

CONVENTION IFREMER / REGION NORD-PAS DE CALAIS

SUIVI DES MASSES D'EAUX COTIERES EN MANCHE - MER DU NORD

PAR FLOTTEURS ARGOS (Campagnes FLOTANOR)

Evaluation du devenir potentiel des produits de dragages
portuaires apres immersion en mer

Olivier ARNAL

REMERCIEMENTS

Cette opération a pu être réalisée grâce au concours des personnes et organismes suivants que nous tenons à remercier :

- MM COUDEVILLE et CORTES de l'IFREMER (Centre de Brest), pour la mise au point technique des bouées argos et du système gonio devant permettre leur récupération en mer,

- Melle DANIELOU et Mr KERDREUX de l'IFREMER (Centre de Brest) et Mr GROSSEL (Centre de Boulogne sur mer), pour l'assistance technique et opérationnelle,

- les marins des vedettes de sauvetage en mer qui ont permis les embarquements pour les lâchers et la récupération des bouées par tous les temps ;

- . La Société Humaine et des Naufragés (SHN) à Boulogne,
- . La Société Nationale de Sauvetage en mer (SNSM) à Calais.

- le Service Maritime des ports de Boulogne et Calais (SMBC), pour le soutien et l'intérêt qu'il a manifesté pour ces campagnes,

- le Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage Maritime (CROSSMA) du cap Gris nez, qui a assuré une veille vis à vis de la navigation, et la liaison avec les autorités britanniques.

SOMMAIRE

	pages
1) INTRODUCTION.....	3
1.1. LES ACQUIS DU PROGRAMME REGIONAL INTEGRE.....	3
1.2. LES PROBLEMES POSES PAR LE DEVENIR DES REJETS DE DRAGAGES.....	3
1.3 LES OBJECTIFS ET LE PROGRAMME RETENUS.....	4
2) MATERIEL ET METHODES.....	5
2.1 LES FLOTTEURS (BOUEES "ECOMAR").....	5
2.2 LE SYSTEME ARGOS.....	7
2.3 LE GONIO ARGOS POUR LA RECUPERATION DES BOUEES.....	7
3) LES CAMPAGNES REALISEES.....	9
4) RESULTATS	15
4.1 LES POSITIONS GEOGRAPHIQUES DES BOUEES	15
4.2 LE SECTEUR DE BOULOGNE SUR MER	17
421 DEVENIR DES BOUEES LACHEES EN FLOT.....	17
422 DEVENIR DES BOUEES LACHEES EN JUSANT.....	21
423 VARIATIONS ENTRE BOUEES LACHEES SIMULTANEMENT...	21
424 EFFET DE LA MAREE.....	21
425 EFFET DE LA DISTANCE A LA COTE.....	23
4.3 LE SECTEUR DE CALAIS.....	25
431 DEVENIRS DES BOUEES.....	25
433 COMPARAISON COTE/LARGE.....	28
5) CONCLUSION	29
BIBLIOGRAPHIE.....	31
ANNEXE 1 ; TRAJECTOIRES DES BOUEES.....	33 à 48
ANNAXE 2 ; POSITIONS GEOGRAPHIQUES DES BOUEES.....	49 à 52

1. INTRODUCTION

1.1 LES ACQUIS DU PROGRAMME REGIONAL INTEGRE :

- Le Programme Régional Intégré de l'Environnement marin Nord Pas de Calais (convention Région-IFREMER) a permis de dresser un constat de la Qualité du milieu marin naturel (3), et de préciser la nature et l'importance des apports à la mer.

Des situations de contaminations, se traduisant par des teneurs élevées de certains polluants dans les sédiments du littoral régional, ont été identifiées et localisées. Ces secteurs sont les sites officiels prévus pour les rejets de produits de dragages portuaires, "au large", et en bordure cotière près des ports et des estuaires.

Les teneurs les plus élevées en polluants métalliques sont trouvées sur les secteurs Boulogne - cap Gris Nez et Calais - Dunkerque.

L'emplacement de ces zones suggère que les rejets de dragages portuaires constituent une origine majeure de la contamination du milieu marin littoral. Les flux de matériaux dragués et de contaminants associés qui sont ainsi apportés à la mer, apparaissent supérieurs aux apports par les cours d'eaux et les retombées atmosphériques. Aussi apparaît-il nécessaire de préciser leur devenir en mer et l'éventualité de retours possible à la cote qui pourrait entraîner des effets dommageables sur les activités littorales (touristiques, conchylicoles, pêches ...). -

1.2. PROBLEMES POSES PAR LE DEVENIR DES REJETS DE DRAGAGES EN MER :

Les quatre ports de la région Nord-Pas de Calais rejettent près de 2,2 millions de tonnes de sédiments par an. Les tonnages se répartissent comme suit (source Services Maritimes):

- Boulogne 12 %
- Calais 7 %
- Dunkerque ouest 57 %
- Dunkerque est 25 %.

Ces sédiments sont constitués en majorité (pour 60 à 90 % du poids) de vases fines (granulométrie inférieure à 63 μ), pouvant se remettre facilement en suspension. *Sauf se compacte*

Les opérations de dragages portuaires s'opèrent le plus souvent par aspiration (draque aspiratrice en marche) et, plus rarement, avec des dragues à bennes ou à godets.

Ces vases portuaires se caractérisent par des contaminations élevées résultant des rejets divers (urbains, industriels) et des écoulements naturels qui débouchent dans les ports.

La contamination la plus faible est observée dans le port de Dunkerque ouest; elle s'explique par l'absence d'apport amont.

Sur le domaine littoral, la "tâche" de contamination observée au large de Boulogne s'étale vers le nord et paraît pouvoir atteindre la cote au niveau du Cap Gris nez . Le rôle du cap, les risques de pénétration en baie de Wissant restent donc à préciser .

Sur le secteur Calais-Dunkerque, il s'agit d'évaluer si les rejets de Calais sont susceptibles de rentrer dans le port de Dunkerque ouest, contribuant ainsi à son envasement et à sa contamination .

Les résultats obtenus dans le cadre du Programme Régional Intégré (4) ont montré qu'à la suite d'un rejet par "clapage" en mer, les produits de dragages ne sont pas retrouvés "sur zone" au niveau des sédiments . Il semble qu'ils soient transportés par les masses d'eaux, entraînés par les courants marins. Ce mécanisme semble être celui affectant les sédiments prélevés par les dragues aspiratrice en marche, qui sont des vases fines très "diluées".

Les caractéristiques générales des courants marins sont assez bien connues (2). Il reste à préciser cependant leurs particularités dans le "fleuve côtier", en bordure littorale. Les courants sont alternatifs en direction, parallèles à la côte, et rapides (0,8 m/s en moyenne). La vitesse de flot est plus grande et dure moins longtemps que celle de jusant. La dérive résiduelle porte vers le Nord .

1.3. LES OBJECTIFS RETENUS ET LE PROGRAMME PROPOSE

L'objectif retenu pour cette étude consiste à suivre la dérive des masses d'eaux littorales , en portant une attention particulière à celles qui assurent le transport des produits de dragages portuaires.

On s'attachera à préciser le devenir potentiel de ces sédiments fins et des contaminants associés, et d'en déduire si possible les modalités optimales selon lesquelles ces rejets devraient s'opérer, pour favoriser leur dispersion en mer et éviter tout retour à la côte.

Le suivi des masses d'eau est réalisé à l'aide de flotteurs localisés grâce au système Argos. Ces flotteurs sont lâchés à des instants différents de la marée, et à une plus ou moins grande distance de la côte.

En complément à ces suivis de flotteurs, d'autres études ont été menées pour évaluer le devenir des sédiments et du panache turbide dans les premières heures qui suivent le clapage (Institut Pasteur de Lille, Service des Eaux), et la dérive des eaux côtières (en surface et au fond) à proximité de Boulogne sur mer (USTL, Station marine de Wimereux).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. LES FLOTTEURS :

Les flotteurs utilisés sont des bouées "Ecomar" construites par "CEIS ESPACE", selon un cahier des charges établi par l'IFREMER . Elles sont équipées d'un émetteur qui les rend radiolocalisables par le système Argos.

Elles se composent d'une coque métallique cylindrique, fermée à son extrémité par un chapeau amovible fixé de façon étanche (boulons inox) , et munie à sa base d'un anneau d'ancrage.

L'électronique située à l'intérieur, est noyée dans du polystyrène. L'émetteur UHF est en fond de bouée pour assurer sa stabilité verticale. Il émet un message d'une seconde toutes les minutes, qui comprend un numéro-adresse identifiant la bouée. Il est alimenté par une batterie 12 Volts assurant une autonomie de 3 à 8 mois. Un interrupteur magnétique accessible de l'extérieur, permet la mise en fonctionnement de la bouée.

Chaque bouée est lâchée avec une ancre flottante (fig 1) suspendue à l'anneau d'ancrage, constituée d'une bâche d'environ 4 m² déroulée entre deux vergues métalliques . L'ensemble joue le rôle de lest et assure la stabilisation de la bouée. Des boules "Nokalon" placées sur les suspentes permettent une flottabilité optimale de l'ensemble, dont le tirant d'eau total est de l'ordre de 4 mètres.

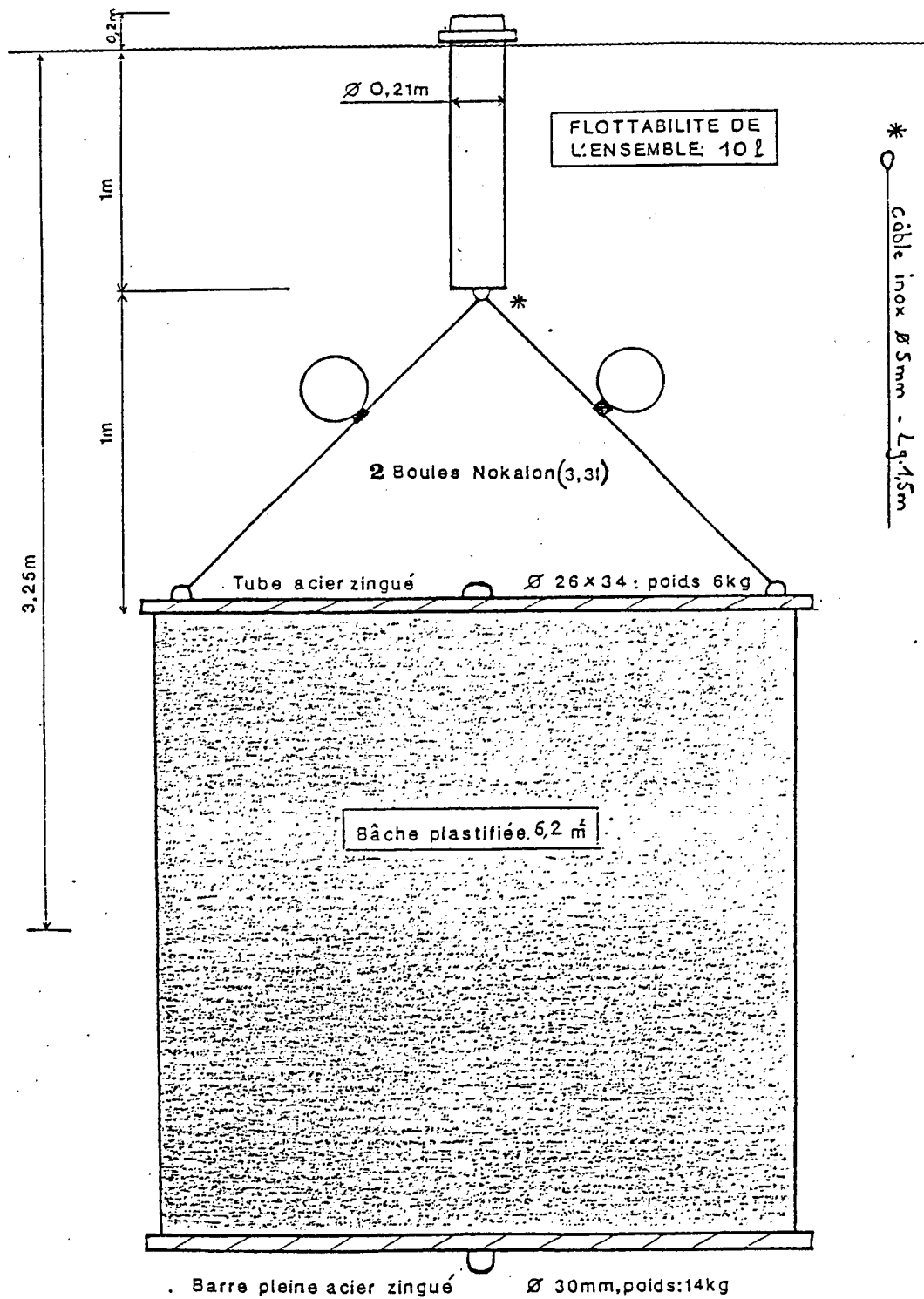


figure 1 : SCHEMA DE MONTAGE DE LA BOUEE "ECOMAR" ET DE SON MOUILLAGE

2.2. LE SYSTEME ARGOS

Le "Système ARGOS" est un système spatial de communication par satellite, permettant la localisation géographique de plate formes émettrices (fixes ou mobiles) , telles que les bouées "ECOMAR" .

Ce système est composé (*) de 2 satellites équipés d'émetteurs-recepteurs, tournant à 850 kilomètres d'altitude, sur orbites heliosynchrones , circulaires et polaires, dont les plans forment un angle de 60 ° entre eux. En conséquence, chaque satellite "voit" à tout moment une surface de la terre d'environ 5000 km de diamètre.

Leur période de passage en un point du globe terrestre, est de 101 minutes. A terre plusieurs plate formes repères (fixes) permettent le positionnement des satellites, avec une précision de l'ordre de 500 mètres, précision affichée par le constructeur .

Un système de transmissions assure le rapatriement des données en vue de leur stockage et leur traitement , puis leur diffusion vers l'utilisateur .

Les localisations des bouées sont accessible en ligne depuis le Centre de Boulogne sur mer, via le réseau Transpac.

2.3. LE GONIOMETRE ARGOS

Cet appareillage à été conçu pour permettre la récupération des bouées en mer.

Le matériel est embarquable, et comprend un récepteur dans une valise "HANDAR/ARGOS" permettant la réception des émissions de chaque bouée. Le système gonio proprement dit est intégré dans le couvercle de la valise de réception (tension de marche :220 Volts), et relié à deux antennes omnidirectionnelles fixées sur un mât d'environ 4 mètres de hauteur .

Le principe consiste à recevoir à bord les émissions des bouées dérivant en mer pour déterminer leur gisement par rapport au bateau, et se diriger sur elles par "homing" pour les récupérer. Ceci suppose que la position présumée de la bouée soit estimée à l'avance, de façon à venir se situer à proximité, la portée n'excédant pas 2 kilomètres.

Dans les conditions naturelles propres à la zone étudiée, les bouées n'auraient certainement pas pu être récupérées sans cet appareillage.

