

ETUDE DE LA STABILITE DE L'ENROCHEMENT
DE PROTECTION DU CABLE IFA 2000 MW

par

G. YOUENOU - Y. MONBET

SOMMAIRE

Introduction	1
1. Matériels et méthodes	3
1.1. Réalisation des films	3
1.2. Positionnement	5
1.3. Visualisation	5
2. Caractéristiques générales de la zone étudiée	5
2.1. Cadre géologique	5
2.2. Géomorphologie	6
2.3. Les courants	6
2.4. Les houles	10
2.5. Les sédiments	12
2.6. Caractéristiques biologiques	13
2.7. Résultats	16
3. Conclusion	22
Annexes	25

INTRODUCTION

Dans le cadre de la réalisation de l'interconnexion électrique entre la France et l'Angleterre de 2000MW, désignée par I.F.A. 2000 MW, un ouvrage de protection par enrochement d'une réparation de câble sous-marin a été réalisé pour le compte d'E.D.F. (figure 1).

Cette intervention effectuée au printemps 1985, se situe sur la route 4 au large de Sangatte (figure 2).

Les cailloux constituant la carapace de l'enrochement proviennent de la carrière du Boulonnais et de celle de la Vallée Heureuse où ils ont été obtenus par concassage et triage au calibre de 90/200 mm.

En 1986, les marins pêcheurs de Calais ont signalé qu'ils ramenaient dans leurs filets (trémails) des cailloux épars provenant des enrochements. D'après les pêcheurs il s'agirait de 300 tonnes de cailloux épars étalés sur une superficie de 40 hectares située au Sud du talus d'enrochements.

En juin 1986, à l'occasion d'une reconnaissance visuelle par sous-marin, des observations ont pu être effectués par A. RICHARD de la Station Biologique de Wimereux. Les conclusions de cette étude sont exposées ci-dessous :

- "le colmatage des blocs de pierre par du sable est pratiquement réalisé dans toute la zone. On n'observe plus qu'une "dune" de sable où l'on discerne les surfaces ou quelques arêtes de blocs,

- à côté de ce talus, la sédimentation de particules fines est très forte. L'hétérogène envasé s'installe,

- d'un point de vue biologique, l'épifaune s'est réinstallée. Des bouquets d'hydriaires (Nemertesia antennina) de 15 à 20 cm de haut se dressent sur les blocs. Ces hydriaires présentent un encroûtement par de jeunes colonies d'Electra pilosa (bryzoaire). Quand au necton, dans la zone envasée nous avons pu observer des seiches communes à cette époque. Nous avons pu constater que le bruit de la chaîne motrice des roues du sous-marin chasse tout poisson : ceux-ci ne s'observent que lors des opérations de positionnement lorsque les moteurs de propulsion sont stoppés".

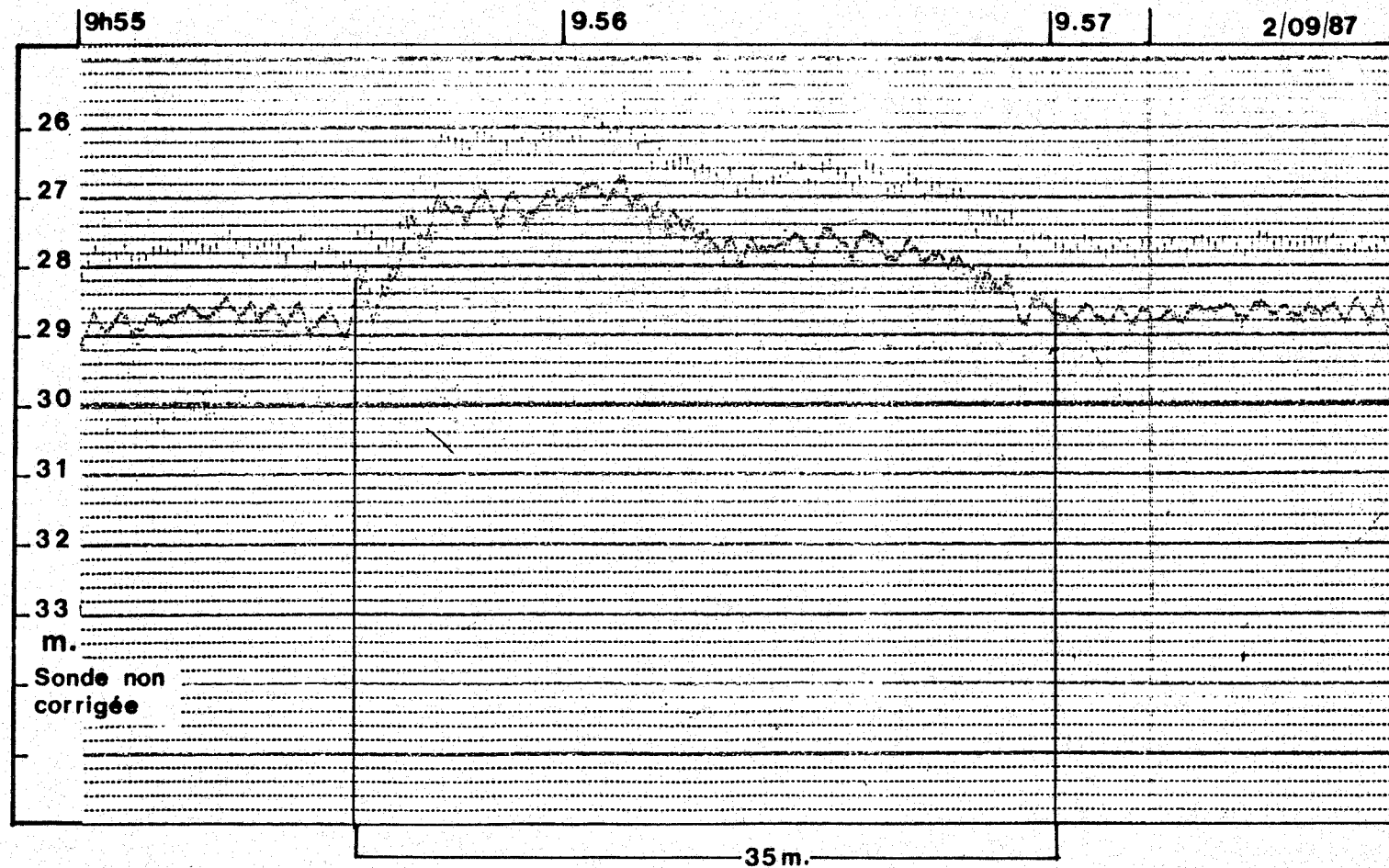


Fig. 1 COUPE BATHYMETRIQUE DE L'ENROCHEMENT DE PROTECTION

Le but de l'étude présentée ci-dessous consiste, à partir d'une couverture de la zone par photo vidéo sous-marine, à identifier et localiser, dans cette zone à forts courants de marée ($V_{max} = 2,8$ nd.), des cailloux ayant pu être arrachés à l'enrochement et éparpillés vers le Sud-Ouest, devenant ainsi une gêne pour la pêche dans ce secteur.

L'étude examinera en premier lieu les caractéristiques générales de l'aire de l'étude puis, dans un deuxième temps, détaillera le relevé des observations obtenues.

1. Matériels et méthode

La réalisation et la visualisation des films sous-marins nécessitent un matériel et une technique spécialisés qui sont brièvement exposés ci-dessous.

1.1. Réalisation des films

La caméra couleur utilisée pour les prises de vues est de la marque Osprey Electronics Limited ^(R), modèle 2330A. Ce matériel permet à la fois de réaliser des films vidéo (Système PAL) et prendre des clichés photographiques. L'objectif utilisé est un grand angulaire de 24 mm (F2,5) et l'angle de vision diagonale en immersion est de $65,07^\circ$.

Le fonctionnement de la caméra vidéo et de l'appareil de prise de vues photographiques est guidé depuis la surface par les unités de contrôle CYCLOPS ^(R) de 1210A et de 1211A. Les prises de vues vidéo sont enregistrées par un magnétoscope SONY ^(R) Vo.3800P. Type U.MATIC). Un dispositif permet d'enregistrer sur la bande magnétique la date exacte à la minute près, ainsi qu'un commentaire descriptif des images filmées.

