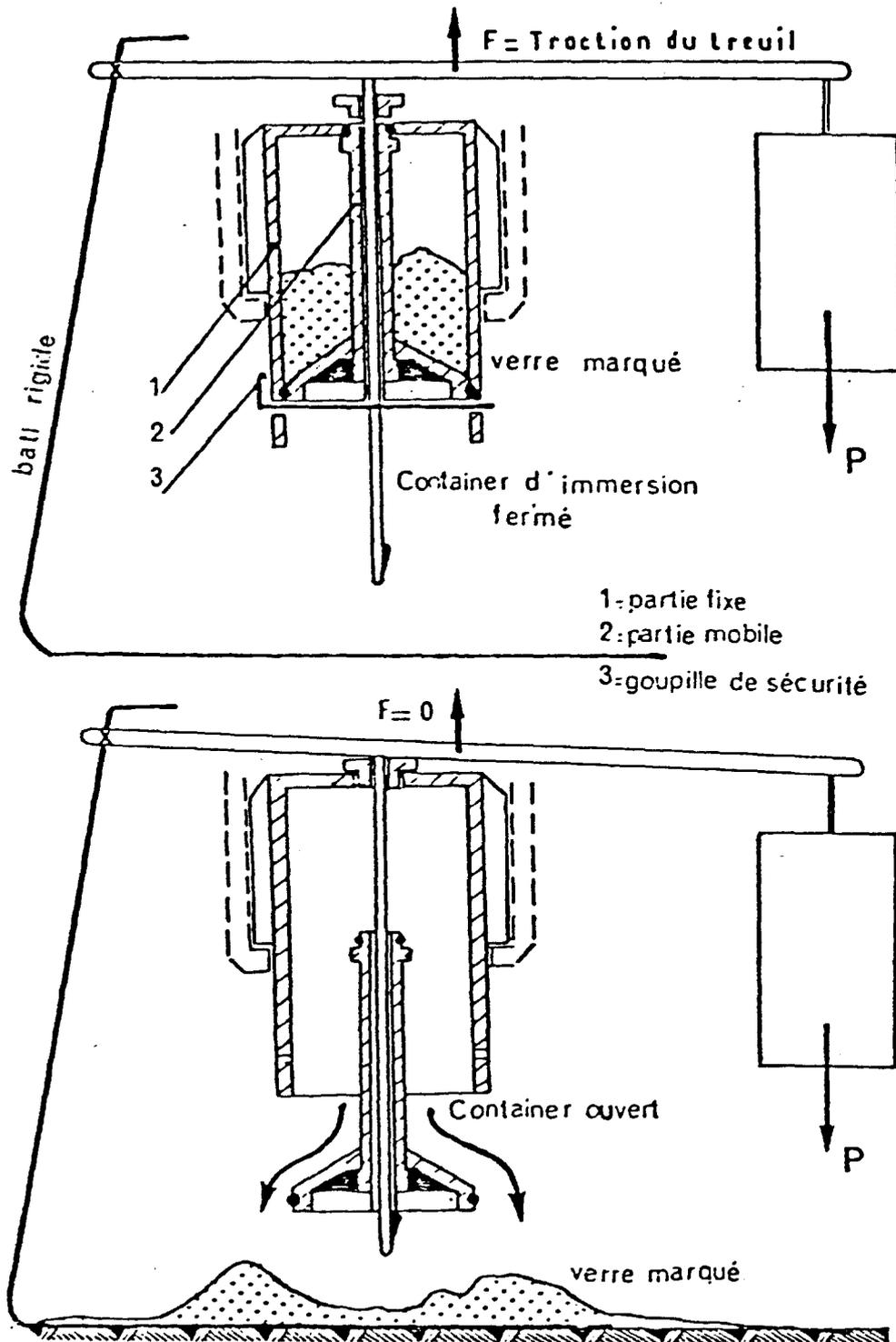


Figure 2 - Schéma de l'appareil d'immersion.

V - LES DÉTECTIONS

L'ensemble de mesure (figure 3) est formé par :