(*) SERVICE ARGOS, 18 Av.Edouard BELIN, 31055 TOULOUSE

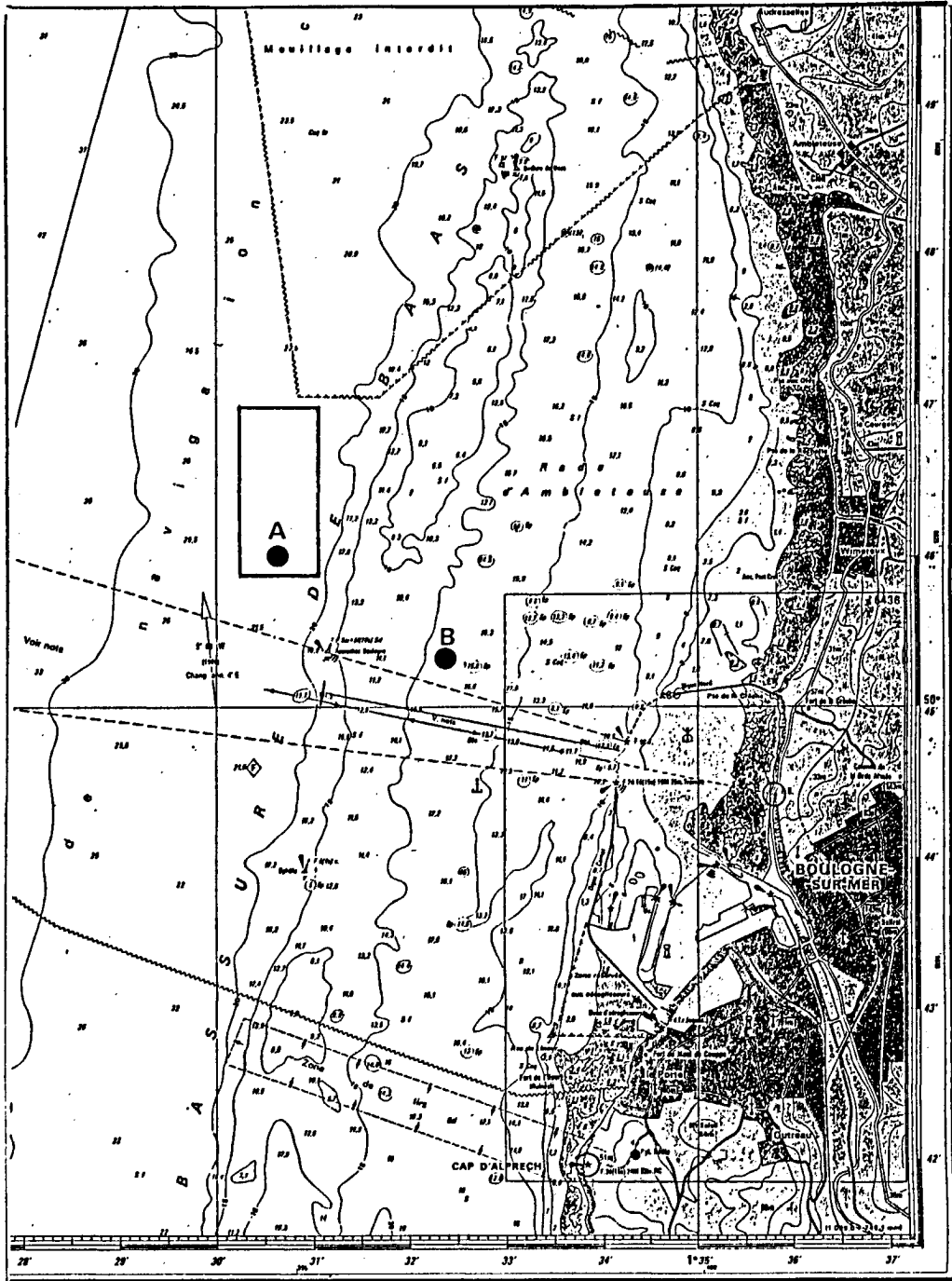


figure 2 : POSITIONS DES POINTS DE LACHERS DES BOUEES
SUR LE SITE DE BOULOGNE SUR MER

3. LES CAMPAGNES REALISEES

Devant Boulogne sur mer et Calais, on a effectué des lâchers de bouées en deux points (figures 2 et 3), dont les coordonnées géographiques sont précisées dans le tableau 1 ci dessous. Un point ("A") est situé sur le site officiel où s'effectuent les immersions de produits de dragages portuaires, l'autre point ("B") est situé sur la même radiale côte/large avec une profondeur (sonde) supérieure à 6 mètres, pour que les bouées ne risquent pas de s'échouer.

site étudié	points de lâchers	position géographique	distance au port (en km)	sonde (en m)
Boulogne	A "clapage"	50° 46' 00 N 1° 30' 07 E	4,7	22
	B "cote"	50° 45' 03 N 1° 32' 04 E	2,4	15
Calais	A "clapage"	50° 59' 00 N 1° 49' 07 E	1,7	10
	B "large"	50° 59' 09 N 1° 49' 02 E	3,5	10

Tableau 1 : caractéristiques des points de lâchers des bouées Argos.

A Boulogne (fig 2), le point B est plus rapproché de la côte et séparé du point A par un banc sableux (dune hydraulique) parallèle à la côte: la bassure de Baas .

A Calais (fig 3) les profondeurs faibles devant le port nous ont amené à retenir le point B plus au large que le rejet de clapage, sur le bord extérieur des bancs (ou ridens) de Calais.

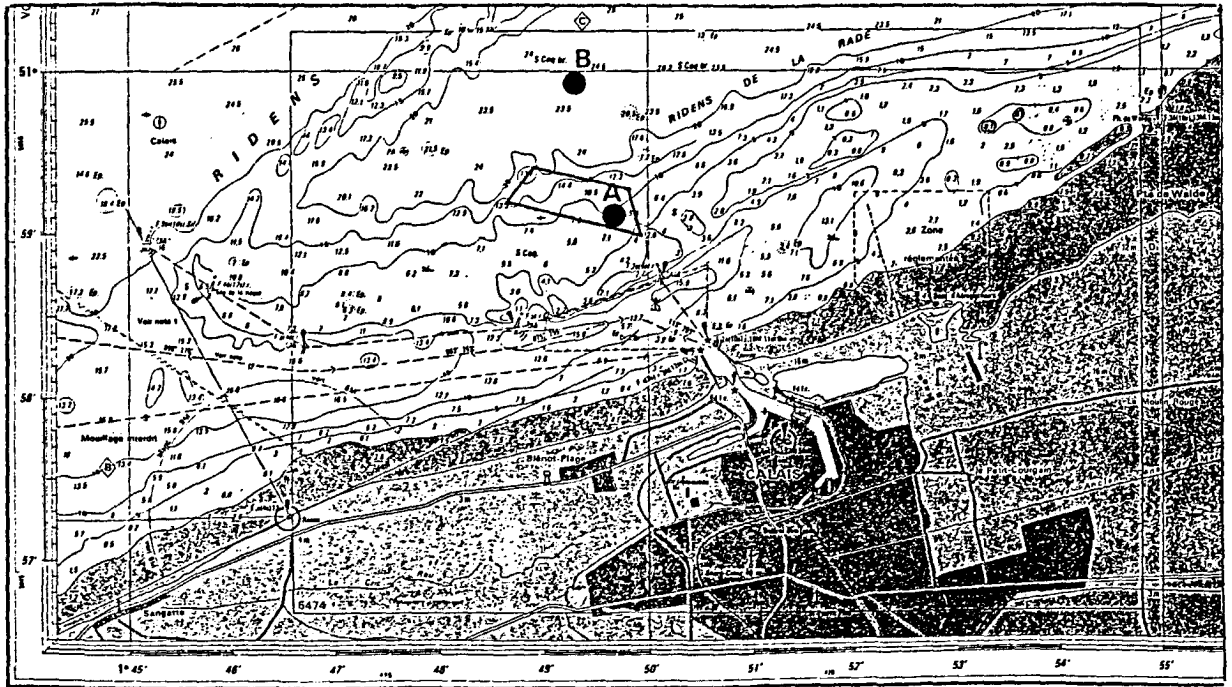


figure 3 : POSITIONS DES POINTS DE LACHERS DES BOUEES
SUR LE SITE DE CALAIS

Trois campagnes ont été réalisées (tableau 2) par coefficient de marée moyen ;

- une en Juillet 1986 ; "Boulogne 86",
- deux en juin 1987 ; "Boulogne 87" et "Calais 87".

dates	campagnes effectuées	coeff. de marée	nombre de bouées lâchées
7 au 11 /07/86	Boulogne 86	70	8
15 au 22 /06/87	Boulogne 87	70	8
22 au 25 /06/87	Calais 87	62	4

Tableau 2 : les Campagnes effectuées

Ces campagnes en mer se sont déroulées dans des conditions assez différentes (tableau 3):

La première campagne "Boulogne 86" a révélé un défaut d'étanchéité des joints des bouées. Sur les 8 bouées lâchées, seulement deux ont fonctionné et ont pu être récupérées. Elles ont toutes été contrôlées et remplacées par le constructeur.

La deuxième campagne "Boulogne 87" s'est déroulée de façon satisfaisante. Les bouées ont été lâchées par paires, à deux renverses de courants successives soit en début de flot, et en début de jusant. Toutes les bouées ont fonctionné normalement sauf une. Elles ont été récupérées non loin des côtes anglaises malgré les conditions météorologiques médiocres (mer force 6, creux de plus de 2 mètres).

Elles ont été immédiatement réutilisées pour la troisième campagne "Calais 87". Ces conditions difficiles ont conduit à n'utiliser que 4 bouées pour limiter les pertes.

Grâce au suivi en temps réel (légèrement différé) des positions des bouées, il était toujours possible le cas échéant d'aller les chercher en mer si cela s'avérait nécessaire.

Campagnes effectuées	N° des bouées	Points de lâchers	Heure de lâchers (TU + 2h)	situation de courant
"BOULOGNE 1986"	2144	large	10 30	debut de flot
	2145	large	10 35	debut de flot
	2146	cote	11 00	debut de flot
	2147	cote	11 05	debut de flot
	2148	large	16 30	debut de jusant
	2149	large	16 35	debut de jusant
	2777	cote	17 00	debut de jusant
	2778	cote	17 10	debut de jusant
"BOULOGNE 1987"	2144	large	12 45	debut de flot
	2145	large	12 50	debut de flot
	2146	cote	13 00	debut de flot
	2147	cote	12 10	debut de flot
	2148	large	18 53	debut de jusant
	2149	large	18 58	debut de jusant
	2777	cote	19 05	debut de jusant
	2778	cote	19 10	debut de jusant
"CALAIS 1987"	2144	cote	19 00	debut de flot
	2145	cote	19 05	debut de flot
	2146	large	18 45	debut de flot
	2148	large	18 50	debut de flot

Tableau 3 : Conditions expérimentales des lâchers des bouées en mer .



Photo 1 : LACHERS SIMULTANES DE DEUX BOUEES
DEVANT BOULOGNE SUR MER (au point A)



Photo 2 : UNE BOUEE EN DERIVE ...

4 . RESULTATS

Les positions géographiques successives des bouées (présentées en annexe 2) ont permis de suivre les devenir des masses d'eaux littorales responsables du transport des produits de dragages portuaires .

4.1. Les positions obtenues :

Pour chaque bouée lâchée en mer, les positions géographiques sont fournies via le système Argos avec un délai d'environ 3 heures après sa localisation proprement dite.

Le nombre de positions obtenues sous nos latitudes est variable selon les jours et selon les bouées. L'analyse des résultats obtenus au cours des campagnes réalisées en 1987 a été entreprise (tableau 4).

Pour chaque bouée, on obtient de 1 à 9 positions par jour, soit en moyenne 5 positions quotidiennes. On a remarqué que par "mauvais temps" le nombre des positions quotidiennes est plus faible que par temps calme. D'une manière générale, les conditions météo et l'état d'agitation de la mer, en agissant sur le comportement des flotteurs, sont des facteurs limitants.

D'autre part, on distingue des variations entre bouées, faisant apparaître des "bonnes" et des "mauvaises" bouées selon le nombre de positions disponibles pour chacune d'elles.

Ainsi obtient-on près de 6 positions par jour en moyenne pour la bouée n° 2145, et moins de 3 pour la n° 2777.

La conception des flotteurs, les questions d'étanchéité, les mouillages, le comportement à la mer, pourraient expliquer ces différences.

Le nombre de positions obtenues par bouée, en moyenne 5 par jour, montre qu'elles peuvent être utilisées pour des suivis de plusieurs jours voire plusieurs mois (moyen et long terme), dans le but d'établir les trajectoires résiduelles caractérisant le devenir des masses d'eau .

n° des bouées	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2777	2778	Moyenne par jour
Jours									
166	4	7	1	8	2	4	2	1	3,6
167	6	9	5	6	4	7	3	5	5,6
168	3	6	6	2*	3	5	2	4	4,1
169	1	4	1		6	5	3	1	3
170	7	6	2		2	2*	1*	1*	4,2
171	7	8	4		6				6,2
172	6	8	3		5				5,5
173	3*	4*	4*		1*				3*
174	8	6	7		4				6,2
175	5	4	7		6				5,5
176	2*	3*	4*		3*				3*
Moyenne par bouée	4,7	5,9	4,4		3,8	5,2	2,5	2,7	

(*): journée incomplète (récupération)

tableau 4 : Nombre de positions obtenues pour les bouées utilisées.

4.2. Secteur de Boulogne

Les résultats obtenus au cours des campagnes "Boulogne 86" et "Boulogne 87" sont présentés en annexes 1 et 2 et analysés ci dessous .

4.2.1. Devenir des bouées lâchées en début de flot:

. au "large" ; bouées 2144 et 2145 (fig 4):

Les bouées lâchées sur le site de clapage (point A) ne restent pas longtemps devant Boulogne. Pendant la renverse de courant, elles peuvent dériver vers le large. Mais très rapidement elles sont entraînées vers le Nord et se rapprochent progressivement de la côte. En 4 heures de temps, elles dépassent le cap Gris nez à environ 2 kilomètres au large, et se localisent en fin de flot (environ 6 heures après leur lâcher) à 7 kilomètres au nord de ce cap. Au total, la distance de dérive durant ce premier flot dépasse 20 kilomètres.

Le cap Gris Nez joue le rôle d'un "tremplin" dans la mesure où il "renvoie" les masses d'eaux côtières de Manche orientale vers le large, vers le milieu du détroit du Pas de Calais en mer du Nord. Par la suite, les dérives continuent vers le nord, et s'orientent lentement vers le Nord-Est dans l'axe du détroit.

Le 4^{ème} jour les bouées franchissent l'axe médian de la Manche, et progressent dans le chenal "descendant" de navigation au large des côtes anglaises. Pour chaque cycle de marée, le déplacement résiduel est de l'ordre de 5 kilomètres vers le nord.

. à la "côte" ; bouées 2146 et 2147 (fig 5):

La bouée 2147 est la mieux suivie au départ. Après le lâcher au point B "cotier" situé devant Boulogne, on repère la bouée à proximité de l'avant port, ce qui semble indiquer une rentrée possible des masses d'eaux dans le port de Boulogne.

Les bouées sont rapidement entraînées vers le nord, parallèlement à la côte, et dépassent le cap Gris nez 4 heures après leur lâcher à proximité (moins de 2 kilomètres au large). Ensuite elles restent proches de la côte, devant la baie de Wissant, sans toutefois y rentrer. On n'observe pas de retour à la côte derrière le cap Gris Nez (effet de cap).

Par la suite, ces bouées ont une trajectoire très proche de celle des bouées lâchées plus au large.