L'ensemble photographique (caméra + éclairage) est monté sur un bâti rigide qui protège les instruments des chocs éventuels avec le fond, les rochers ou les épaves, ou encore la coque du bateau lors de la mise à l'eau ou de la remontée. Le bâti est soutenu depuis la surface par un câble et il est muni d'une dérive permettant l'orientation de l'ensemble de façon appropriée. La distance minimale entre le fond et l'objectif est de 40 centimètres lorsque le bâti est posé et la caméra orientée verticalement.

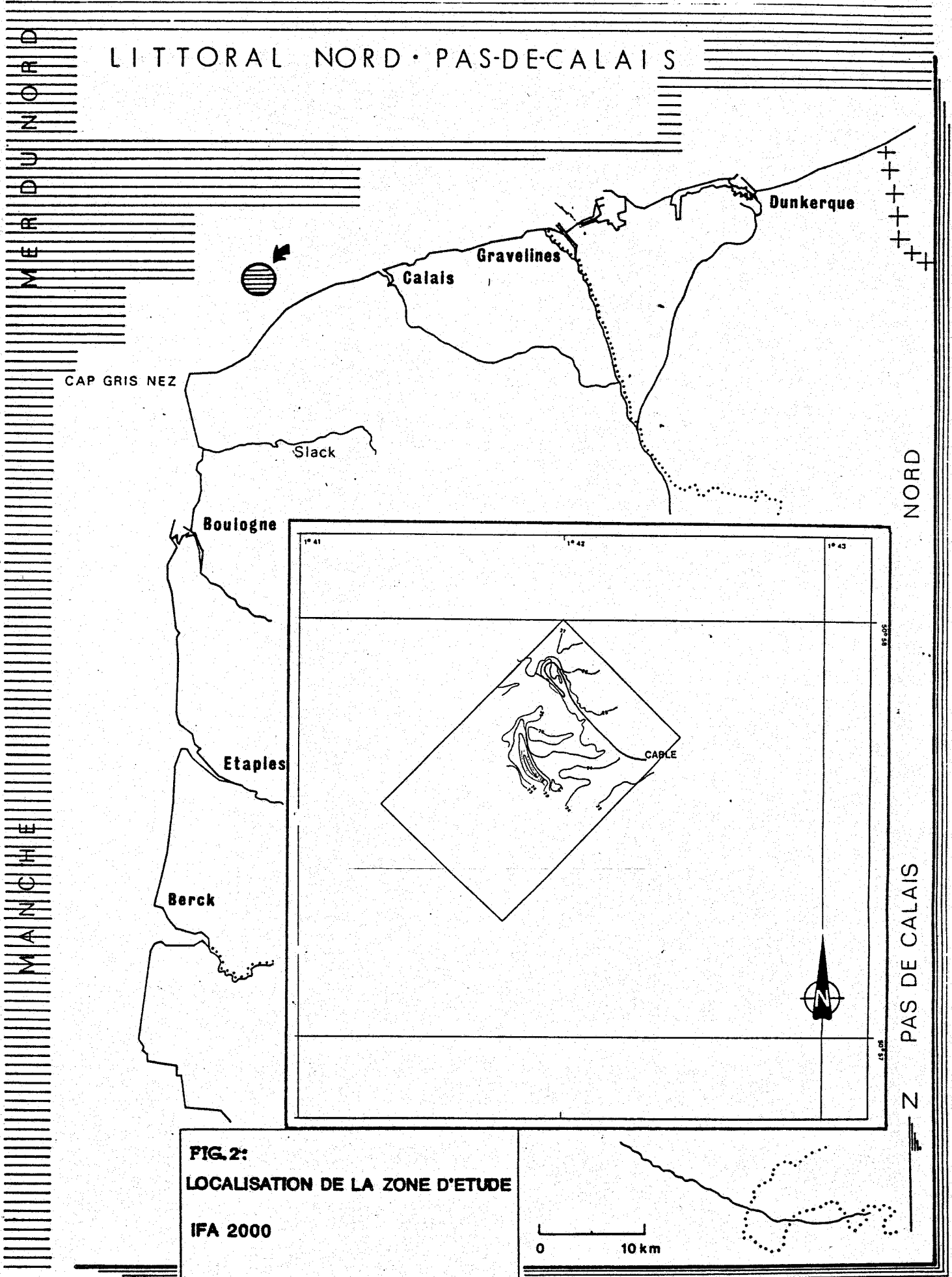


FIG. 2:
LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE
IFA 2000

Au cours des prises de vues, l'ensemble bâti caméra est mis à l'eau et maintenu le plus près possible du fond eu égard aux mouvements alternativement ascendants et descendants dus à la houle.

Le trait vidéo est assuré par la dérive due aux courants ou/et au vent. La qualité de l'image est d'autant meilleure que :

- la dérive de l'embarcation est lente ($< 0,8$ noeuds),
- la houle faible,
- la trajectoire de la caméra parallèle au fond.

1.2. Positionnement

Afin d'assurer une interprétation correcte des images recueillies, il est indispensable de posséder un système de positionnement précis. A cet effet, l'embarcation a été équipée d'un système de radio localisation SYLEDIS^(R) SRIII permettant de connaître la position exacte du bateau à tout moment. Il s'agit d'un appareil qui permet la mesure des distances entre un navire et des balises à terre à l'aide d'émissions d'ondes radio-électriques de haute fréquence. La précision de la mesure est de l'ordre du mètre.

1.3. Visualisation

Au retour, au laboratoire, les films vidéo enregistrés sur cassettes U.MATIC sont visionnés à l'aide d'un moniteur couleur et d'un magnétoscope permettant l'arrêt sur image, avance et retour rapides ou progressifs. La progression des images est contrôlée à la seconde près.

2. Caractéristiques générales de la zone étudiée

2.1. Cadre géologique

Jusqu'au cap Gris-Nez le secteur de côte est constitué de falaises affleurantes de l'ère secondaire (jurassique). Il s'agit essentiellement du Kimmeridgien (argiles, grès, sables calcaires). Le crétacé moyen (Albien et Aptien) se rencontre du cap Blanc-Nez à Sangatte.

2.2. Géomorphologie

Sur la bordure littorale et l'estran, les falaises du Boulonnais font suite à la plaine picarde et s'étendent entre le cap d'Alprech au Sud et Sangatte au Nord.

Du cap d'Alprech au cap Gris-Nez, le littoral est sensiblement d'orientation Sud-Nord et est constitué par une falaise accore. La côte change ensuite d'orientation au Nord du cap Gris-Nez et elle est sensiblement Sud-Ouest - Nord-Est jusqu'à Sangatte. La falaise est accore lorsqu'elle borde la mer et elle culmine à l'altitude de 20 - 25 m au droit du site étudié.

En règle générale, on retrouve un estran du même type que celui rencontré devant les falaises cauchoises : platier rocheux de 500 à 700 m. Devant Sangatte, l'estran sableux est assez large (400 à 500 m).

La pente des fonds marins augmente de Boulogne vers le cap Gris-Nez : les fonds de - 10 m se trouvent respectivement à 1000 m et 500 m du littoral. Au Nord du cap Gris-Nez on pénètre dans une zone où les ridens sont très développés et il faut aller à plus de 3 km de la côte pour trouver les fonds de 10 m. Au droit du site étudié, les fonds de 20 m se trouvent à plus de 2 km du littoral.

2.3. Les courants

D'une manière générale, l'intensité des courants augmente vers le Pas-de-Calais en raison du rétrécissement de la section d'écoulement de l'eau mais les **caractéristiques des courants varient d'un point à l'autre en fonction de la disposition des bancs de sable**. On distingue :

- la dérive Nord Atlantique : elle induit en Manche un courant général portant vers l'Est qui atteint 2,7 milles par jour (5 km/j),

- les courants de marée (figure 3) : immédiatement à l'Ouest du cap Blanc-Nez, le courant du large est pratiquement alternatif. Assez loin des bancs, le flot portant au Nord-Est et le jusant au Sud-Ouest ont une durée sensiblement égale et leur vitesse peut approcher 3 noeuds.