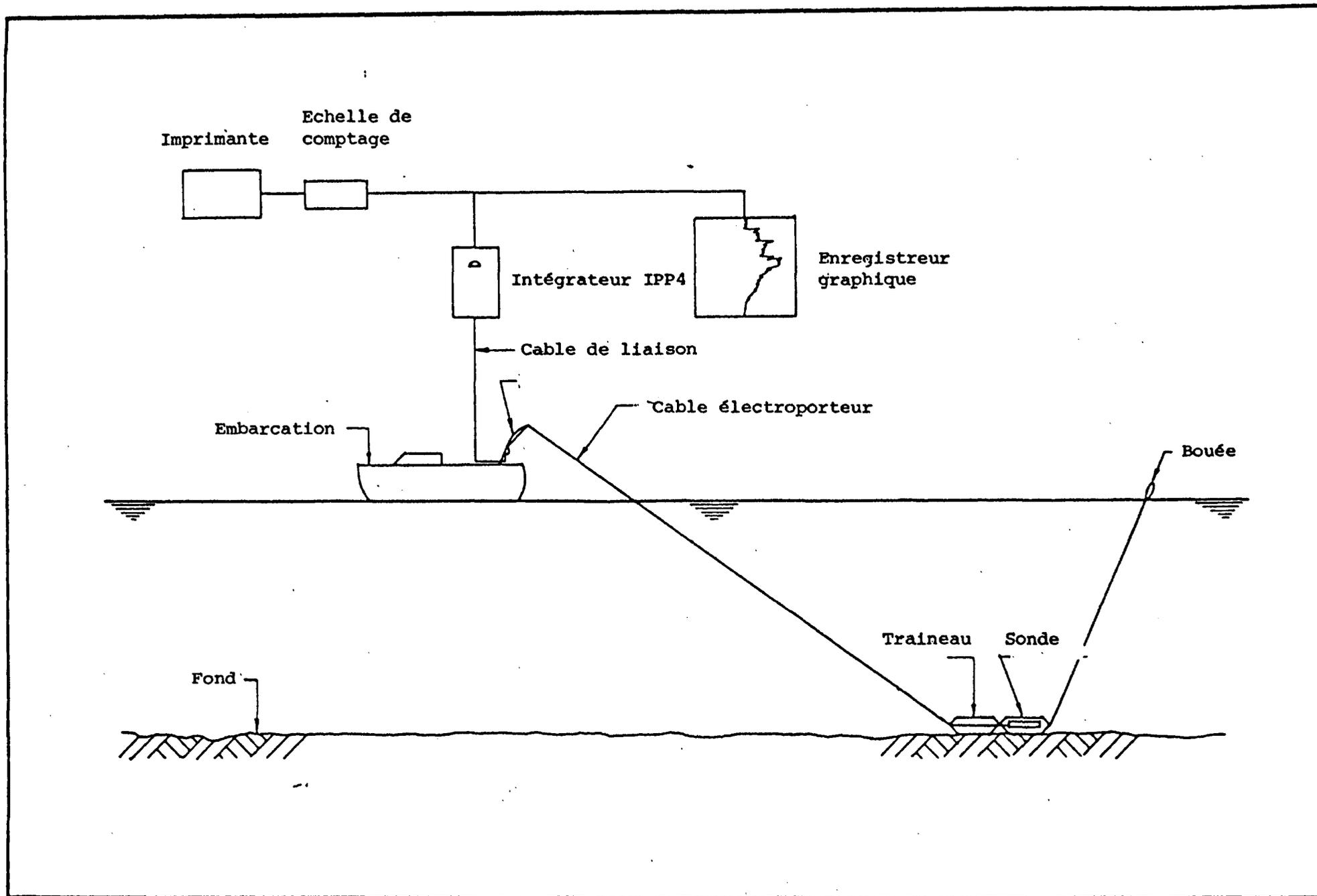
- une sonde marine à scintillations (Tl)INa 1"1/2 x 1" fixée sur un traîneau remorqué par une vedette à une vitesse de 2 à 4 noeuds.
- La sonde est reliée par un câble électro-porteur à des ensembles de mesures numériques et analogiques. La chaîne de mesure est double de façon à estimer soit les très faibles activités proches de la radioactivité naturelle, soit les très fortes activités situées au point d'immersion et dans ses environs.

Le bateau chargé des mesures traverse la zone active selon des trajectoires rectilignes et perpendiculaires à la direction moyenne du transit sédimentaire. La position du bateau est relevée chaque minute et reportée immédiatement sur une carte. Simultanément les signaux radioactifs mesurés sont également reportés sur cette carte. Cette démarche en temps réel est très précieuse car elle permet de décider immédiatement des trajets du bateau et de ne pas laisser dans l'ombre des zones radioactives non détectées, ce qui est particulièrement important pour établir le bilan de radioactivité retrouvée par rapport à celle immergée.

VI - PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Pour chaque détection les résultats se présentent sous la forme (voir § III.2), figure 4 :

- de réseaux de courbes isochocs qui se prêtent aisément à une exploitation descriptive, mais qui ne permettent pas d'estimer la quantité transportée à une distance donnée du point d'immersion.