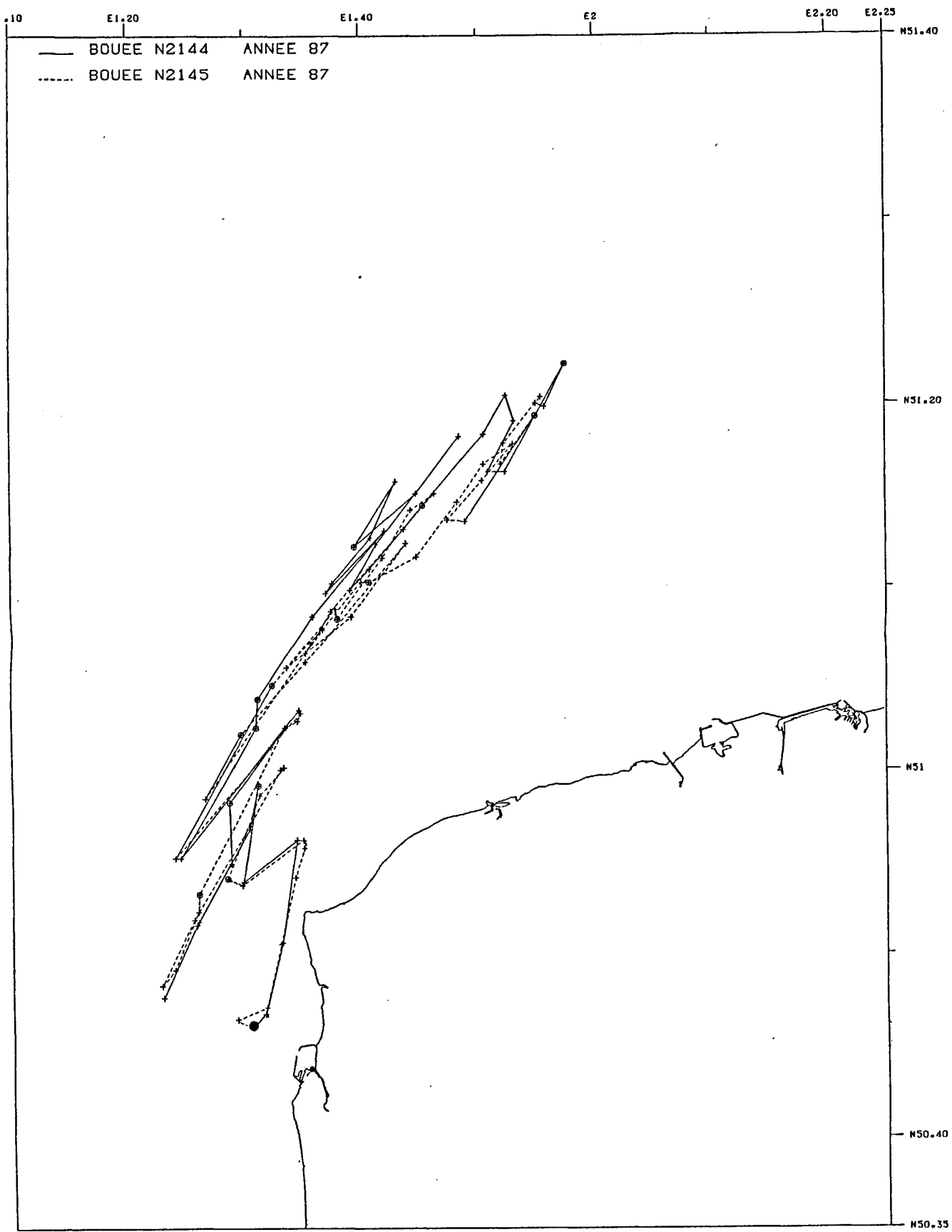


figure 4 ; TRAJECTOIRES DES BOUEES LACHEES SUR LE SITE PREVU POUR LES IMMERSIONS DES PRODUITS DE DRAGAGES PORTUAIRES DE BOULOGNE SUR MER , EN DEBUT DE FLOT.

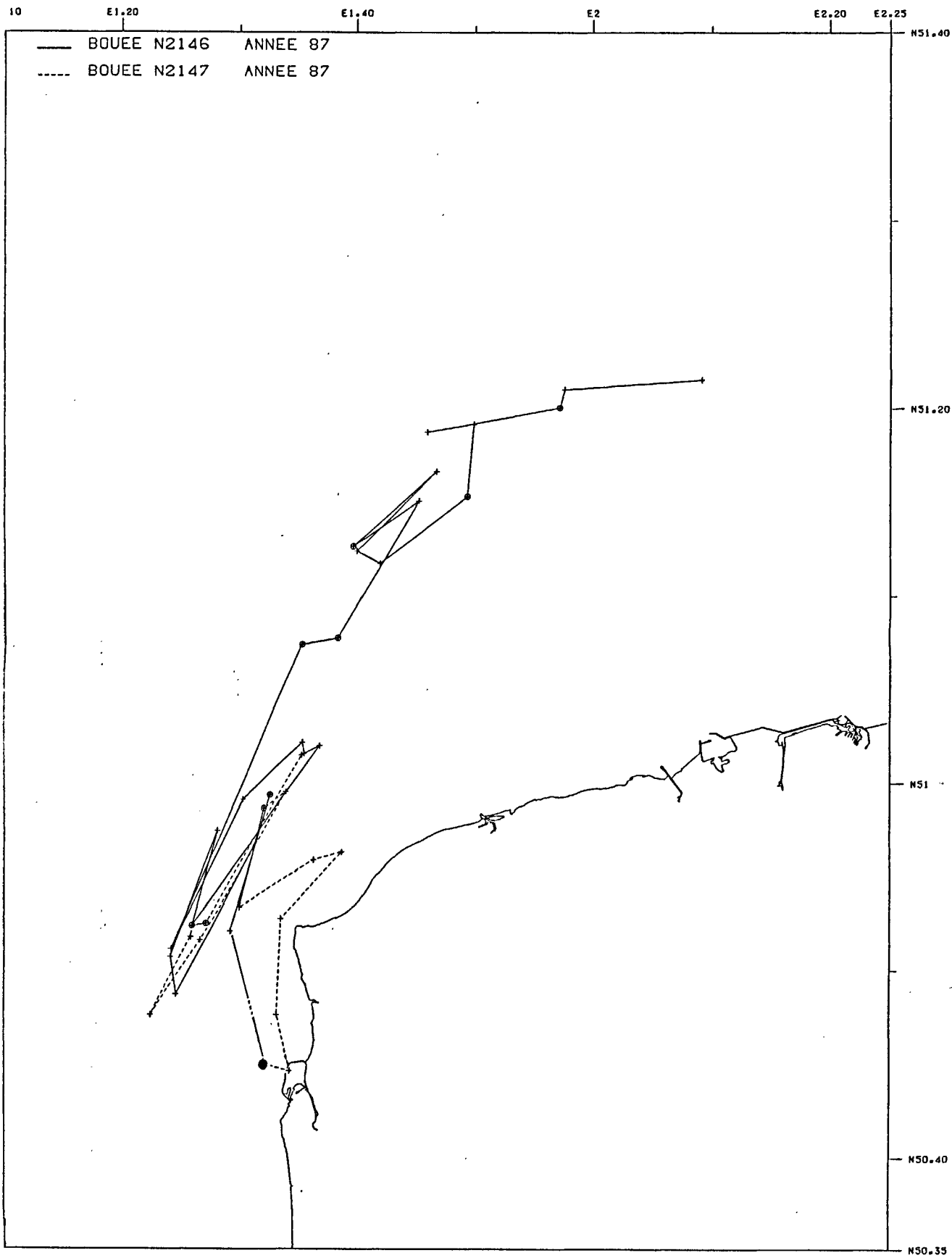


figure 5 : TRAJECTOIRES DES BOUEES LACHEES AU POINT "COTIER" ,
 DEVANT BOULOGNE SUR MER, EN DEBUT DE FLOT.

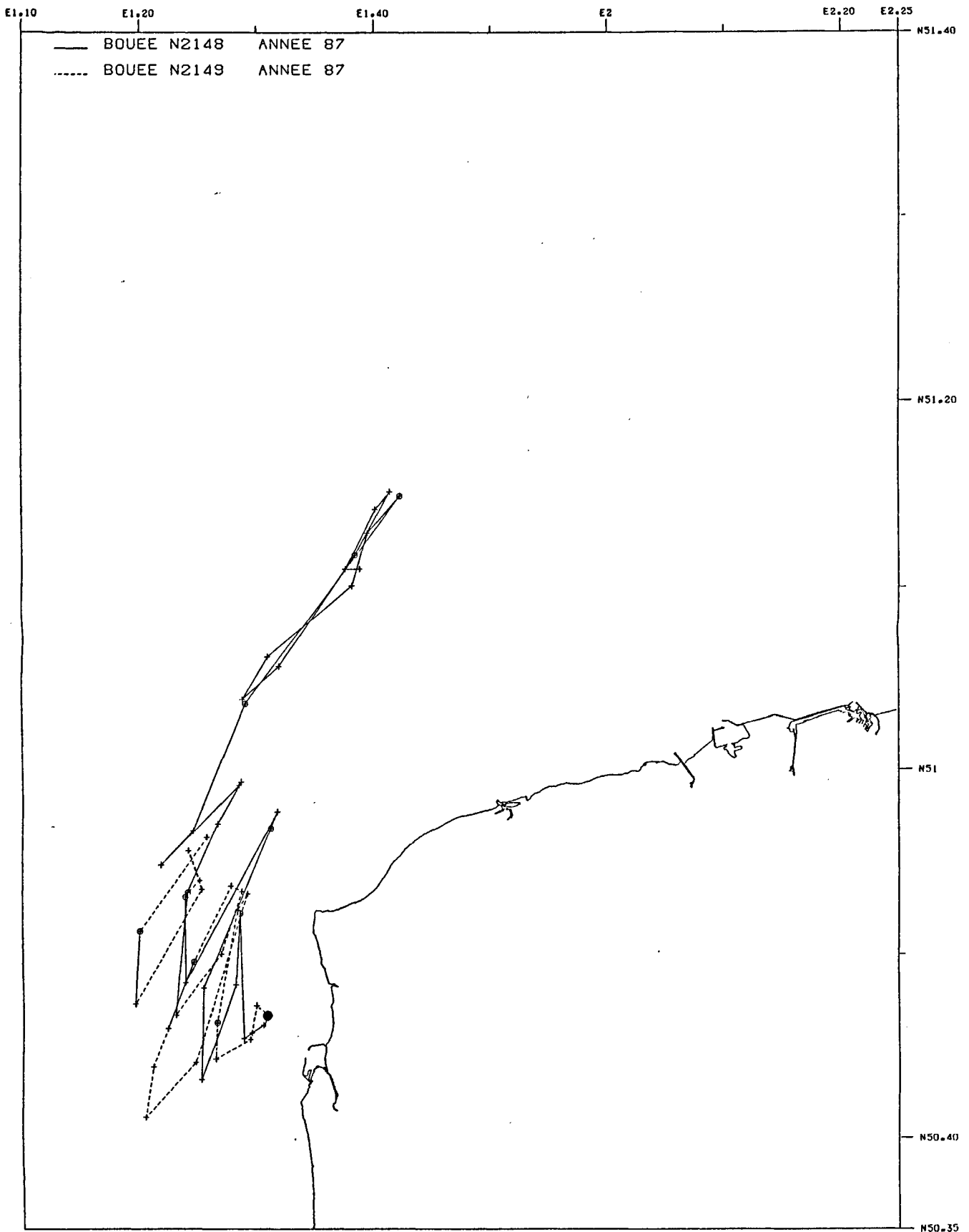


figure 6 : TRAJECTOIRES DES BOUEES LACHEES SUR LE SITE PREVU POUR
 LES IMMERSIONS DE PRODUITS DE DRAGAGES PORTUAIRES DE BOULOGNE
 SUR MER, EN DEBUT DE JUSANT.

4.2.2. Devenir des bouées lâchées en début de Jusant :

. au "large" ; bouées 2148 et 2149 (fig 6):

Les bouées lâchées au point A du "large" en début de jusant, s'écartent de la côte vers le large durant l'étale de courant (cas de la 2149). Elles sont entraînées en cours de jusant vers le sud, et se retrouvent 12 heures après leur lâcher, soit en début de flot, à 2,3 kilomètres au large du point A. Des lors leurs trajectoires sont très voisines de celles des bouées 2144 et 2145 lâchées en ce point, 18 heures auparavant. Elles restent cependant plus éloignées de la côte au niveau du Boulonnais, et passent le cap Gris nez à plus de 7 kilomètres au large.

. à la "côte" ; bouées 2777 et 2778 (fig 7) :

Les bouées lâchées en début de Jusant au point B "côtier" montrent des dérives transversales, côte-large, après le lâcher, alors que le courant n'est pas encore bien établi. Globalement, la tendance semble être pour une dérive orientée vers le large, mais cela est moins net que pour les bouées lâchées au point "large". Les bouées dépassent le cap Gris Nez plus de 24 heures après leur lâcher.

4.2.3. Variations entre les positions des bouées lâchées par paires, simultanément :

Les positions des bouées lâchées par paires ont été comparées pour les mêmes heures (lorsque celles ci sont disponibles). On remarque que les distances séparant ces bouées sont inférieures à 200 mètres, ce qui n'est pas significatif compte tenu de la précision des localisations annoncées par le constructeur. Ces variations "inter-bouées" faibles, montrent que les dérives des masses d'eaux marines sont homogènes et résultent de transports bien établis. Cependant, les bouées lâchées en début de jusant présentent davantage de différences entre elles que les bouées lâchées en flot.

4.2.4. Effet de la marée (comparaison des bouées lâchées en flot et en jusant)

. bouées lâchées au "large":

Les bouées lâchées en début de jusant dérivent vers le sud et vers le large, tandis que celles lâchées en début de flot dérivent vers le nord, et se rapprochent de la côte et du cap Gris Nez. En conséquence, les premières restent devant le littoral du Boulonnais 12 heures de plus, période de temps pendant laquelle certains facteurs, en particulier météorologiques, peuvent

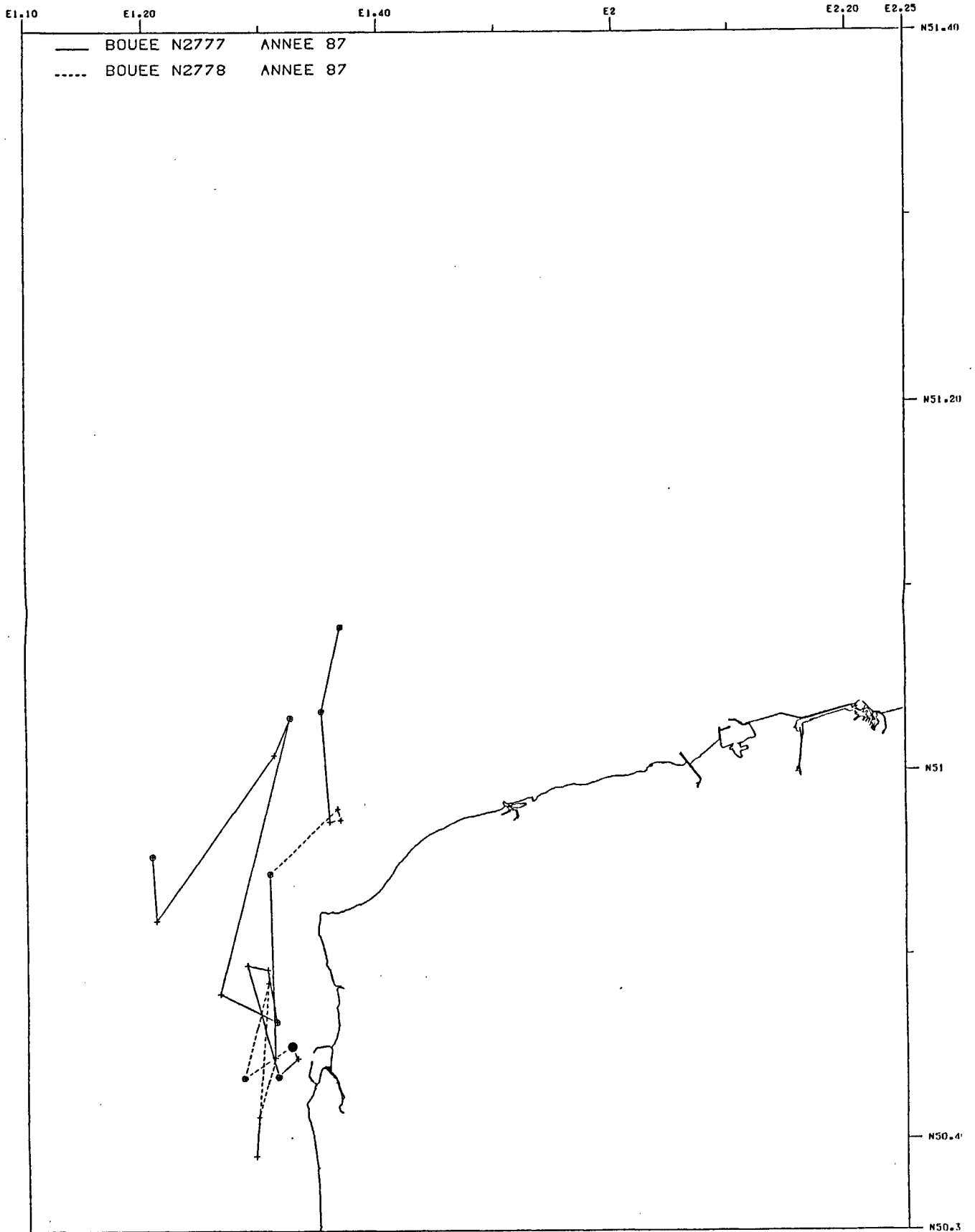


figure 7 : TRAJECTOIRES DES BOUEES LACHEES AU POINT "COTIER" DEVANT BOULOGNE SUR MER, EN DEBUT DE JUSANT.

intervenir, et entraîner des déplacements transversaux (vers la côte) des masses d'eaux de surface. Pour des conditions météorologiques assez calmes qui ont été celles des campagnes sur le site de Boulogne, les bouées lâchées en début de jusant passent le cap Gris Nez plus au large que celles lâchées en début de flot. Elles restent de ce fait plus éloignées de la baie de Wissant.