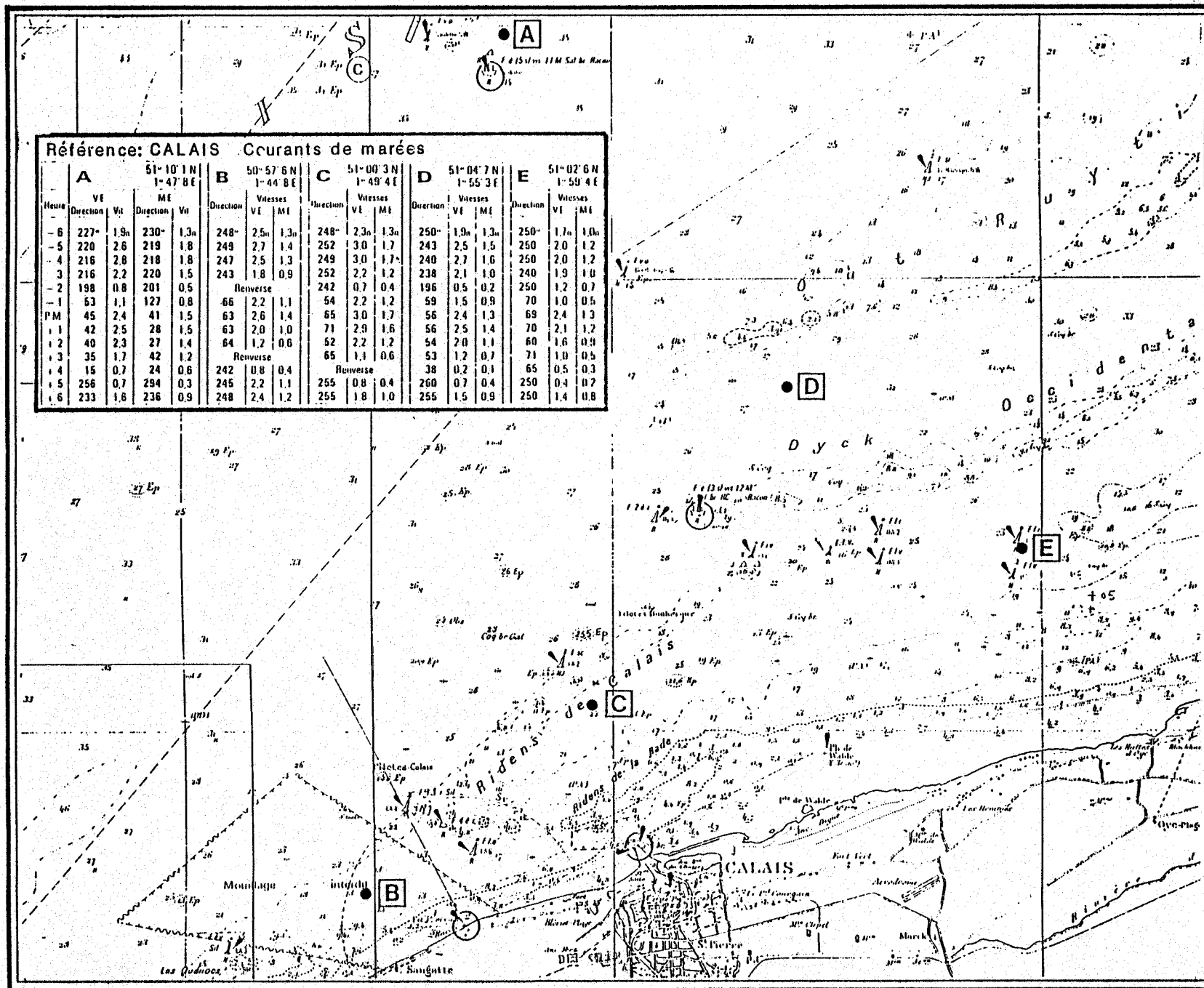


Fig. 3 - COURANTS DE MAREES- (source EPSHOM - carte n° 6651)

Les courants tournent légèrement en sens inverse des aiguilles d'une montre. Le flot porte au Nord-Est et il est plus court et plus intense que le jusant qui porte au Sud-Ouest. Les vitesses maxima en vive eau moyenne vont de 0,8 m/s à 1,5 m/s selon que l'on est sur les bancs (0,8 m/s) ou dans les chenaux (1,5 m/s). En morte eau, les vitesses restent inférieures à 0,8 m/s.

La répartition des vitesses décroît de part et d'autre de l'axe central de la Manche. Au niveau du fond, la vitesse des courants de surface est sensiblement réduite de moitié.

2.3.1. Les courants au voisinage de Calais (figure 4)

- Intensité

Plus on remonte dans le Pas-de-Calais, plus l'intensité des courants augmente, mais dès que disparaît l'effet d'étranglement du Pas-de-Calais, les vitesses décroissent. C'est ainsi que devant Boulogne la vitesse du courant de flot atteint $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ (3 noeuds) en vive eau et plus d' 1 m.s^{-1} en morte eau. Devant Calais (station C) la vitesse du courant de flot en vive eau atteint $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ (3 noeuds) à pleine mer et 3 noeuds également au cours du jusant. En morte eau la vitesse maximum enregistrée est de 1,7 noeud. Au large de Sangatte (station B) par 13 m de fond, les courants sont légèrement moins intenses :

Vive eau : 2,8 noeuds à PM Cap 216
 2,5 noeuds à PM + 1 Cap 42

Morte eau : 1,8 noeud à PM - 4 Cap 247
 1,5 noeud à PM + 1 Cap 63

(1 noeud = $0,5 \text{ m.s}^{-1}$)

- Orientation

Au large de Sangatte et Calais, les courants de flot et de jusant sont à peu près diamétralement opposés. Le courant de flot porte au Nord-Est (Cap 60) et le courant de jusant au Sud-Ouest (Cap. 245). Le passage du flot au jusant se fait avec annulation de l'intensité du courant. Les courants de marée sont alternatifs.