- 11 -

FIGURE 3 - Ensemble de détection

- de diagramme de répartition du traceur selon l'axe de transport qui fournissent aisément des résultats quantitatifs, notamment en permettant le calcul de N (voir § III.1) par simple intégration et la détermination du centre de gravité du nuage.

VII - CONCLUSIONS

Ce bref rappel de la méthode des traceurs radioactifs montre que les mesures obtenues tiennent compte de tous les effets hydrodynamiques qui ont eu une action sur le traceur entre deux détections : la méthode est intégratrice. La mesure obtenue est la résultante de toutes les actions - connues et indéterminées - qui se sont produites pendant la durée de l'expérience.

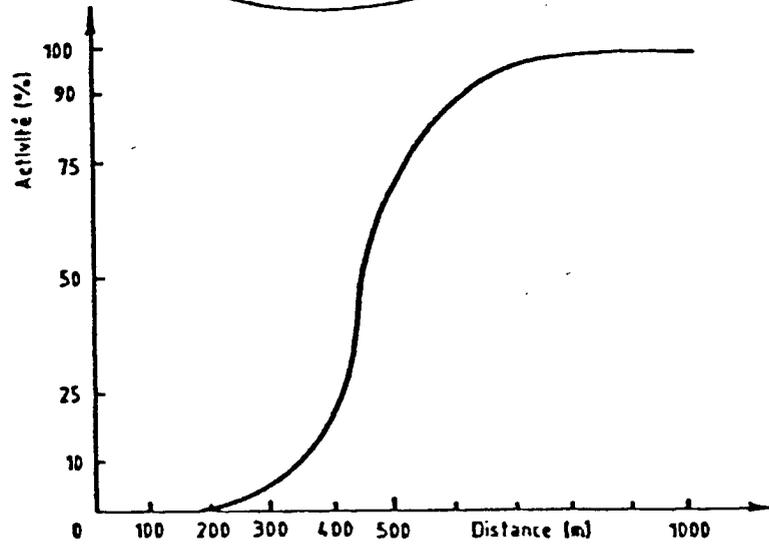
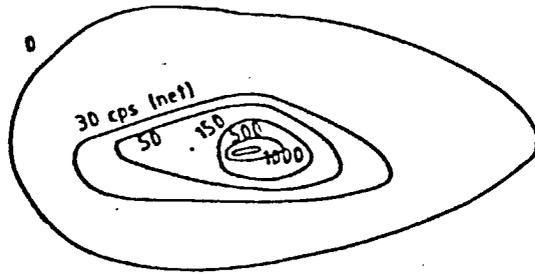
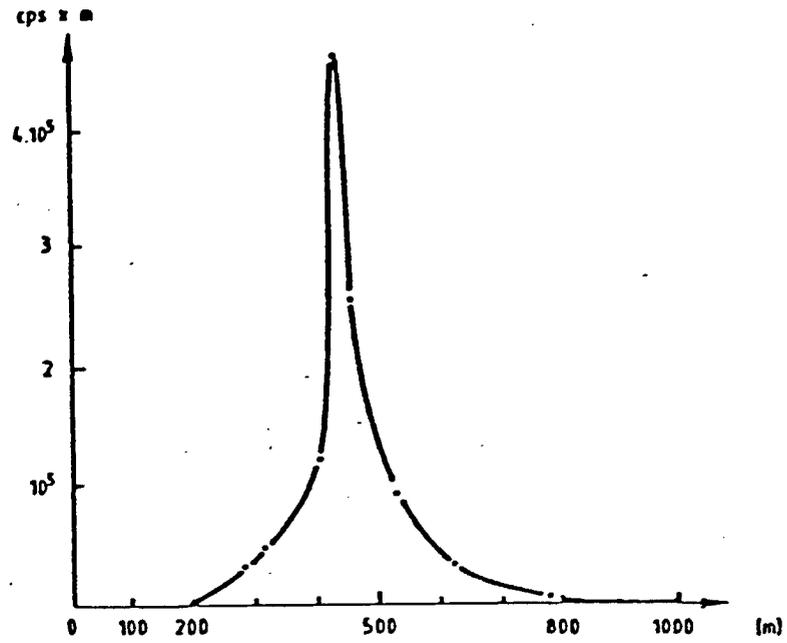


Figure 4 - Exemple de présentation des résultats.

REFERENCES

- / 1 / COURTOIS, G., HOURS, R., 1964
Propositions concernant les conditions d'emploi des
radioéléments artificiels pour étudier des mouvements
de sédiments.
Rapport interne CEA DR/AR 64-13 bis, 1964.
- / 2 / SAUZAY, G., 1968
Méthode du bilan des taux de comptage d'indicateurs
radioactifs pour la détermination du débit de charriage
des lits sableux.
Rapport interne CEA R-3431, 1968.