. bouées lâchées à la "côte" :

Des observations de même nature peuvent être faites. Les bouées lâchées en flot passent plus près du cap Gris Nez, et s'orientent ensuite vers l'est, parallèlement à la côte. Les bouées lâchées en jusant restent à proximité du littoral du Boulonnais, puis continuent vers le nord et vers le large après avoir dépassé le cap Gris Nez. Aucune bouée lâchée à la "côte" n'a pénétré en baie de Wissant.

4.2.5. Effet de la distance à la côte (comparaison des bouées lâchées au "large" et à la "cote") :

. en début de flot:

Pendant la renverse de courant, les trajectoires des masses d'eaux devant Boulogne révèlent des mouvements transversaux, perpendiculaires à la côte. Elles se font soit vers le large comme on a pu l'observer sur le site officiel prévu pour le "clapage" (point A), soit vers la côte (cas du point "cotier"). On ne peut exclure qu'il y ait au moment des renverses de courant, des mouvements de masses d'eau vers la côte ou même susceptibles de rentrer dans le port de Boulogne sur mer. Le banc de la bassure de Baas situé entre nos deux points A et B expliquerait cette différence, en constituant une barrière naturelle limitant les échanges côte-large.

En flot les trajectoires des masses d'eaux littorales convergent à l'approche du cap Gris Nez et se rapprochent de la cote. Après le cap, elles divergent, les eaux les plus côtières restant devant la baie de Wissant, tandis que celles transitant plus au large continuent vers le nord et se retrouvent au milieu de la Manche.

. en début de jusant :

Du fait de la plus grande dispersion des trajectoires des bouées, il est plus difficile de mettre en évidence une relation entre le devenir des bouées selon la distance à la côte de leur point de lâcher. Les bouées côtières semblent rester dans la bordure littorale limitée au large par la bassure de Baas, tandis que celles lâchées sur le site de "clapage" progressent vers le large.

En conclusion, on voit que les masses d'eaux littorales transitant devant le port de Boulogne sur mer et la région du Boulonnais, sont animées de mouvements importants. Les excursions sont de l'ordre de 20 kilomètres, et parallèles à la côte.

A l'approche du détroit, leurs trajectoires convergent, se rejoignent, et se rapprochent de la côte au niveau du cap Gris nez. Par la suite elles continuent vers le nord, "sur leur lancée", et s'écartent de la façade nord de la région.

Elles peuvent atteindre en 4 jours la zone côtière britannique au voisinage des bancs de Goodwin, proches de l'entrée de l'estuaire de la Tamise .

Des déplacements transversaux vers la côte ou vers le large interviennent aux renverses de courants.

Les masses d'eaux littorales transitant devant Boulogne sur mer sont donc "évacuées" rapidement en flot vers le nord et vers le large, sans risque apparent de retour à la côte.

En Jusant elles restent à proximité du littoral du Boulonnais, durant un cycle de marée, avant d'être "évacuées" à leur tour par le nord.

L'éloignement de la côte apparait déterminant pour le devenir des masses d'eaux, et correspond à l'influence de la bassure de Baas. Celle ci a pour effet de "canaliser" les eaux côtières entre Boulogne et le cap Gris Nez et de limiter les échanges avec le large.

4.3 Secteur de Calais :

Devant Calais, 4 bouées ont été lâchées en début de flot, 2 au point "côte" correspondant au site officiel prévu pour les immersions des produits de dragages portuaires, et 2 au point "large" (figure 3).

4.3.1. Devenirs des bouées :

. bouées lâchées à la "côte"; n° 2144 et 2146 (fig 8);

Les bouées lâchées au point côtier sont entraînées vers l'Est. Elles restent parallèles à la côte, à une distance d'environ 3,5 kilomètres au large, et se rapprochent à moins de 4 kilomètres du port de Dunkerque ouest. Elles restent à proximité du trait de côte durant les deux premiers cycles de marée (24 heures). Les excursions au cours du flot sont de l'ordre de 16 kilomètres. A chaque renverse de courant, les bouées présentent une dérive vers le large.

Puis, les bouées s'orientent nettement vers le nord, et suivent l'orientation générale des bancs du Dyck situés au droit du débouché de la rivière Aa.

Ainsi en flot, les masses d'eaux côtières ayant transité par le site de rejets de dragages de Calais semblent transiter le long du trait de côte, et être susceptibles de pénétrer dans certaines conditions dans l'avant port ouest de Dunkerque.

. bouées lâchées au "large" ; n° 2146 et 2148 (fig 9);

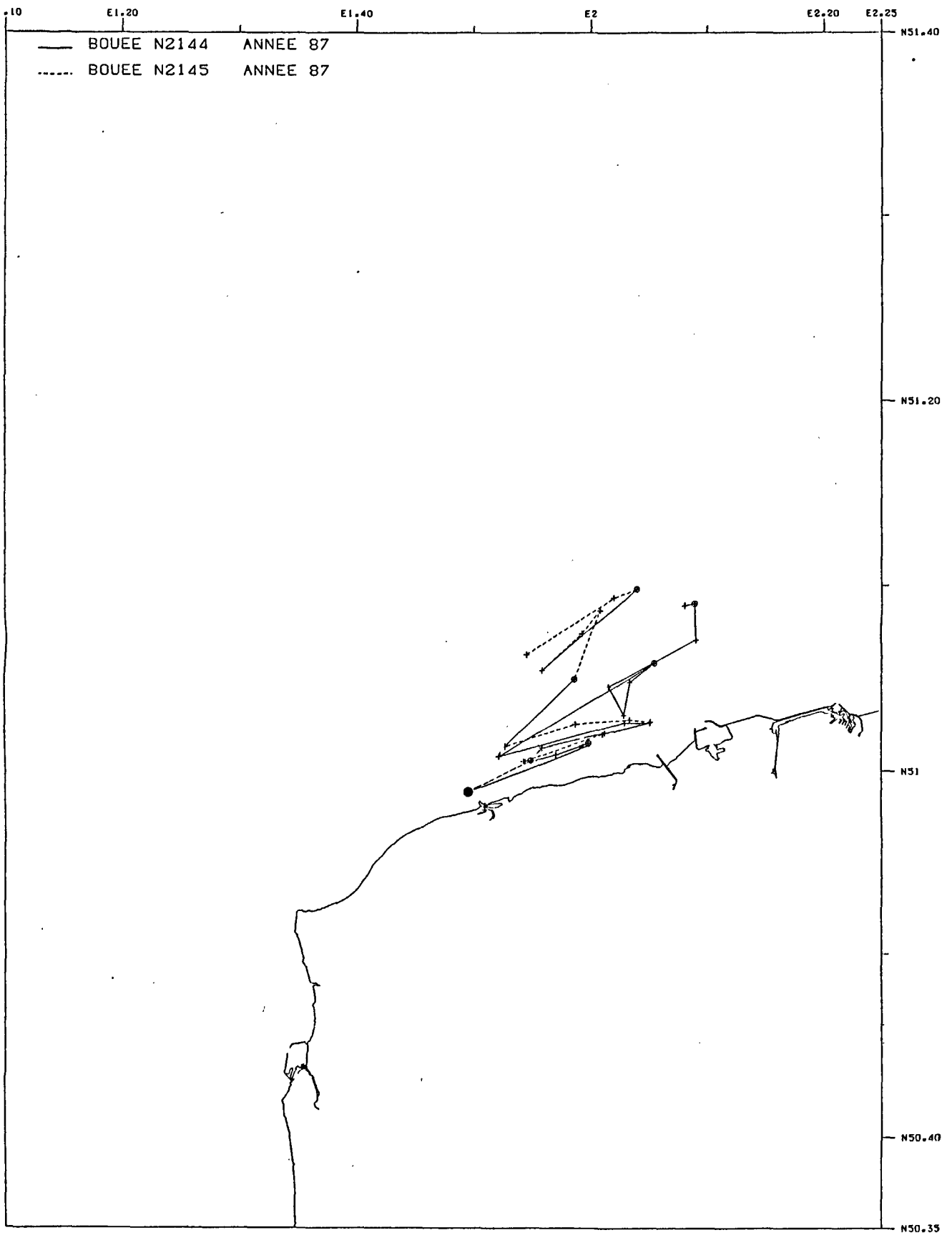
Une bouée (n°2148) dérive d'abord vers le sud au moment de la renverse de courant, mais par la suite les deux bouées sont entraînées vers l'Est, parallèlement à la côte. Elles se maintiennent à une distance d'environ 4,4 kilomètres au large.

A chaque renverse de courant, elles dérivent nettement vers le large et s'éloignent progressivement de la côte. Au niveau du débouché de l'Aa, les trajectoires sont orientées vers le Nord-Est.

Dans l'ensemble les trajectoires de toutes les bouées lâchées devant Calais montrent une dérive vers l'est proche du littoral, mais "décollent" de la côte au voisinage du débouché de l'Aa.

4.3.2. variabilité des positions géographiques:

Les positions des bouées lâchées à la "côte" montrent qu'elles semblent suivre des trajectoires semblables, qui s'écartent de manière progressive avec le temps.



**figure 8 ; TRAJECTOIRES DES BOUEES LACHEES SUR LE SITE PREVU POUR
 LES IMMERSIONS DE PRODUITS DE DRAGAGES PORTUAIRES DE CALAIS,
 EN DEBUT DE FLOT.**

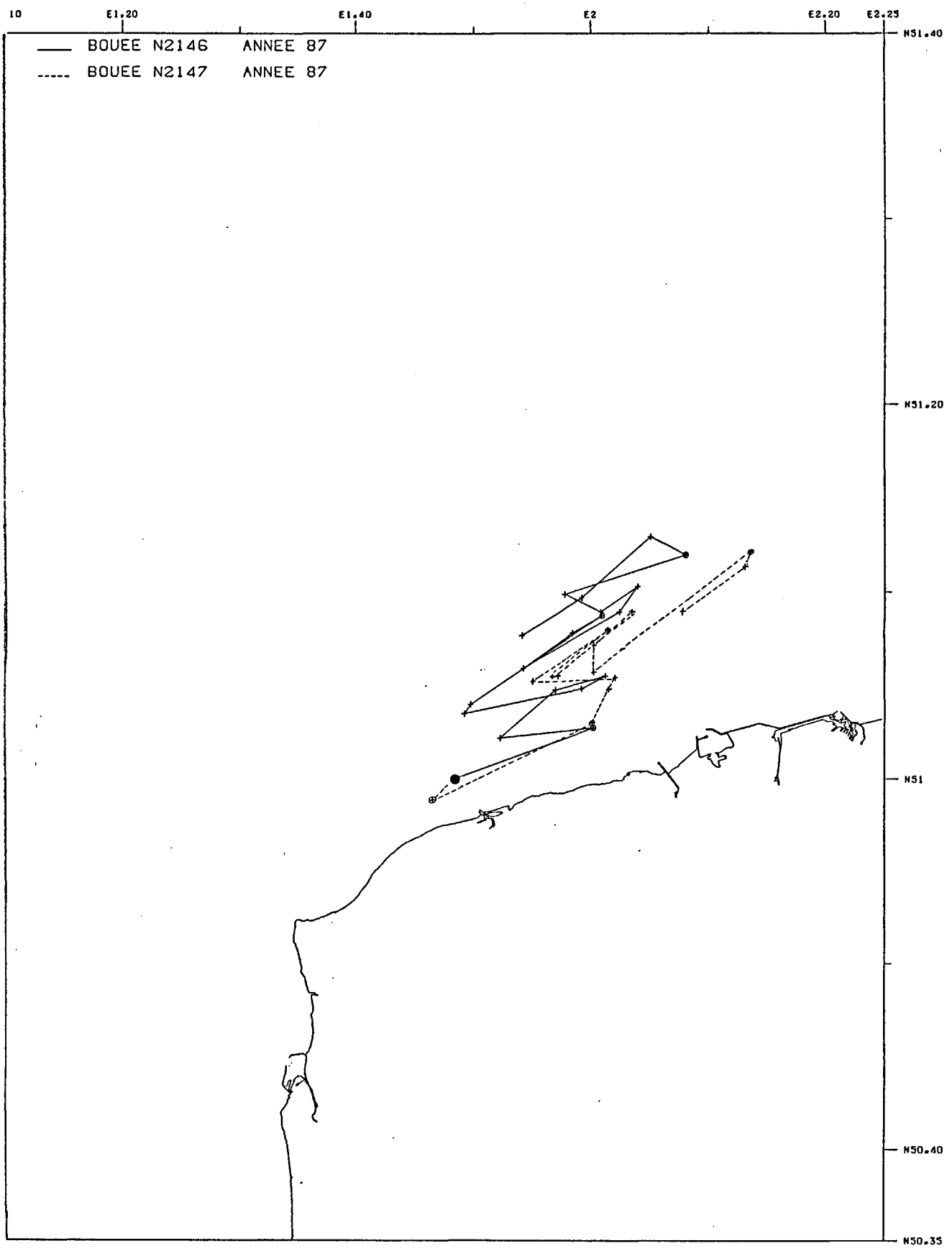


figure 9 : TRAJECTOIRES DES BOUEES LACHEES AU POINT "LARGE" DEVANT CALAIS, EN DEBUT DE FLOT.

4.3.3. comparaison cote/large:

Les bouées lâchées au point "côte" restent plus longtemps proches du trait de côte, sur le secteur s'étendant entre Calais et Dunkerque ouest . A l'inverse les bouées lâchées au point "large" évoluent plus rapidement vers le large .

5. CONCLUSION

Le suivi de flotteurs en zone littorale de la région Nord-Pas de Calais a permis de préciser les devenir des masses d'eaux marines transitant devant les ports de Boulogne sur mer et Calais, et d'en tirer quelques enseignements relatifs aux modalités des rejets de dragages.

La mise au point opérationnelle de la technique utilisant des flotteurs radiolocalisables par le système Argos a été résolue. Quelques améliorations devront être apportées pour ce qui concerne l'étanchéité des bouées et le comportement à la mer des mouillages. La mise au point d'un système gonio (prototype) a permis de récupérer les bouées .

Les résultats obtenus montrent que les trajectoires des masses d'eau littorales, sur les secteurs de Boulogne sur mer et Calais sont parallèles au trait de côte, avec très peu de déplacements transversaux dans le sens côte/large . Les courants de flot et de jusant entraînent des excursions importantes de l'ordre de 15 à 20 kilomètres.

Les masses d'eau littorales passant devant Boulogne restent quelques heures à proximité du littoral du Boulonnais, et sont "projetées" en moins de 24 heures au milieu du détroit . L'inflexion du trait de cote et le cap Gris Nez joue le rôle d'un "tremplin" renvoyant vers le large les eaux côtières. Aucune rentrée en baie de Wissant n'a été observée.