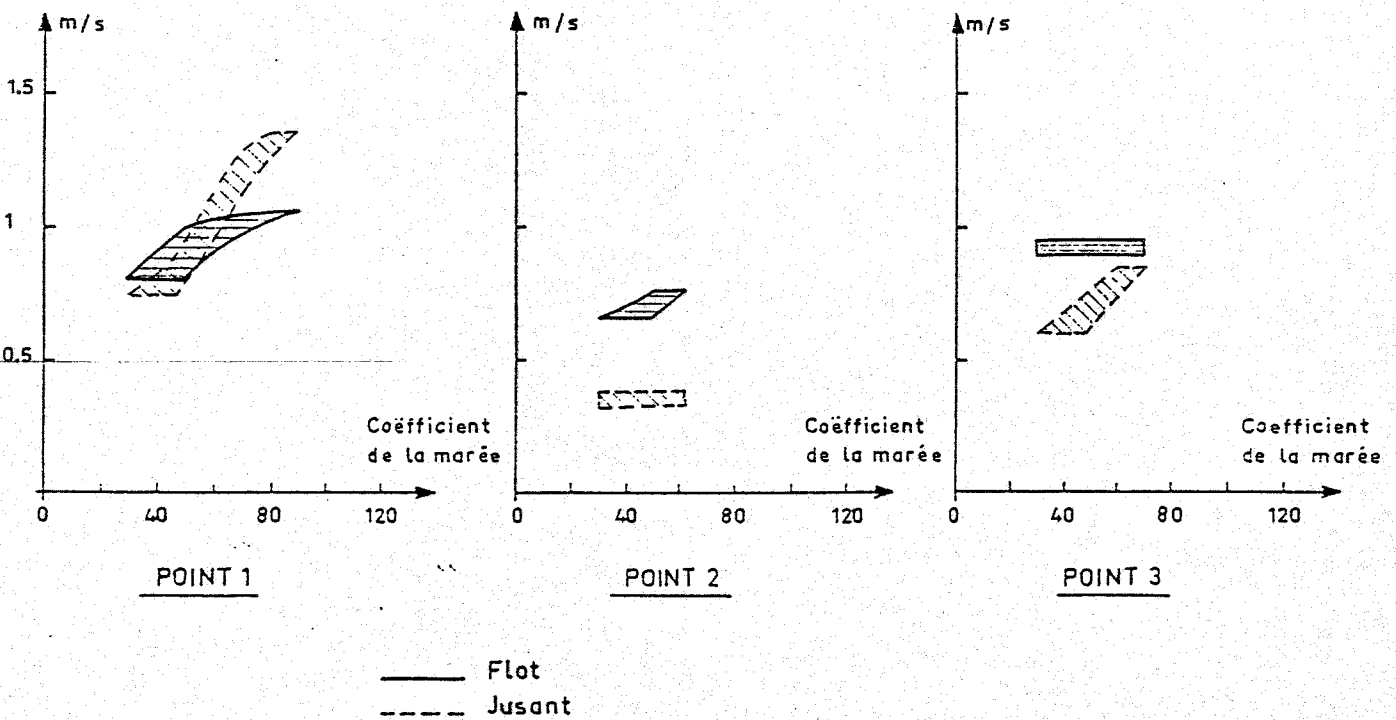
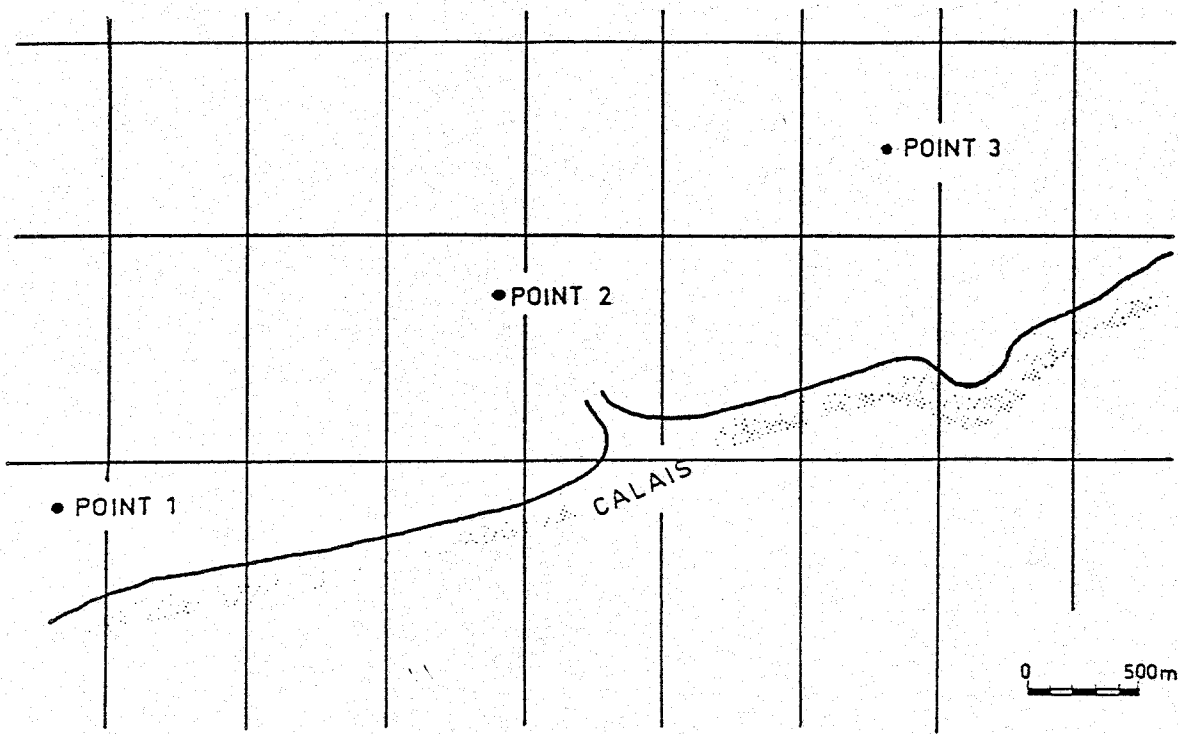


Fig.4

INTENSITE DES COURANTS EN FONCTION DU COEFFICIENT DE LA MAREE DEVANT CALAIS (LNH)

- Influence du coefficient de marée

L'augmentation du coefficient de marée se traduit généralement par une augmentation des vitesses de flot et de jusant, mais cette variation est différente selon les sites étudiés.

Devant Calais, trois points ont été étudiés (in Catalogue Sédimentologique des Côtes de France). La figure 4 résume l'essentiel des résultats obtenus. Au droit de Sangatte, on constate que la variation du coefficient de marée influence surtout la vitesse des courants de jusant qui passent de $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ pour un coefficient de 30 à $1,35 \text{ m.s}^{-1}$ pour un coefficient voisin de 80. La vitesse des courants du flot est nettement moins influencée ($V_{\text{max}} = 1,0 \text{ m.s}^{-1}$ - Coeff. 80) par le coefficient de marée.

2.4. Les houles (figure 5)

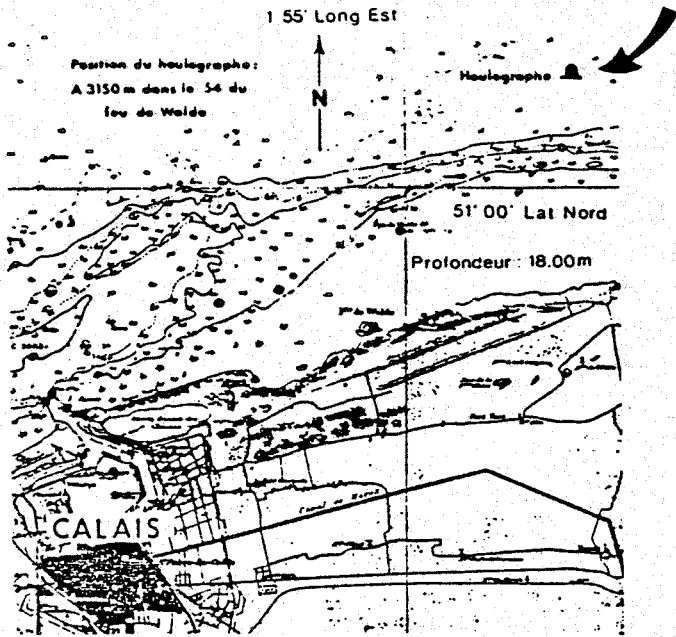
La houle joue un rôle important dans le domaine du transport des sédiments. Elle provoque des mouvements dans le profil des plages avec remise en suspension des sédiments fins, et attaque le rivage lorsqu'elle est forte. En arrivant obliquement à la côte, elle induit des transports parallèlement au rivage qui peuvent conduire à des modifications importantes de la bathymétrie des fonds et du trait de côte.

2.4.1. Mer du vent (instructions nautiques)

Dans le Pas-de-Calais et ses abords, les observations annuelles donnent 75 % de jours où le creux est inférieur à 1,25 m, qu'il s'agisse de perturbations provenant de la Manche ou de la Mer du Nord. En automne et en hiver (novembre à mars) les mers peu agitées et les petites houles sont plus fréquentes.

2.4.2. Amplitude des houles à Calais

La hauteur de la houle croît du Sud vers le Nord. La hauteur maximum annuelle est de 4,3 m à Calais. Les hauteurs de houle maximum décennale et centennale sont respectivement égales à 5,9 m et 7,5 m.