Ces observations montrent que les conditions hydrodynamiques sont plutôt favorables à une bonne dispersion des rejets de dragages de Boulogne sur mer, et à leur évacuation en mer .

A Calais, les eaux littorales restent plus longtemps à proximité de la côte . On ne peut exclure des retours éventuels à la côte, vers le platier d'Oye (ou existent des activités conchylicoles) ou dans le port de Dunkerque ouest. Cette éventualité est renforcée par le faible éloignement au large du site prévu pour les immersions des dragages de Calais (1,7 km).

Les trajectoires des masses d'eau littorales ne semblent pas devoir atteindre le port est de Dunkerque .

A partir de ces observations, il apparait que les rejets de dragages des ports de Boulogne sur mer et Calais sont rapidement entraînés par les forts courants marins du détroit du Pas de Calais.

A Boulogne leur dispersion et leur évacuation seront favorisées par des immersions effectuées au delà de la bassure de Baas (cas du site officiel), qui "protège" la côte, et en début de courant de flot (3 heures avant la pleine mer).

A Calais les immersions effectuées en jusant pourraient être davantage dispersées et éloignées de la côte grâce aux brassages existant dans le détroit .

Cette étude qui doit être considérée comme une première approche expérimentale en Manche-Mer du Nord, appelle cependant des compléments . Il importe de préciser les influences respectives des coefficients de marée, et des situations météorologiques (vent, houle ...). *dont il n'est pas fait mention !*

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BURKHALTER R. et ARNAL O., Octobre 1985 .
Suivi de l'évolution et de la dispersion des rejets en mer sur le littoral du Nord-Pas de Calais, par thermographies aériennes. IFREMER, Centre de Boulogne sur mer , 13 pp et 13 planches photos.

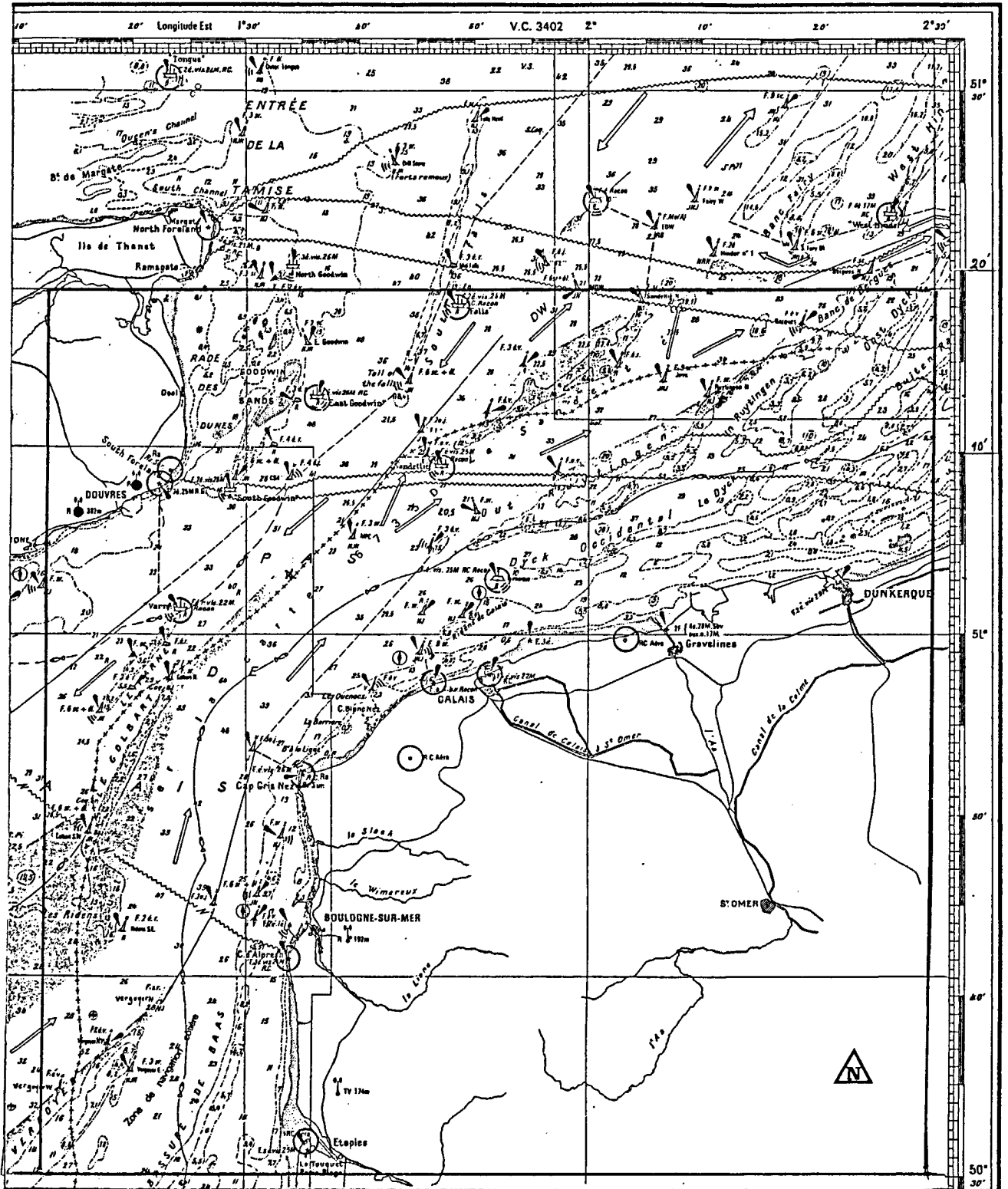
- 2) CHABERT D'HIERES G. et MARION A. Juin 1980.
Synthèse des mesures de courants et des modèles existants dans le Nord-Pas de Calais. (Contrat CNEXO 81/6517)
Institut de Mécanique de Grenoble (IMG), 85 p .

- 3) IFREMER , décembre 1986.
Le littoral de la région Nord-Pas de Calais : Qualité du milieu marin.
Rapports Scientifiques et Techniques de l'IFREMER, n° 3- 1986, 152 p.

- 4) L'HOPITAULT J.C., 1983.
Influence du dragage des ports sur la pollution marine dans la région Nord-Pas de Calais.
Institut Pasteur de Lille, Service des Eaux, 60 pages et annexes.

- 5) OUDART E., PROIX N., et al., 1986.
Les ports de Boulogne sur mer et Calais ; étude physicochimique et bactériologique des flux de pollutions .
Institut Pasteur de Lille (Service des Eaux), et Univ. des Sc. et Techn. de Lille (Laboratoire de Chimie analytique et marine, Professeur Wartel), 91 p.

ANNEXE 1: TRAJECTOIRES DE CHACUNE DES BOUEES UTILISEES



ZONE D'ETUDE

E1.10

E1.30

E2

E2.10

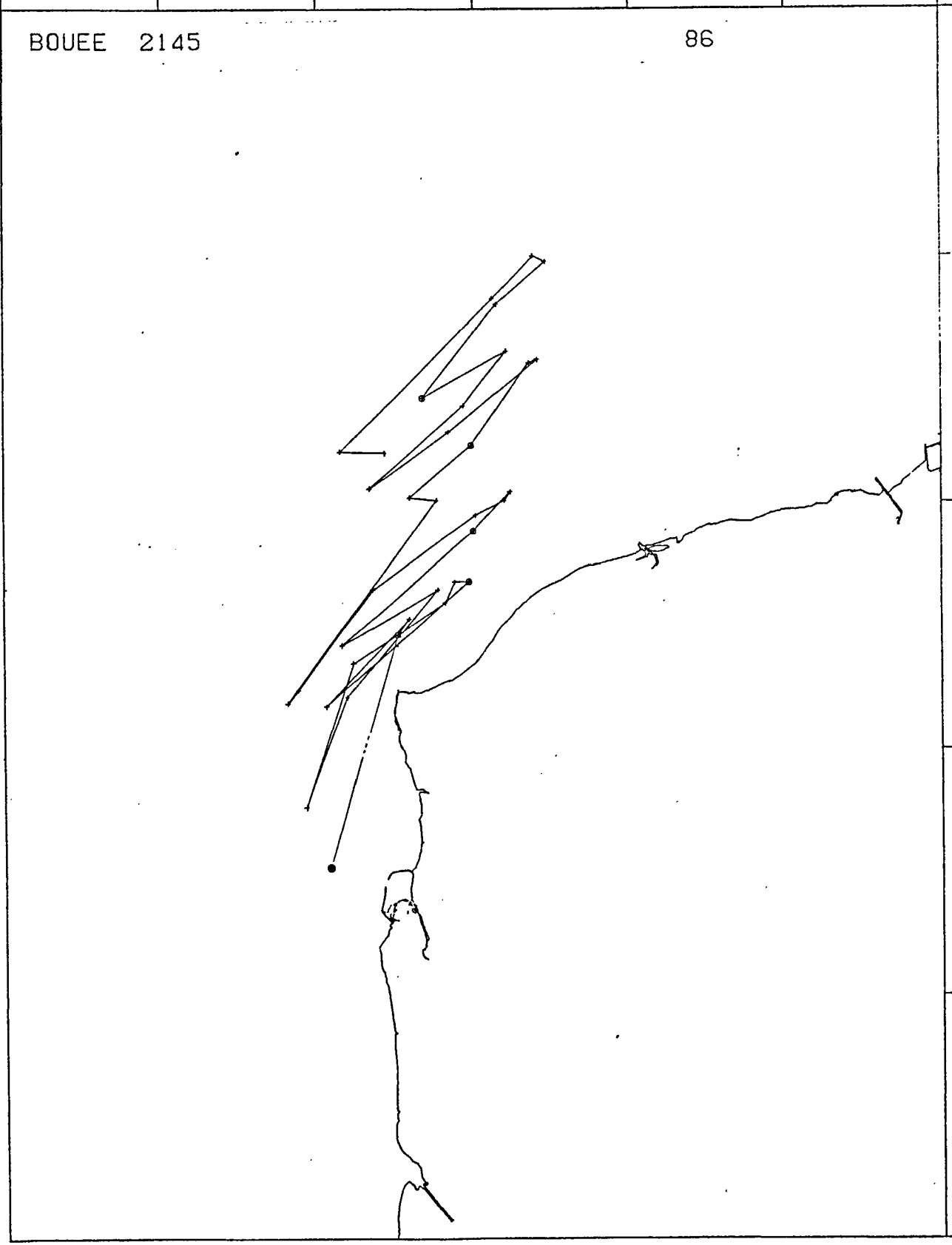
BOUEE 2145

86

N51.20

N51

N50.30



E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2145

ANNEE : 87

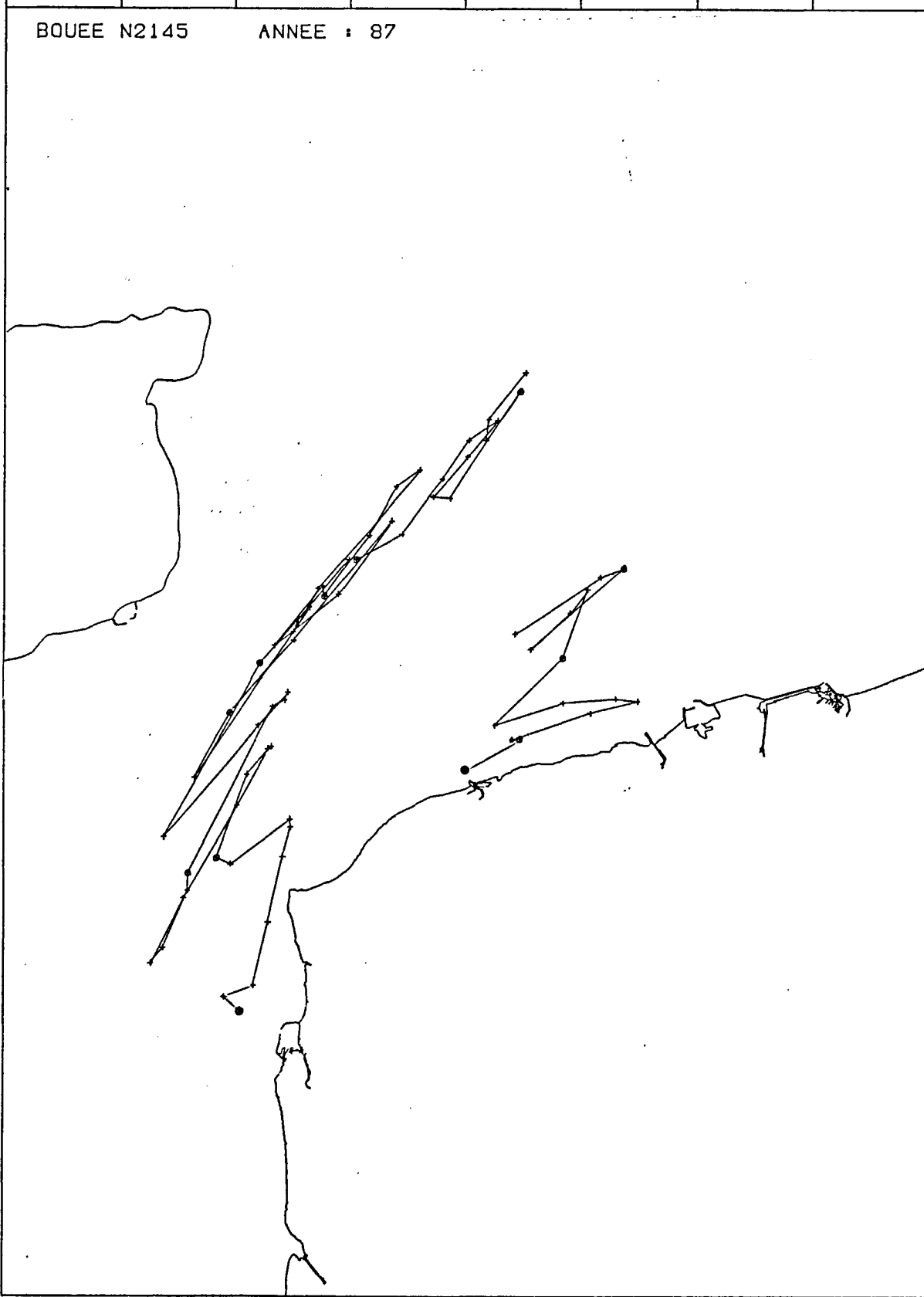
N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30