PERIODE DU 22- 3-65 AU 28-10-66
118 JOURS D OBSERVATION - 40 JOURS DE CALME PLAT ($H_{max} < 0,25m$)
PERIODES ANALYSEES

22- 3-65 AU 9- 4-65	11- 5-66 AU 3- 6-66
8- 3-66 AU 7- 4-66	7- 7-66 AU 12- 7-66
8- 4-66 AU 11- 4-66	21- 9-66 AU 28-10-66

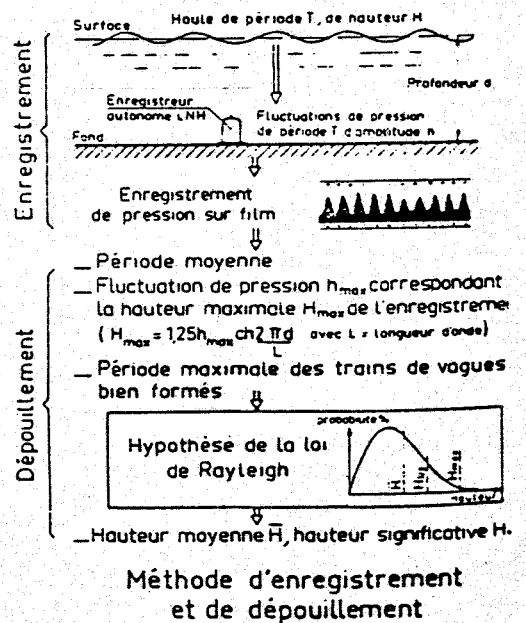
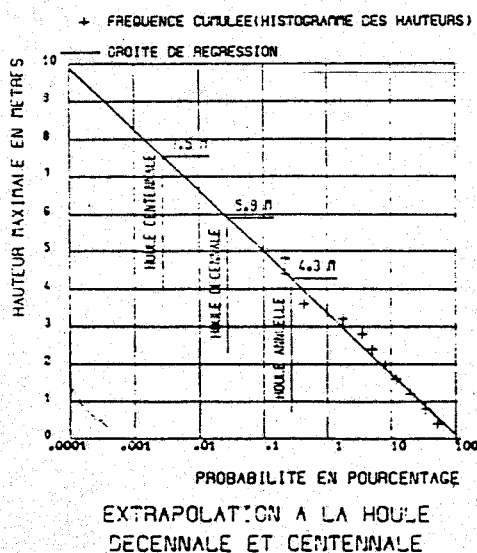
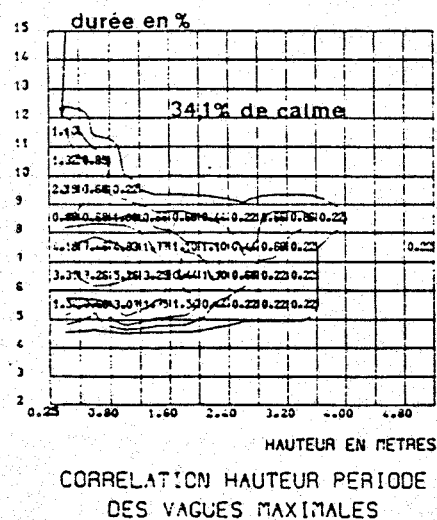
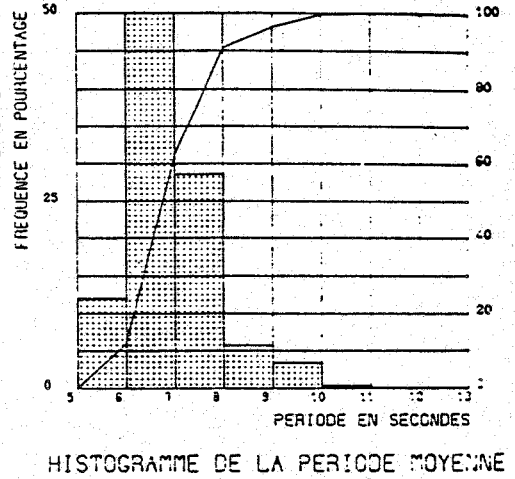
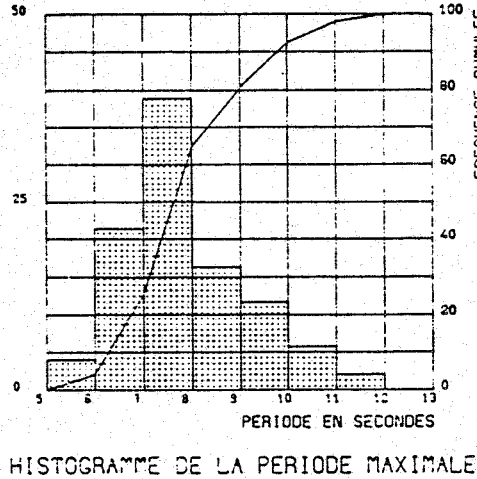
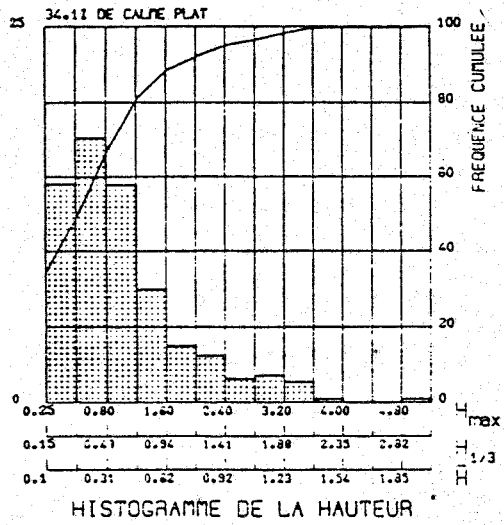


Fig. 5. STATISTIQUES DE LA HOULE MESUREE A : CALAIS

2.4.3. Période

Les périodes moyennes les plus fréquemment observées sont de l'ordre de 6 à 8 secondes.

2.4.4. Provenance des houles

Il existe dans le secteur de Dunkerque :

- une prédominance des houles provenant du Nord,
- une fréquence élevée des houles de secteur Nord-Ouest,
- une absence de houle de Nord-Est.

2.5. Les sédiments

2.5.1. Les fonds sous-marins

La distribution des sédiments de surface est liée à la répartition des vitesses maxima des courants de marée, elle-même conditionnée par le goulot qui constitue le Pas-de-Calais. Dans cet étranglement, les vitesses de courants sont particulièrement élevées. Les fonds y sont de nature caillouteuse dans la plus grande partie du détroit. Les dépôts de la zone côtière, alimentés par des apports "frais", se distinguent nettement des dépôts du large. Devant le port de Calais, les sédiments de surface sont constitués de 75 % à 95 % de sables fins dont le diamètre médian est compris entre 150 μ et 250 μ . La largeur moyenne de cette passée sableuse est de 3,7 km. Plus au large, s'étend une bande de graviers dont l'axe principal est parallèle à la côte. Sa largeur moyenne au droit de Sangatte est de 1,25 km. Au-delà des graviers, le fond est occupé par des blocs et des cailloutis dont la granulométrie est très hétérogène.

2.5.2. Matières en suspension (M.E.S.)

Les vases, de faible densité, sont transportées en suspension dans l'eau. Leur quantité est importante près des côtes et elle peut être estimée entre 10 et 20 mg/l. Mais cette proportion peut être très variable, et se modifier en fonction de la distance à la côte, mais aussi saisonnièrement (Apport solide des rivières en hiver). Dans les eaux du large, la teneur en matières en suspension est généralement inférieure à 2 mg/l.

Quelques observations sur le comportement in situ des suspensions ont été effectuées en juillet 1986 devant Sangatte dans la zone des câbles IFA 2000 (Ph. CLABAUT, comm. pers.) au cours d'opérations de dragage.

En période de jusant, les eaux sont colorées par les remises en suspension de sédiment carbonaté. Un panache blanchâtre s'étend à partir de la drague vers l'WSW parallèlement à la côte. Sa largeur est de 80 à 100 m. En période de flot, la masse turbide est plaquée à la côte et diluée ; au jusant suivant un autre panache se met en place.

2.6. Caractéristiques biologiques

2.6.1. Les peuplements benthiques (figure 6)

Les organismes benthiques sont représentés par les animaux et les végétaux qui vivent sur le fond de la mer ou à son voisinage immédiat.

Le benthos est composé d'organismes dont la taille est généralement supérieure à 1 mm, et il s'organise en assemblages variés appelés communautés benthiques. Ces communautés jouent un rôle très important dans le fonctionnement général des écosystèmes marins. En particulier, les invertébrés benthiques constituent la source privilégiée de nourriture de nombreux poissons d'espèces commerciales et de leurs juvéniles, ainsi que de beaucoup d'invertébrés tels que les crevettes, les crabes et les araignées.

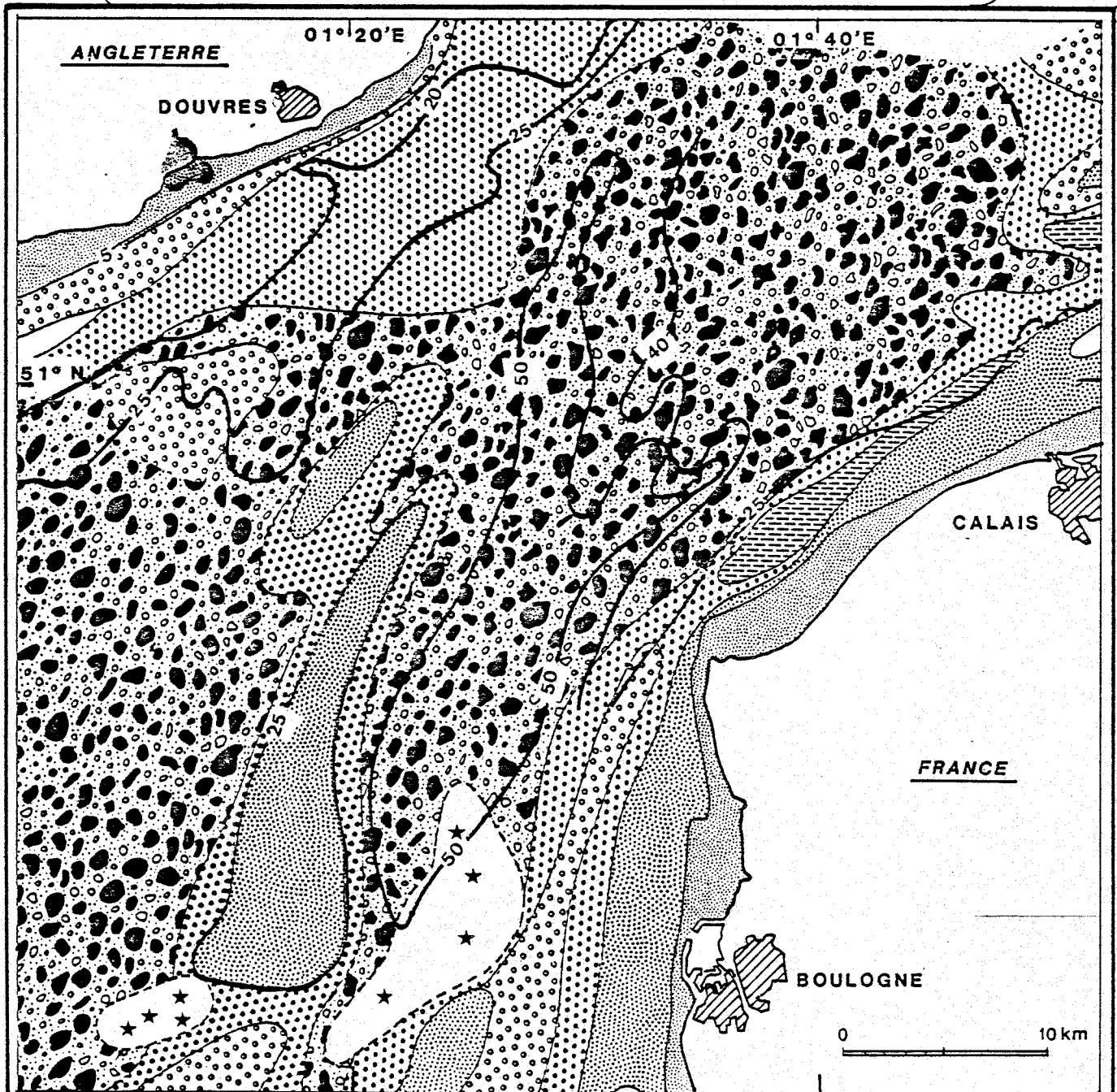
- Nature et distribution des peuplements benthiques

L'étude des peuplements benthiques de la région marine comprise entre Boulogne et Calais a été réalisée par CABIOCH et GLACON (1975) d'une part, et par SOUPLET et al (1980) d'autre part. L'essentiel des résultats présentés dans ce rapport provient donc de ces auteurs respectifs. Il faut noter que ces travaux restent essentiellement limités à une zone comprise entre la côte et les fonds de - 30 m.

Les résultats obtenus montrent l'existence, dans cette région, d'une série de 5 unités de peuplements dont la distribution est liée à la nature du substrat et à l'intensité des courants.

Fig 6

Distribution des peuplements benthiques



- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | Sables fins à <i>Abra alba</i> |  | Graviers et cailloutis à <i>Amphioxus</i> |
|  | Sables moyens à <i>Ophelia borealis</i> |  | Graviers et cailloutis à <i>Epibiose sessile</i>
Aspect caillouteux |
|  | Hétérogène envasé |  | Faciès à <i>Ophiotrix fragilis</i> |
|  | Graviers et cailloutis à <i>Epibiose sessile</i>
Aspect graveleux | | |

- Les peuplements des sables fins à *Abra alba* - *Donax vittatus*

Le ralentissement des courants au contact de la ligue de côte provoque le dépôt d'une bande de sables fins plus ou moins envasé le long de la plage, jusqu'à une profondeur d'environ 10 m.

Dans ce substrat, les espèces les plus souvent capturées sont *Abra alba*, *Lanice conchilega*, *Donax vittatus*, *Pectinaria koreni*. Ce peuplement occupe des zones qui prolongent jusqu'à une profondeur de - 10 m les plages du Pas-de-Calais.

La densité numérique du peuplement est toujours forte et parfois même très élevée (> 1000 ind./m²) ; la biomasse peut atteindre de 10 à 50 g/m² de poids sec.

- Le peuplement des sables moyens à *Ophelia borealis*

Ce peuplement est caractérisé par l'abondance numérique d'*Ophelia borealis*, *Nephtys cirrosa* et *Gastrosaccus spinifer*. Cet ensemble à densité de peuplement toujours faible (< 50 ind. par prélèvement) borde le peuplement précédent. Il a en outre tendance à occuper la majeure partie des grands bancs s'étendant dans le Pas-de-Calais. La biomasse est également faible et se situe généralement entre 1 et 2 g/m² de poids sec.

- Le peuplement des fonds de sables grossiers et de fins graviers propres

Il est caractérisé par la présence constante d'*Amphioxus lanceolatus*. Ce peuplement, qui en Manche-orientale peut se situer à proximité de la côte, est ici rejeté au large par le complexe des bancs côtiers. Il borde le peuplement des sables moyens à *Ophelia borealis*.

La densité des organismes qui composent ce peuplement est généralement faible puisqu'elle ne dépasse que très rarement 30 individus par prélèvement.

- Le peuplement de l'hétérogène envasé

Ce peuplement colonise un sédiment essentiellement constitué de graviers et de cailloutis mélangés à du sable. L'ensemble peut être selon les endroits plus ou moins envasés. Il présente un cortège original d'es-

pèces, constitué surtout par Sagartia sp. (anémone), Cerianthus lloydii, Owenia fusiformis, Ophiura albida. Cette communauté est localisée au fond des grandes dépressions et réalise également la transition entre les sables fins et les sédiments plus grossiers à l'Ouest de Calais. La densité des peuplements y est très élevée (de 500 à 1000 ind./prélèvement) et la biomasse peut osciller entre 20 et 30 g/m² de poids sec.

- Le peuplement des cailloutis et graviers à épibiose sessile

Sur les fonds grossiers du milieu du Pas-de-Calais, là où les courants sont les plus violents, s'établit un peuplement particulier, caractérisé par la présence d'une épifaune sessile dont l'importance croît avec le caractère caillouteux du sédiment. Cette épifaune est essentiellement constituée par des vers, des hydraires et des éponges.

A cette épifaune s'ajoute une petite faune fragile qui se déplace entre les cailloutis, dominée par la présence de petits crustacés (Ebalia tumefacta, Galathea intermedia) et de mollusques (Buccinum undatum, Gibbula cineraria, Caliostoma zizyphinum). Quelques échinodermes peuvent parfois s'y ajouter en nombre important comme Ophiotrix fragilis qui constitue par place des populations très denses bien connues aux abords du Pas-de-Calais. La densité de peuplement atteint 280 ind./m² mais la biomasse est relativement peu élevée (10 g/m² de poids sec).

2.7. Résultats

La figure 7 montre quelles ont été les routes suivies dans un rectangle d'un kilomètre de long sur 700 m de large au Sud-Ouest du câble réparé.

Ces radiales ont été réalisées sur deux journées, les 1er et 2 septembre 1987.

Les conditions de courant (vitesse, direction) ayant varié d'un jour sur l'autre, il a fallu adapter le programme de façon à pouvoir couvrir la zone le plus complètement possible sur ces deux journées. Il convient également de noter que les vitesses de courant élevées et la turbidité ont parfois nuit à la qualité des images filmées.