E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2144

ANNEE : 87

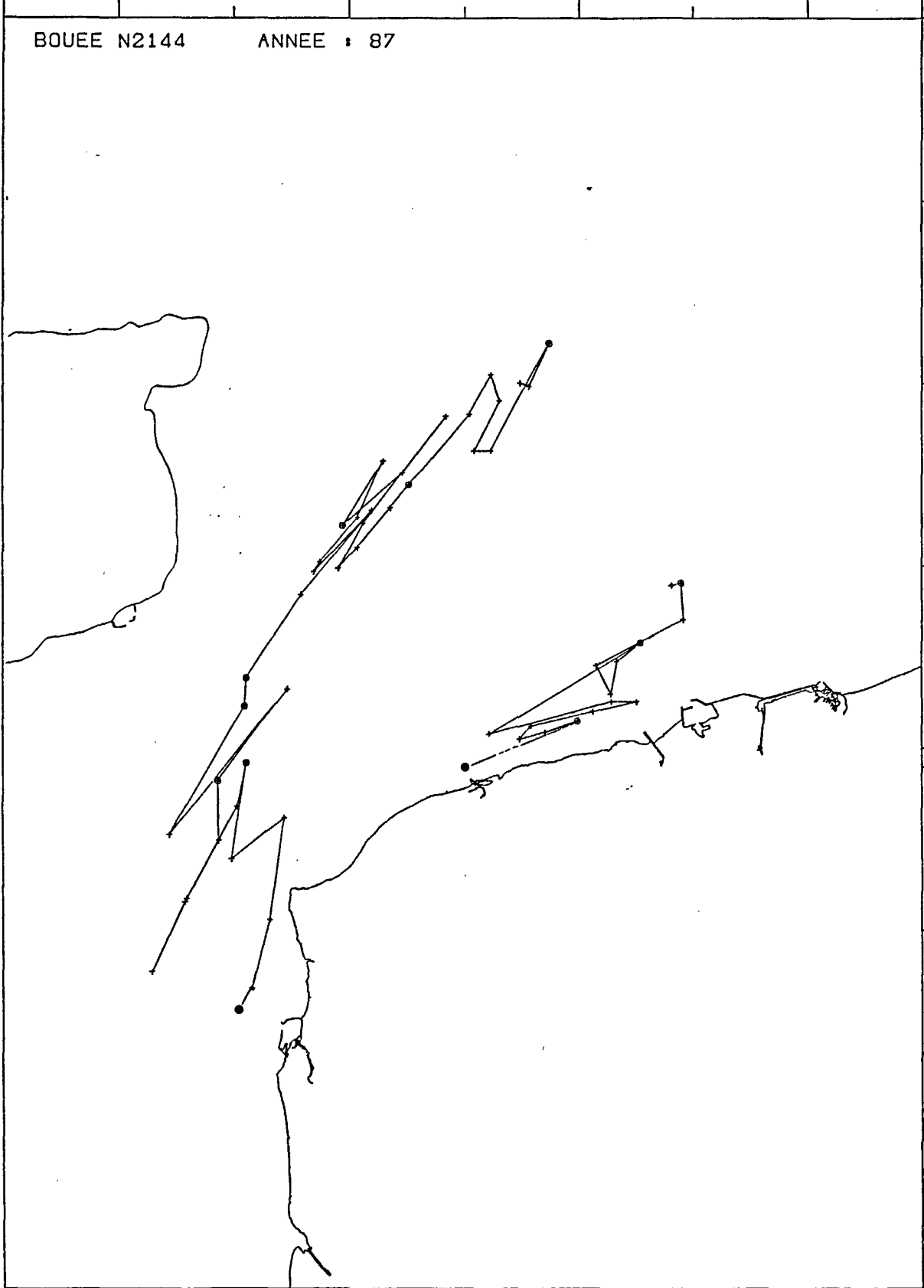
N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30



E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2146

ANNEE : 87

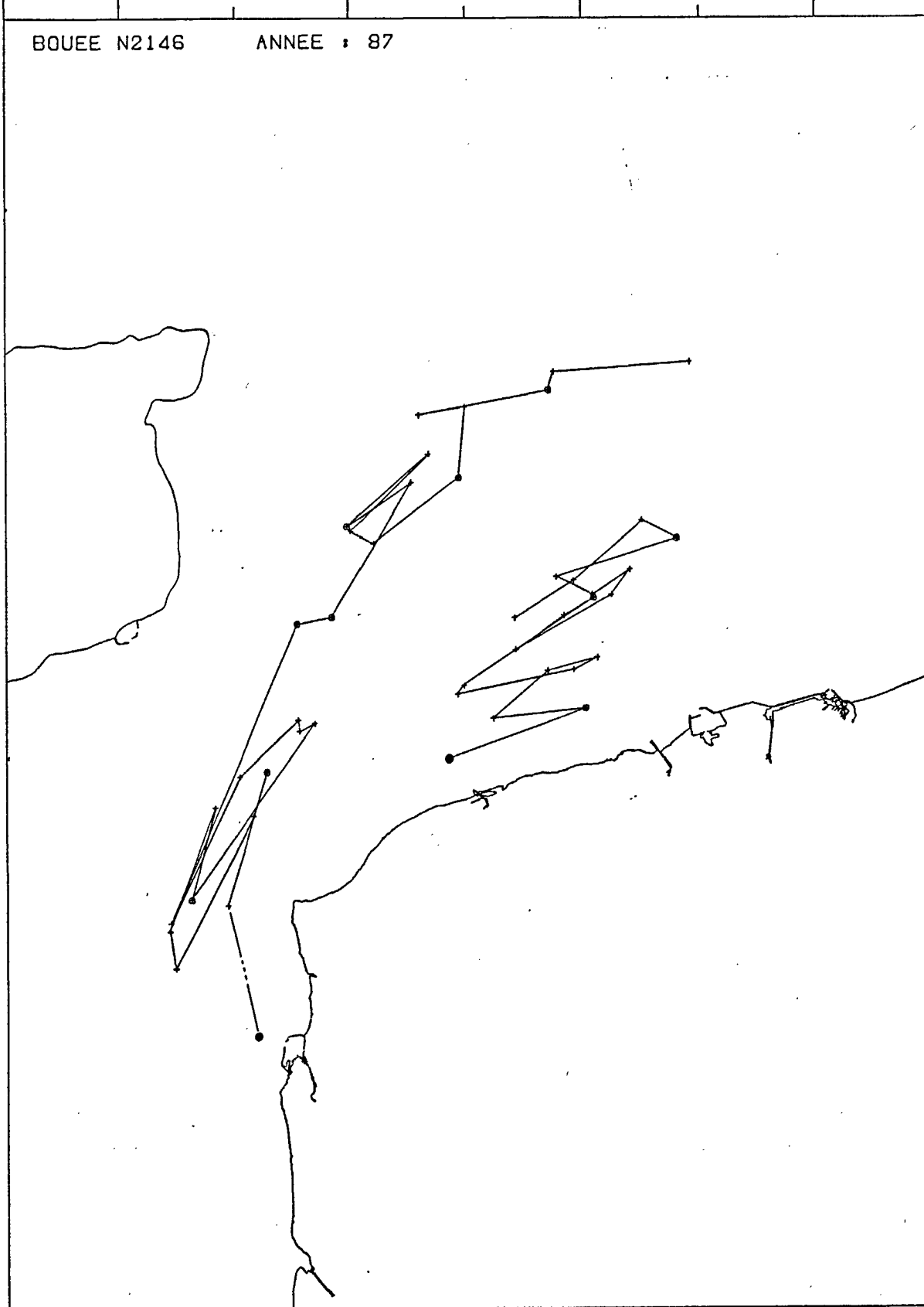
N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30



E1.10

E1.30

E2

E2.10

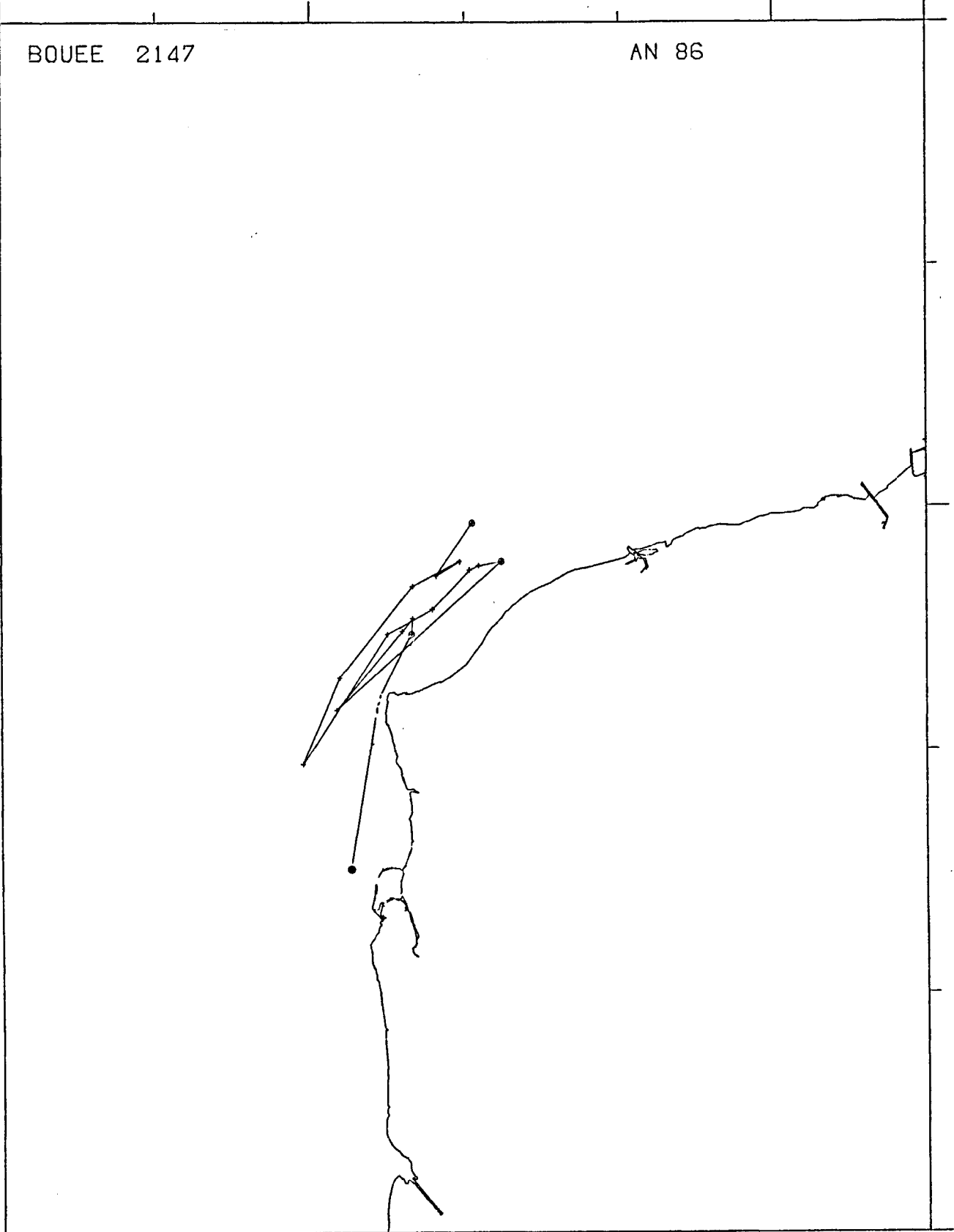
BOUEE 2147

AN 86

N51.0

N51

N50.30



E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2147

ANNEE : 87

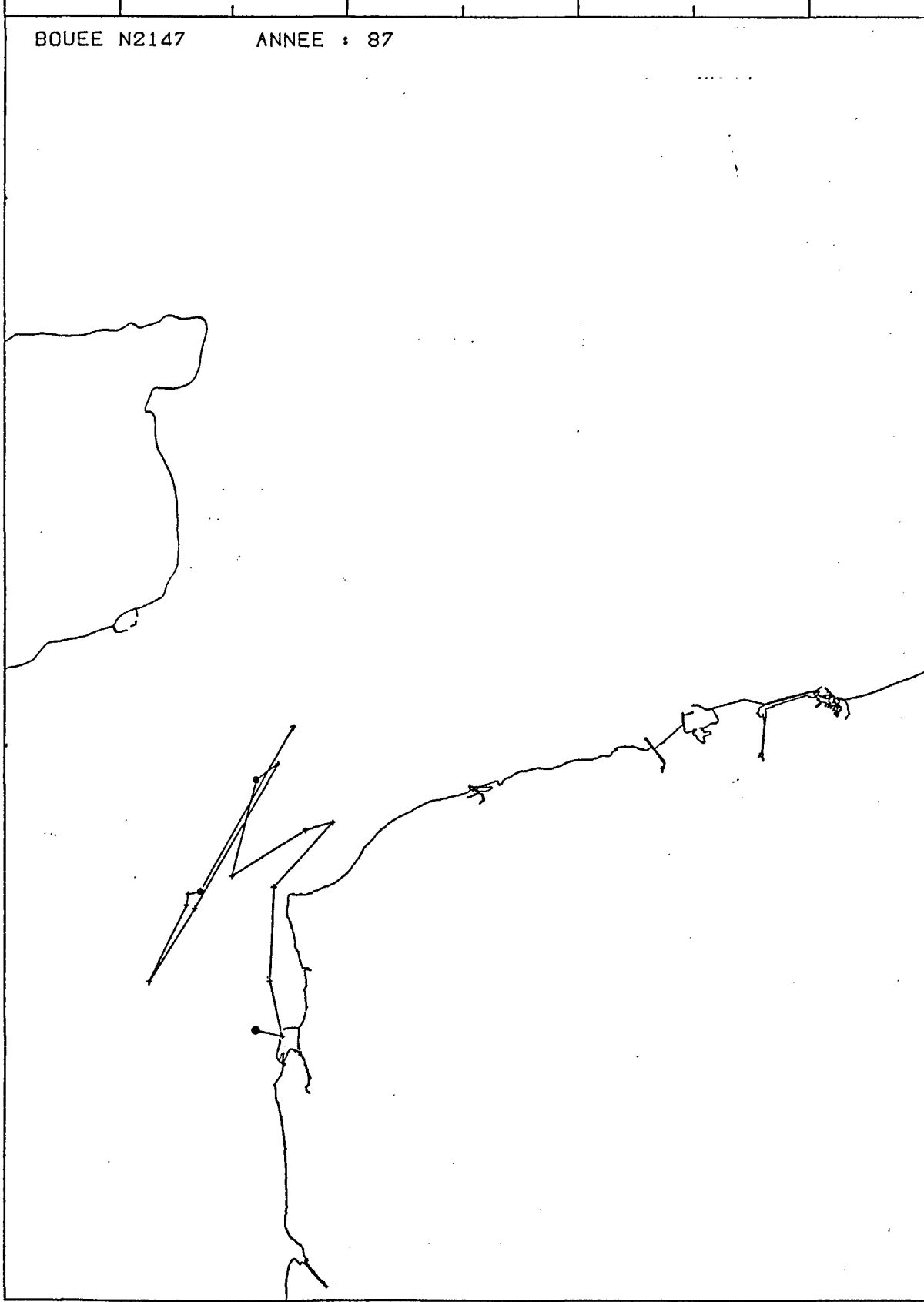
N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30



E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2148

ANNEE : 87

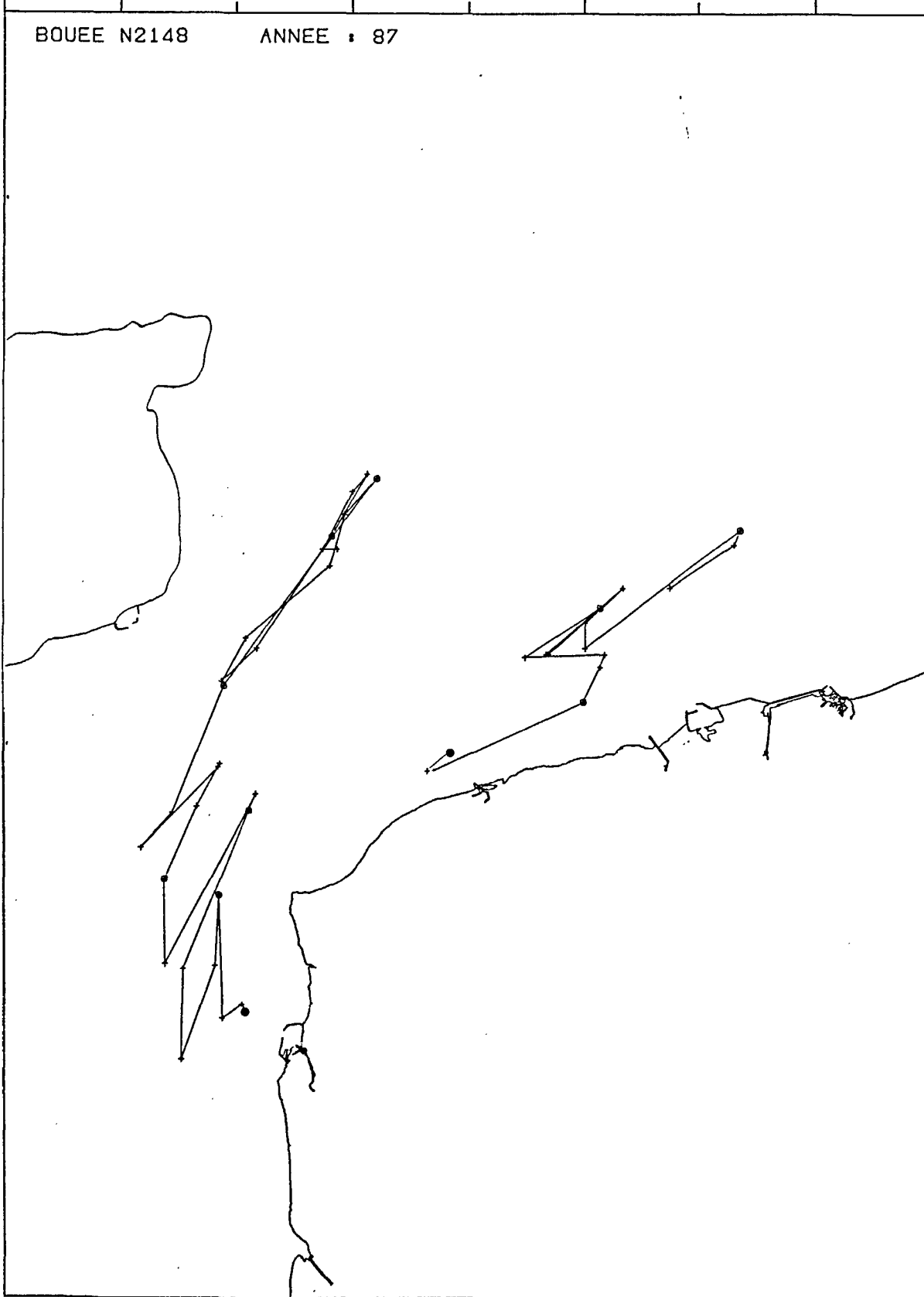
N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30