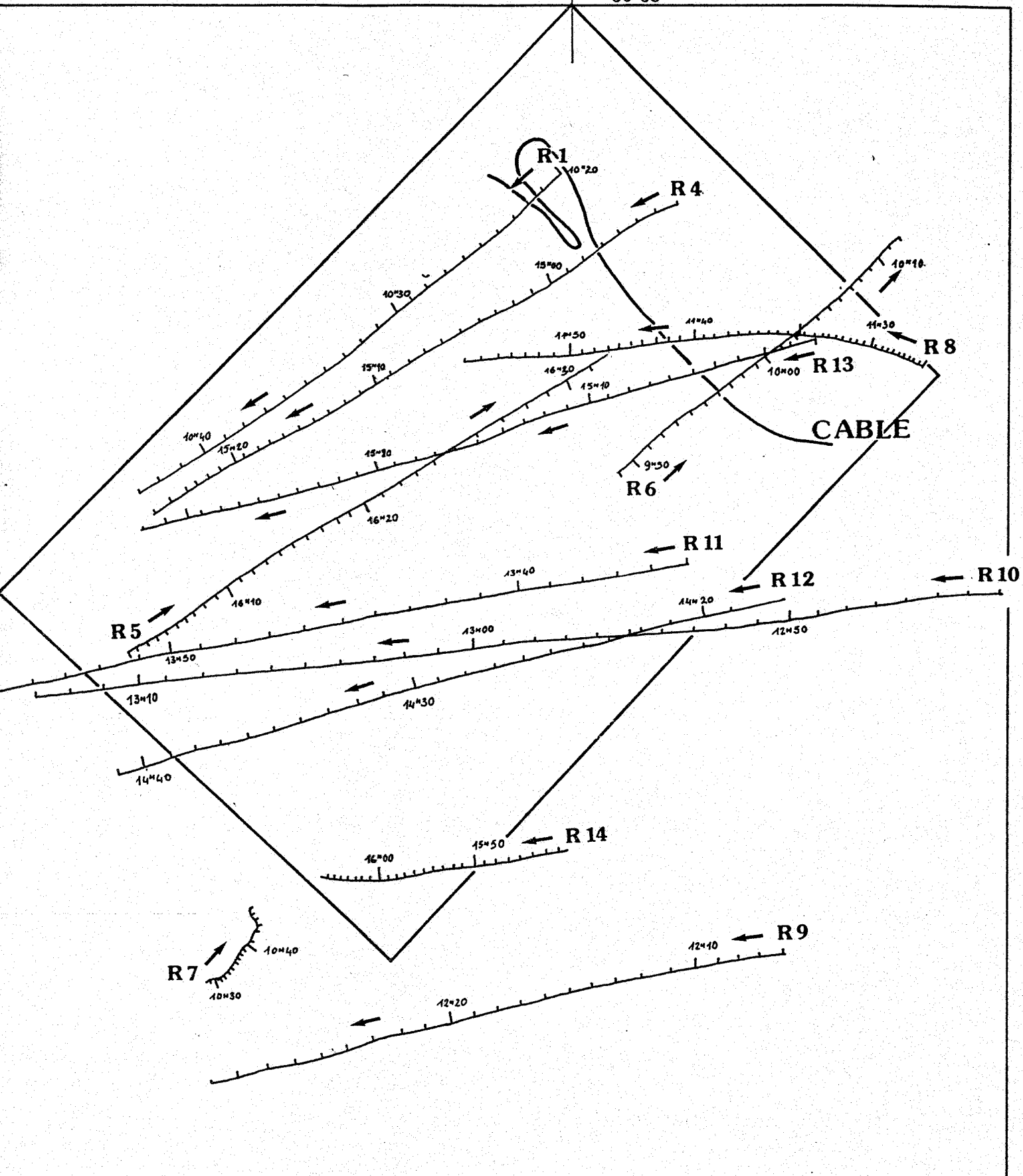
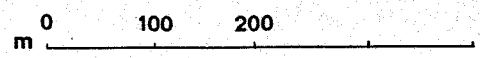


FIG. 7: TRAJETS VIDEO REALISES

NB: R2, R3: qualite image insuffisante



2.7.1. Aspects biosédimentaires de la zone explorée

Le report des observations sur les trajets correspondants a abouti à l'établissement d'une carte des faciès biosédimentaires du secteur exploré (figure 8). Cinq types de faciès ont été définis :

- l'hétérogène envasé,
- le sable grossier coquillier,
- le faciès mixte sable et cailloutis,
- les cailloutis,
- les affleurements rocheux.

L'hétérogène envasé est composé de particules fines : on observe une épifaune abondante, étoiles de mer en "tapis" d'une grande densité, des moules, des actinies (anémones de mer), des antennulaires (hydriaires), des crabes et des paguridés (Bernard-l'Hermite).

Il est à signaler que de nombreux carrelets ont été recensés dans ces zones sur les images filmées.

Trois secteurs présentant ces caractères ont pu être définis. Deux d'entre eux correspondent à des zones relativement abritées, comme le montre la carte.

Le sable grossier coquillier représente en superficie une part importante : composé de débris coquilliers, il y apparaît par endroits riche en bivalves (animaux vivants ou simples coquilles).

La "dune" que l'on trouve au milieu du secteur exploré appartient à ce faciès.

Le mélange sable et cailloutis est l'autre vaste unité sédimentaire de l'endroit. Les cailloutis y sont des galets de taille inférieure à 10 cm quelquefois assemblés en "taches" ou présent dans les rides à la surface du sable.

Au Nord-Est, nous avons pu observer une zone de cailloutis assez dense pour que nous la distinguions du faciès précédent. Composée de galets mais aussi de cailloux plus anguleux, elle s'étale vers le Sud-Ouest depuis le pied de l'enrochement qui protège la réparation du câble sous-marin. Du point de vue de leur taille, ces cailloux se présentent comme un mélange hétérogène à la surface de ce qui pourrait être un affleurement calcaire.

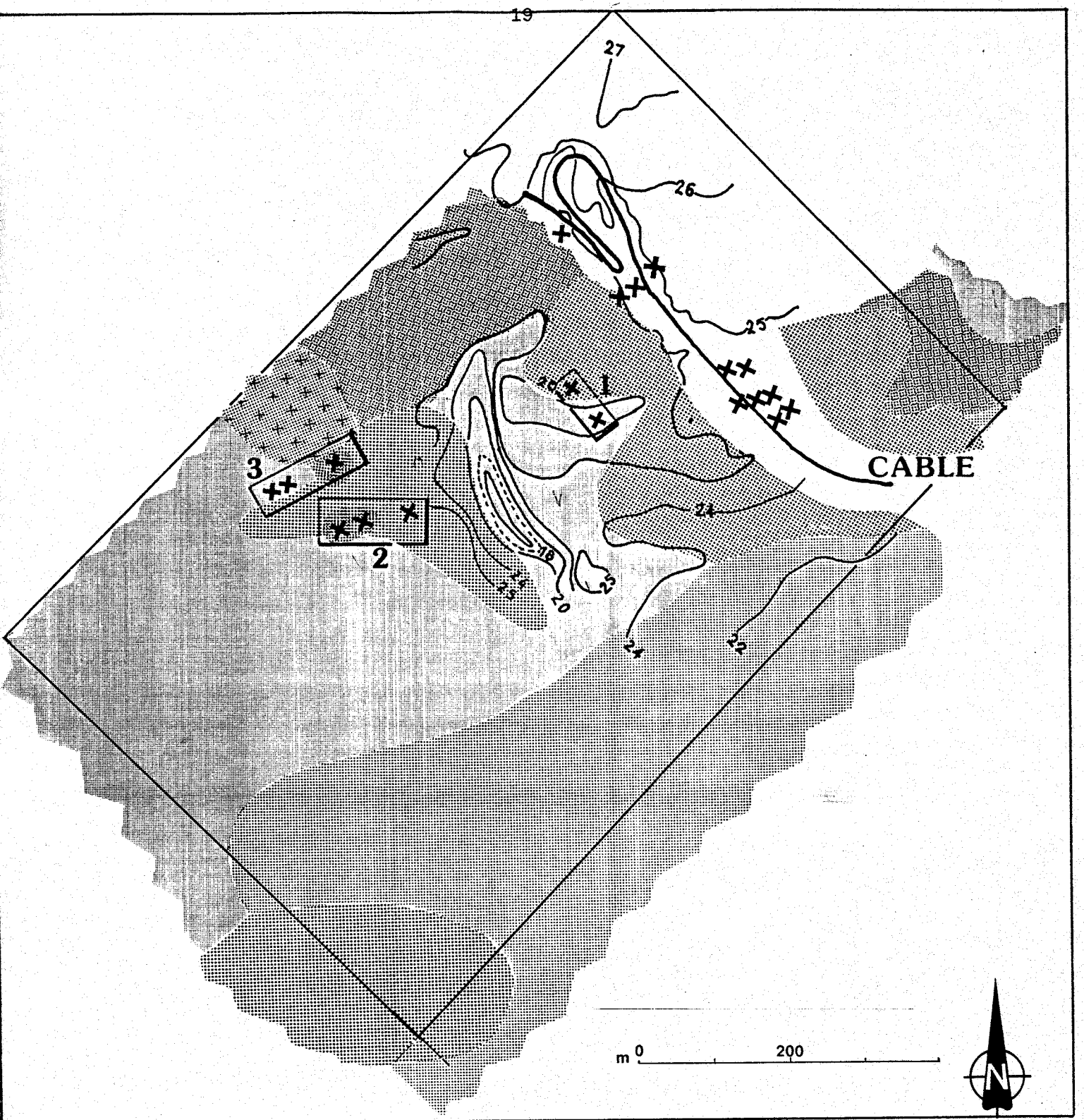







FIG. 8 : CARTE BIOSÉDIMENTAIRE

-  HETEROGENE ENVASE
-  SABLE COQ.(avec coquilles)
-  SABLE et CAILLOUTIS
-  CAILLOUTIS
-  AFFLEUREMENT ROCHEUX
- XXX** CAILLOUX

Cette zone de cailloutis se prolonge sur la radiale par un affleurement rocheux plus accidenté caractérisé par une colonisation de spongiaires en quantité importante.