E1.10

E1.30

E2

E2.10

BOUEE 2149

AN 86

N51.20

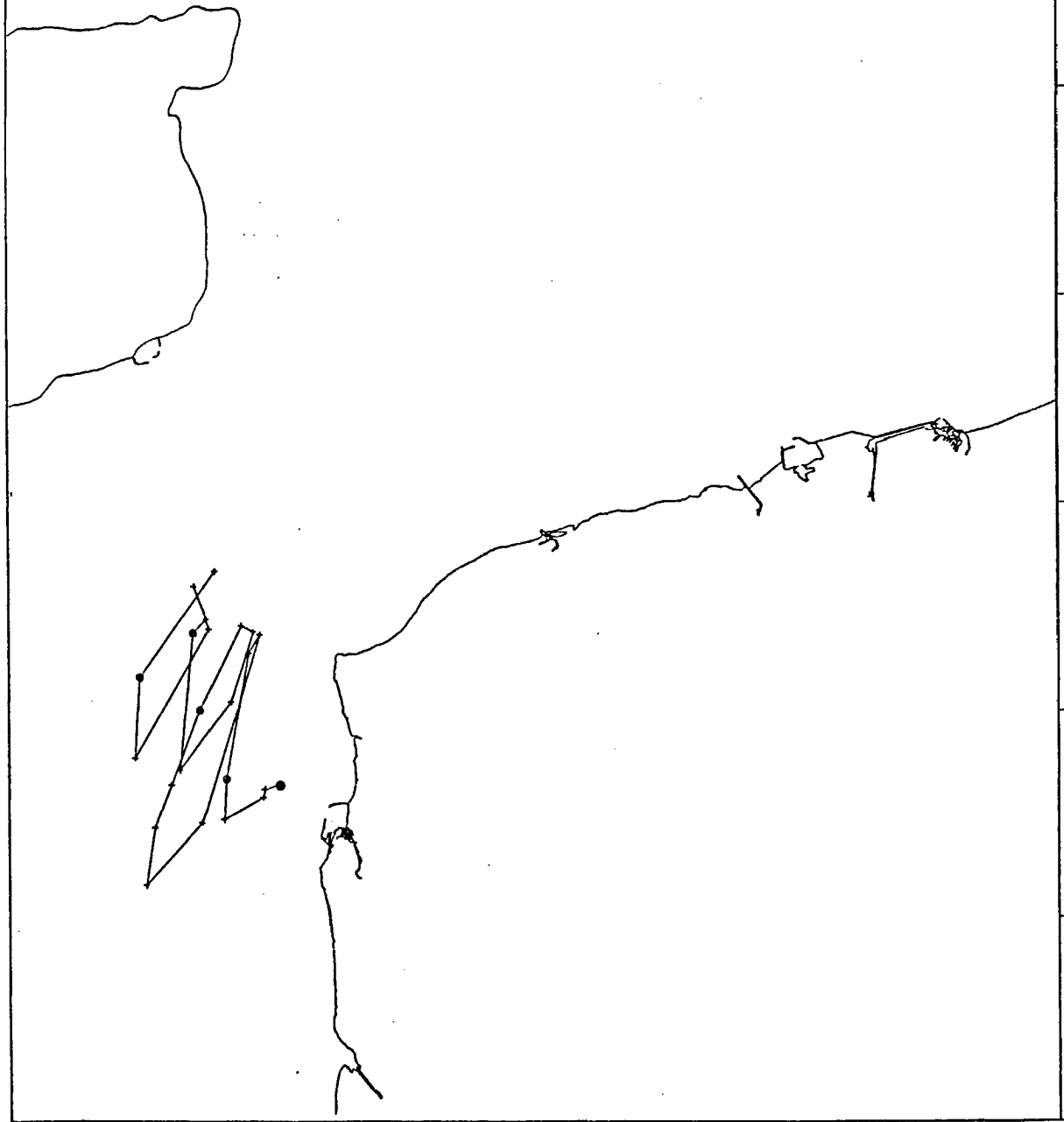
N51

N50.30



E1.10 E1.20 E1.40 E2 E2.20 E2.30

BOUEE N2149 ANNEE : 87



N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30

E1.10

E1.30

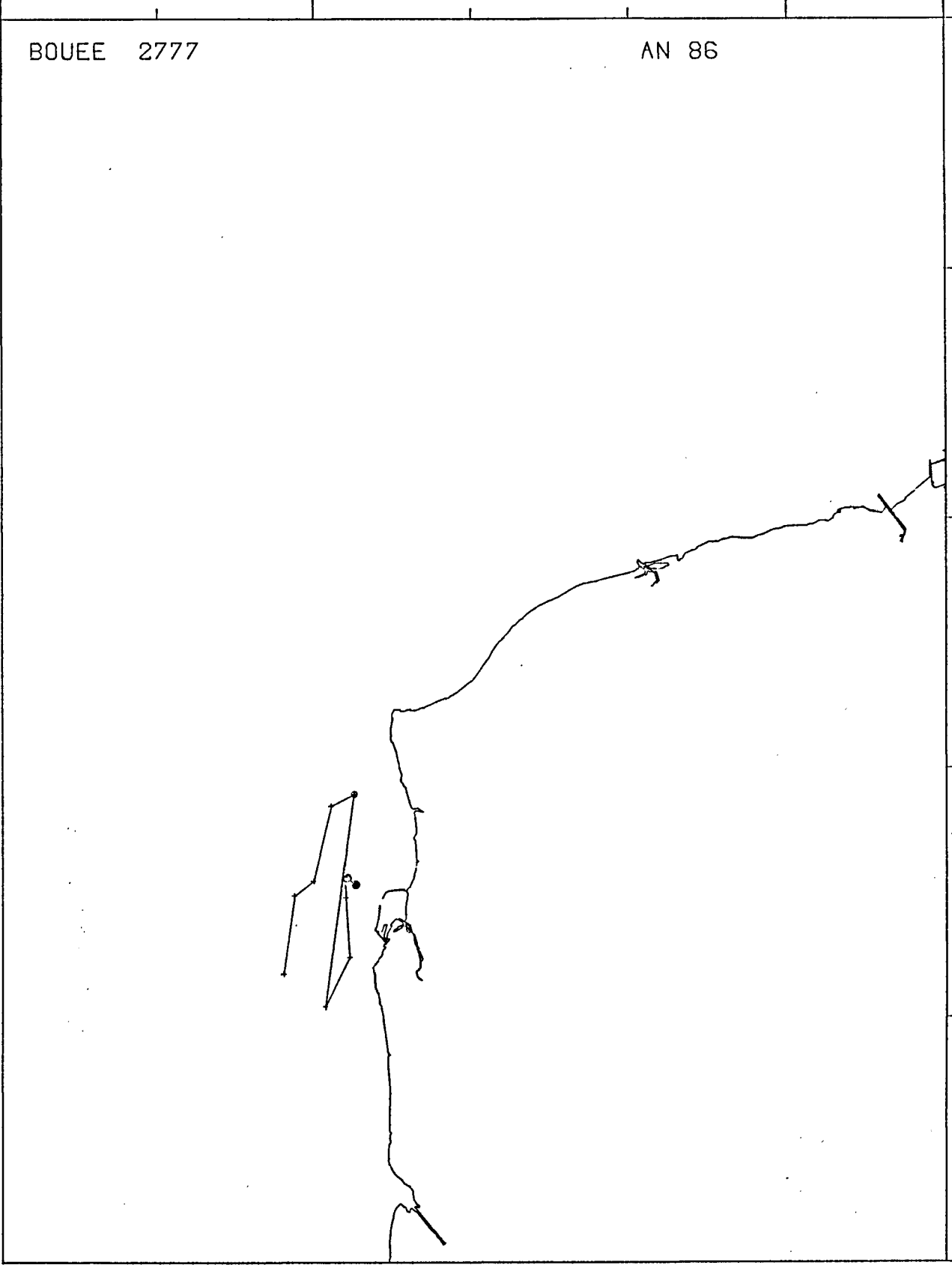
E2

E2.10

N51.20

BOUEE 2777

AN 86



N51

N50.30

E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2777

ANNEE : 87

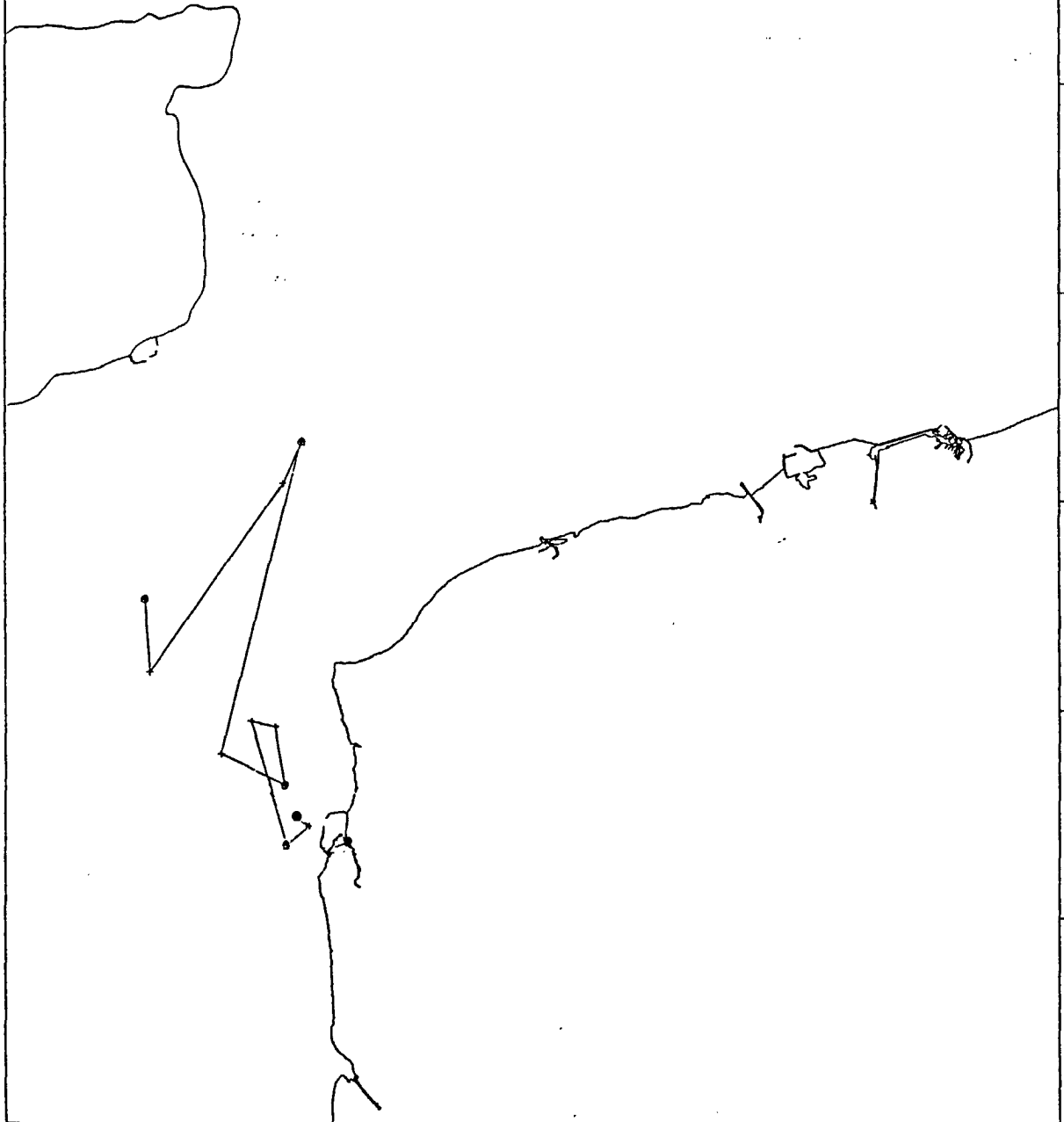
N51.4

N51.20

N51

N50.40

N50.30



E1.10

E1.30

E2

E2.10

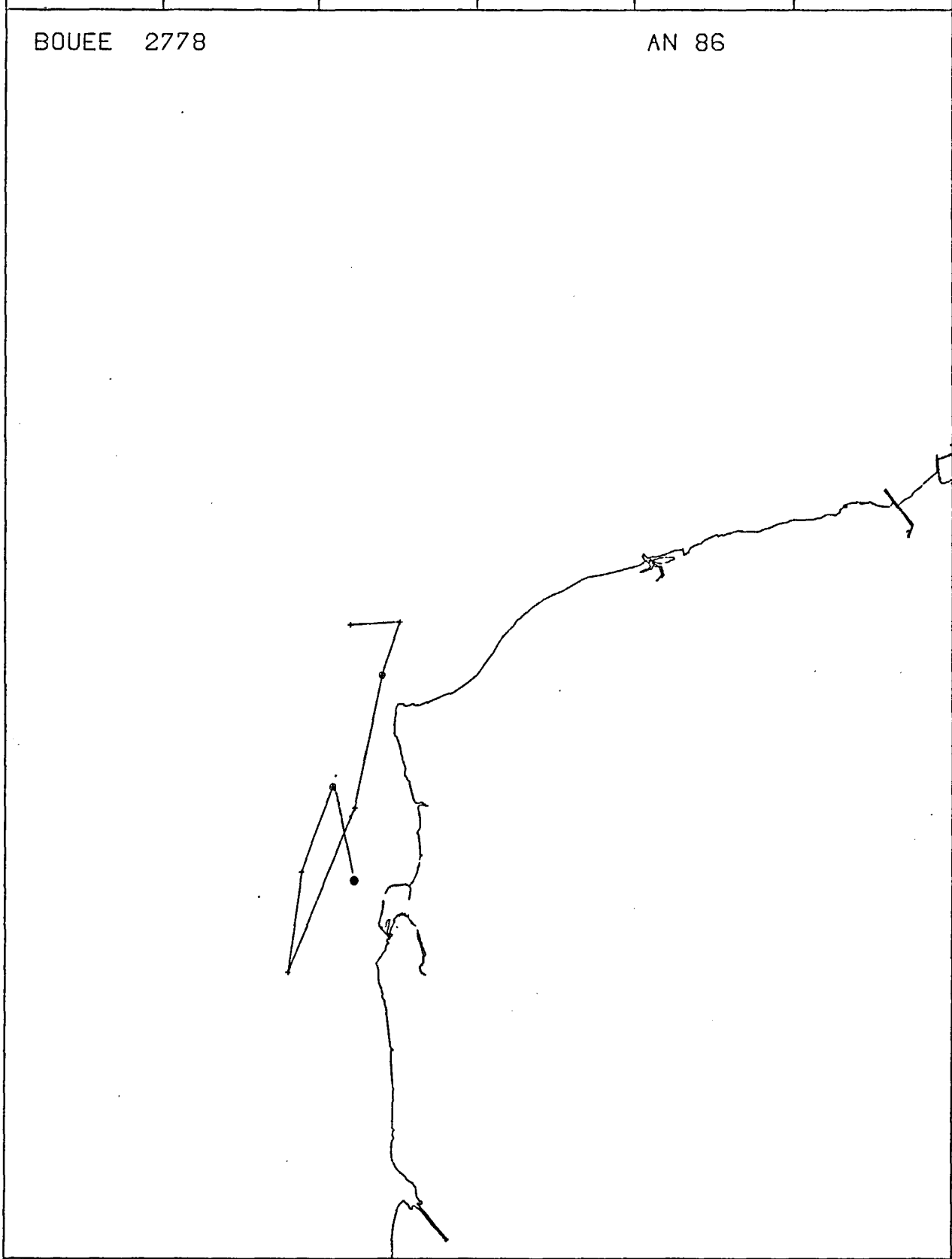
BOUEE 2778

AN 86

N51.20

N51

N50.30



E1.10

E1.20

E1.40

E2

E2.20

E2.30

BOUEE N2778

ANNEE : 87

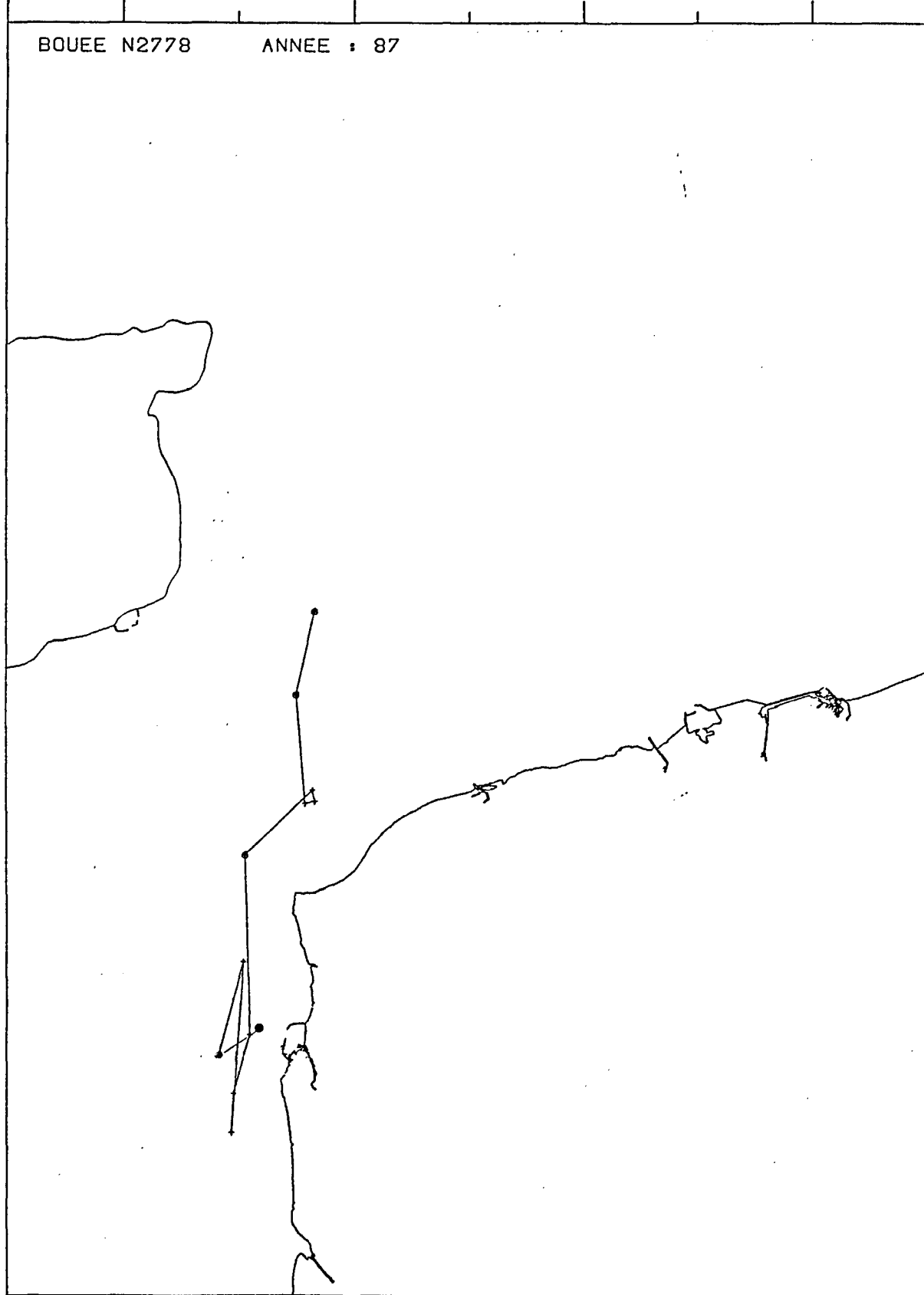
N51.40

N51.20

N51

N50.40

N50.30



Annexe 2 : POSITIONS GEOGRAPHIQUES SUCCESSIVES
 DES BOUEES "ARGOS" UTILISEES

légende (en-têtes par colonnes);

Numéro des bouées / Jour / Heure T.U. / Latitude / Longitude
 Nord Est

N.B.: Les latitudes et longitudes sont exprimées en degrés et
 millièmes de degré.

POSITIONS GEOGRAPHIQUES DES BOUEES LACHEES DEVANT BOULOGNE SUR MER
(Campagne "BOULOGNE 1987")

2144	166	13	14	5C.780	1.527
	166	14	55	5C.844	1.552
	166	19	16	5C.937	1.573
	166	20	57	5C.899	1.497
	167	7	30	5C.987	1.518
	167	9	8	5C.947	1.505
	167	10	47	5C.860	1.430
	167	13	1	5C.795	1.382
	167	16	23	5C.863	1.432
	167	20	34	5C.916	1.479
	168	4	45	5C.971	1.477
	168	8	46	51.C55	1.577
	168	16	14	5C.921	1.407
	169	19	50	51.C39	1.510
	170	4	21	51.C65	1.518
	170	5	59	51.141	1.597
	170	14	12	51.218	1.699
	170	15	52	51.162	1.616
	170	17	50	51.171	1.625
	170	19	29	51.212	1.679
	170	21	11	51.263	1.715
	171	5	49	51.204	1.657
	171	7	41	51.252	1.744
	171	10	59	51.304	1.806
	171	15	43	51.206	1.687
	171	17	29	51.165	1.651
	171	19	7	51.184	1.673
	171	20	49	51.220	1.726
	172	5	38	51.241	1.753
	172	8	57	51.306	1.841
	172	10	37	51.341	1.873
	172	15	33	51.318	1.885
	172	17	6	51.272	1.847
	172	20	28	51.272	1.372
	173	2	6	51.370	1.957
	173	5	28	51.331	1.928
	173	8	37	51.334	1.916

2146	166	20	58	5C.868	1.487
	167	7	28	5C.989	1.545
	167	9	8	5C.949	1.525
	167	14	42	5C.812	1.412
	167	16	25	5C.845	1.404
	167	20	36	5C.957	1.469
	168	3	2	5C.873	1.434
	168	6	19	51.C33	1.615
	168	7	7	51.C26	1.593
	168	8	45	51.C36	1.591
	168	10	26	5C.985	1.505
	168	16	15	5C.852	1.405
	169	10	5	51.123	1.590
	170	5	59	51.129	1.640
	170	14	10	51.251	1.754
	171	5	49	51.211	1.662
	171	9	20	51.277	1.779
	171	15	40	51.207	1.667
	171	19	9	51.196	1.699
	172	2	15	51.255	1.823
	172	9	0	51.319	1.832
	172	10	37	51.312	1.766
	173	5	28	51.334	1.953
	173	8	39	51.350	1.960
	173	8	42	51.359	2.152

2145	166	11	34	5C.775	1.487
	166	13	12	5C.786	1.529
	166	14	55	5C.843	1.550
	166	16	36	5C.903	1.571
	166	17	34	5C.930	1.583
	166	19	16	5C.937	1.582
	166	20	58	5C.896	1.495
	167	3	12	5C.502	1.474
	167	4	51	5C.978	1.520
	167	6	31	51.C03	1.555
	167	7	27	51.C01	1.550
	167	9	8	5C.950	1.505
	167	10	46	5C.865	1.426
	167	13	2	5C.806	1.380
	167	14	41	5C.820	1.398
	167	16	27	5C.872	1.432
	168	3	0	5C.888	1.433
	168	6	21	51.C39	1.557
	168	7	6	51.C45	1.575
	168	8	48	51.C52	1.579
	168	10	26	51.C22	1.537
	168	16	12	5C.921	1.399
	169	6	10	51.C78	1.539
	169	8	25	51.130	1.610
	169	10	4	51.129	1.611
	169	18	11	5C.975	1.442
	170	4	19	51.C33	1.494
	170	6	1	51.C99	1.587
	170	9	41	51.207	1.729
	170	14	11	51.141	1.652
	170	15	53	51.C94	1.560
	170	19	30	51.148	1.629
	171	4	9	51.139	1.632
	171	7	38	51.194	1.696
	171	9	22	51.237	1.736
	171	11	0	51.252	1.770
	171	15	42	51.146	1.623
	171	17	29	51.107	1.587
	171	19	5	51.116	1.593
	171	20	49	51.172	1.666
	172	5	39	51.172	1.677
	172	7	19	51.195	1.744
	172	9	0	51.244	1.803
	172	10	39	51.279	1.841
	172	13	49	51.297	1.883
	172	15	32	51.264	1.839
	172	17	6	51.228	1.789
	172	20	27	51.227	1.814
	173	2	5	51.323	1.915
	173	5	28	51.279	1.866
	173	8	38	51.298	1.870
	173	10	16	51.340	1.923

2147	166	11	7	5C.750	1.536
	166	11	35	5C.744	1.573
	166	13	15	5C.794	1.555
	166	14	55	5C.879	1.561
	166	17	37	5C.938	1.646
	166	19	17	5C.931	1.607
	166	20	57	5C.889	1.500
	167	4	52	5C.977	1.536
	167	7	30	5C.992	1.568
	167	10	47	5C.860	1.445
	167	13	3	5C.794	1.376
	167	16	24	5C.863	1.432
	167	17	14	5C.873	1.435
	168	3	1	5C.875	1.453
	168	7	9	51.C25	1.590

2148	166	17	35	5C.770	1.509
	166	19	17	5C.758	1.481
	167	7	30	5C.870	1.476
	167	9	6	5C.806	1.470
	167	10	46	5C.720	1.421
	167	20	38	5C.803	1.424
	168	6	21	5C.947	1.520
	168	8	48	5C.962	1.530
	168	12	53	5C.808	1.398
	169	4	28	5C.885	1.397
	169	6	10	5C.951	1.444
	169	8	25	5C.989	1.478
	169	10	3	5C.986	1.475
	169	18	10	5C.914	1.363
	169	19	51	5C.945	1.409
	170	8	4	5C.275	6.179
	170	15	53	51.060	1.484
	171	11	0	51.248	1.703
	171	12	21	51.215	1.657
	171	14	0	51.168	1.635
	171	15	42	51.103	1.516
	171	17	27	51.064	1.480
	171	20	48	51.094	1.532
	172	8	59	51.195	1.639
	172	10	39	51.252	1.689
	172	15	31	51.236	1.663
	172	17	6	51.183	1.626
	172	20	28	51.183	1.646

2149	166	17	37	5C.763	1.492
	166	19	16	5C.757	1.490
	166	20	57	5C.739	1.441
	167	3	10	5C.772	1.443
	167	6	32	5C.873	1.472
	167	7	27	5C.888	1.486
	167	10	46	5C.736	1.413
	167	13	4	5C.686	1.341
	167	16	26	5C.732	1.352
	167	20	36	5C.767	1.373
	168	4	37	5C.827	1.410
	168	7	7	5C.895	1.463
	168	8	44	5C.890	1.473
	168	10	27	5C.834	1.449
	168	16	14	5C.779	1.384
	169	6	11	5C.889	1.401
	169	6	47	5C.900	1.413
	169	8	26	5C.927	1.402
	169	10	5	5C.892	1.421
	169	12	41	5C.789	1.327
	170	4	19	5C.854	1.333
	170	6	24	5C.939	1.429

2777	166	17	37	5C.741	1.549
	167	9	6	5C.726	1.521
	167	17	14	5C.825	1.478
	167	20	35	5C.821	1.507
	168	3	0	5C.774	1.519
	168	16	13	5C.799	1.440
	169	8	23	51.048	1.541
	169	10	3	51.015	1.518
	169	18	10	5C.865	1.350
	170	2	41	5C.923	1.344

2778	167	3	13	5C.723	1.473
	167	6	29	5C.809	1.508
	167	13	3	5C.652	1.490
	167	14	41	5C.688	1.494
	167	16	26	5C.742	1.517
	168	4	42	5C.907	1.511
	168	6	22	5C.966	1.608
	168	7	7	5C.956	1.612
	168	8	47	5C.954	1.597
	169	10	4	51.054	1.585
	170	14	10	51.130	1.612

POSITIONS GEOGRAPHIQUES DES BOUEES LACHEES DEVANT CALAIS
(Campagne "CALAIS 1987")

2144	174	3	37	51.025	1.997	2145	174	6	37	51.010	1.915
	174	5	18	51.015	1.951		174	6	56	51.009	1.905
	174	6	36	51.009	1.915		174	9	56	51.033	2.017
	174	6	57	51.021	1.931		174	13	28	51.044	2.085
	174	9	55	51.034	2.020		174	15	9	51.046	2.054
	174	13	28	51.043	2.084		174	16	51	51.042	1.978
	174	15	8	51.043	2.047		174	19	44	51.022	1.879
	174	19	43	51.013	1.870		175	6	15	51.083	1.977
	175	3	27	51.097	2.091		175	16	40	51.145	2.013
	175	5	5	51.080	2.055		175	17	39	51.124	1.988
	175	7	58	51.050	2.046		175	19	22	51.091	1.931
	175	9	34	51.076	2.025		176	3	12	51.164	2.065
	175	13	18	51.118	2.152		176	4	56	51.156	2.032
	176	3	13	51.151	2.149		176	9	11	51.105	1.909
	176	4	56	51.149	2.135						

2146	173	16	46	51.000	1.806	2148	173	18	24	51.080	1.773
	174	3	38	51.046	2.004		174	3	35	51.046	1.999
	174	6	35	51.037	1.872		174	11	48	51.078	2.024
	174	9	55	51.080	1.950		174	13	29	51.089	2.031
	174	13	28	51.092	2.021		174	16	51	51.086	1.916
	174	15	11	51.081	1.987		175	5	9	51.131	2.024
	174	18	3	51.059	1.821		175	7	54	51.089	1.949
	174	19	44	51.067	1.830		175	7	56	51.089	1.946
	175	3	25	51.146	2.016		175	17	42	51.149	2.057
	175	6	15	51.130	1.974		175	19	23	51.117	2.002
	175	9	35	51.099	1.905		175	21	3	51.094	2.002
	175	13	16	51.149	2.041		176	3	15	51.201	2.226
	175	14	58	51.172	2.067		176	4	58	51.188	2.217
	175	16	40	51.149	2.014		176	9	13	51.149	2.126
	175	17	40	51.165	1.963						
	176	3	15	51.200	2.134						
	176	4	55	51.216	2.085						
	176	7	31	51.162	1.987						
	176	9	12	51.128	1.903						