7.2.1. Cailloux épars

Les endroits où des cailloux et blocs épars ont été filmés ont été reportés sur la carte biosédimentaire. Ils y sont figurés par des croix et répartis en trois zones (voir figure 7).

En se déplaçant du câble vers le Sud-Ouest, nous avons en effet pu distinguer trois zones où l'on rencontre des cailloux qui ne sont pas, a priori, directement reliés au faciès traversé.

Dans la zone n° 1, les cailloux recensés sont distribués de manière peu dense. 90 % sont arrondis et leur forme ne permet pas de les assimiler aux cailloux composant l'enrochement. Pour les 10 % restant, un doute peut subsister si l'on considère que certains présentent des arêtes plus vives. Mais il est à noter que cette "contamination" est limitée à une ceinture étroite relativement proche des limites théoriques de l'enrochement du câble (~ 150 m).

Dans la zone n° 2, on rencontre tout d'abord un faciès de cailloux ensablés qui présentent l'aspect d'un enrochement que l'on peut qualifier d'"ancien", au vu de l'accumulation de particules et de la densité de l'épifaune qui les colonise. Celui-ci ne doit pas non plus être rapproché de l'hypothèse d'une "migration" de cailloux provenant du site d'enrochement dont la stabilité contestée fait l'objet de cette étude.

Le second site de cette zone n° 2 montre quelques cailloux d'aspect grisâtre, anguleux et très peu épais, ressemblant à des grès ; ils sont à associer à un faciès d'affleurement rocheux observé sur le transect, juste avant leur apparition à l'image.

La zone n° 3 fait apparaître en premier lieu un espace d'affleurement blanchâtre, d'aspect calcaire.

On retrouve ensuite un faciès d'enrochement "ancien" tel celui décrit dans la zone n° 2, ensablé de particules plus fines cependant. Les cailloux le composant sont recouverts d'épiphytes et d'épifaune sessile, témoignant de leur stabilité.

L'enrochement se prolonge au Sud par un faciès hétérogène envasé où nous avons pu observer des carrelets ainsi qu'une abondante épifaune vagile (stellaridés, étoiles de mer surtout).

Pour "étalonner" ces observations, nous nous sommes basés sur les images enregistrées lors des transects croisant le site précis du câble sous-marin. Les blocs entrevus au sommet de l'enrochement ont un aspect grisâtre et présentant des arêtes nettes. Plus on descend le long de celui-ci, plus les blocs sont colonisés et recouverts de sédiment. Les secteurs situés au voisinage immédiat de l'enrochement appartiennent au faciès hétérogène envasé. Riches en épifaune, nous y avons observé des crustacés (tourteaux, petits crabes, paguridés), des mollusques (moules, stellérides), des poissons (carrelets).

7.2.2. Synthèse des observations

Aux trois secteurs décrits au paragraphe précédent, nous pouvons accoler la zone de cailloutis du Nord-Est du rectangle exploré (figure 7).

Nous avons ainsi deux "champs" de cailloux proches du câble et deux "champs" relativement éloignés.

7.2.2.1. "Champs" proches

- Zone de cailloutis du Nord-Est

Située immédiatement au Sud de l'enrochement du câble, elle s'étend jusqu'à un affleurement rocheux décrit précédemment comme colonisé par des spongiaires ; un examen approfondi des images enregistrées suggère que ce "tapis" de cailloutis s'étale à la surface d'un affleurement de type calcaire (blanchâtre) recouvert d'un sédiment fin.

L'hétérogénéité apparente de ces cailloutis dans leur partie Nord pourrait être liée à la proximité de l'enrochement de la réparation du câble. Cette part hétérogène est confinée au Nord. Vers le Sud-Ouest, ce sont plutôt des galets de taille modeste qui forment l'essentiel de la couverture du fond.

- Zone de cailloux épars "n° 1"

Nous l'avons décrite comme une zone de cailloux peu dense composée à 90 % de galets naturels et limitée à une ceinture étroite dans un secteur relativement proche de l'enrochement.

7.2.2.1. "Champs" éloignés

Ce sont les zones de cailloux épars n° 2 et n° 3 : y ont été recensés deux types d'affleurements rocheux et, dans chacune des zones", un enrochement qualifié d'ancien : ce pourrait être le site d'un câble non signalé sur les cartes : ceci ne constitue, bien sûr, qu'une hypothèse de notre part que nous n'avons actuellement pas les moyens de confirmer.

3. Conclusion

Les sédiments marins, sous l'action de la houle et des courants, peuvent être soumis à différents mouvements se traduisant par de simples oscillations sur place, des déplacements dans le profil perpendiculairement à la côte ou un transit littoral dont l'importance et la direction dépend essentiellement des caractéristiques de la houle et des courants, de celles des matériaux et du profil des fonds.

Dans le cas qui nous préoccupe, il s'agit de déterminer si les cailloux dont le diamètre moyen est compris entre 90 et 200 mm sont susceptibles de se déplacer sous l'action des forces hydrodynamiques régnant dans le secteur.

- Déplacement par la houle

Pour les matériaux grossiers (graviers et galets de diamètre compris entre 2 et 200 mm), c'est-à-dire dans le cas où le début d'entraînement a toujours lieu pour le régime turbulent de la couche limite, il n'existe qu'un petit nombre d'équations disponibles (LCHF, 1976). Les formules de GODET et de RANCE et WARREN donnent des résultats assez voisins. Ainsi, pour des fonds de 10 m, un galet de 100 mm de diamètre pourrait commencer à se déplacer pour une houle d'amplitude :

5,50 m (période = 8 s) d'après l'équation de GODET
 et 6,50 m (période = 8 s) d'après l'équation de RANCE et WARREN.

Devant Calais, la houle annuelle maximale étant inférieure (4,3 m, cf. p. 10) et les fonds étant plus importants (20 m), il paraît peu probable que les enrochements puissent être entraînés par l'effet de la houle en dehors de conditions exceptionnelles.

- Déplacement par les courants

L'abaque de la figure 9 (BONNEFILLE, 1976) permet d'évaluer la vitesse U qui occasionne le début d'entraînement de matériaux meubles sous l'action des courants en fonction de la profondeur h exprimée en mètres et pour différents diamètres. Cet exemple montre que le déplacement de galets de 10 cm à une profondeur de 10 m nécessite une vitesse de courant supérieure à 4 m.s^{-1} , soit 8 noeuds. L'extrapolation à des fonds de 20 m et à des tailles de cailloux de 20 cm donneraient des vitesses de l'ordre de 7,5 m/s jamais atteintes dans ce secteur.

En résumé, il ressort de cette approche théorique du problème, qu'il est peu probable que les agents hydrodynamiques locaux (hormis peut être des conditions de houles exceptionnelles) puissent déplacer sur des distances importantes des cailloux dont le diamètre moyen est compris entre 9 et 20 cm.

Les images vidéo filmées sur la zone tendent à confirmer les résultats théoriques. En effet, à l'examen de ces clichés, il n'est pas possible d'affirmer que le gêne causée à la pêche dans ce secteur est directement imputable à des cailloux provenant des enrochements déposés lors de la réparation du câble.

Bien que dans certains cas la vitesse élevée des courants, même en période de morte eau, et les conditions de visibilité nous aient parfois privé d'images de qualité, il demeure peu de doutes sur l'identification des cailloux observés.

Si nous avons cru bon de signaler les zones où nous avons observé des carrelets, c'est qu'elles correspondent dans certains endroits à des zones caillouteuses qui n'ont pas forcément un rapport avec les matériaux constituant l'enrochement, objet de cette étude.

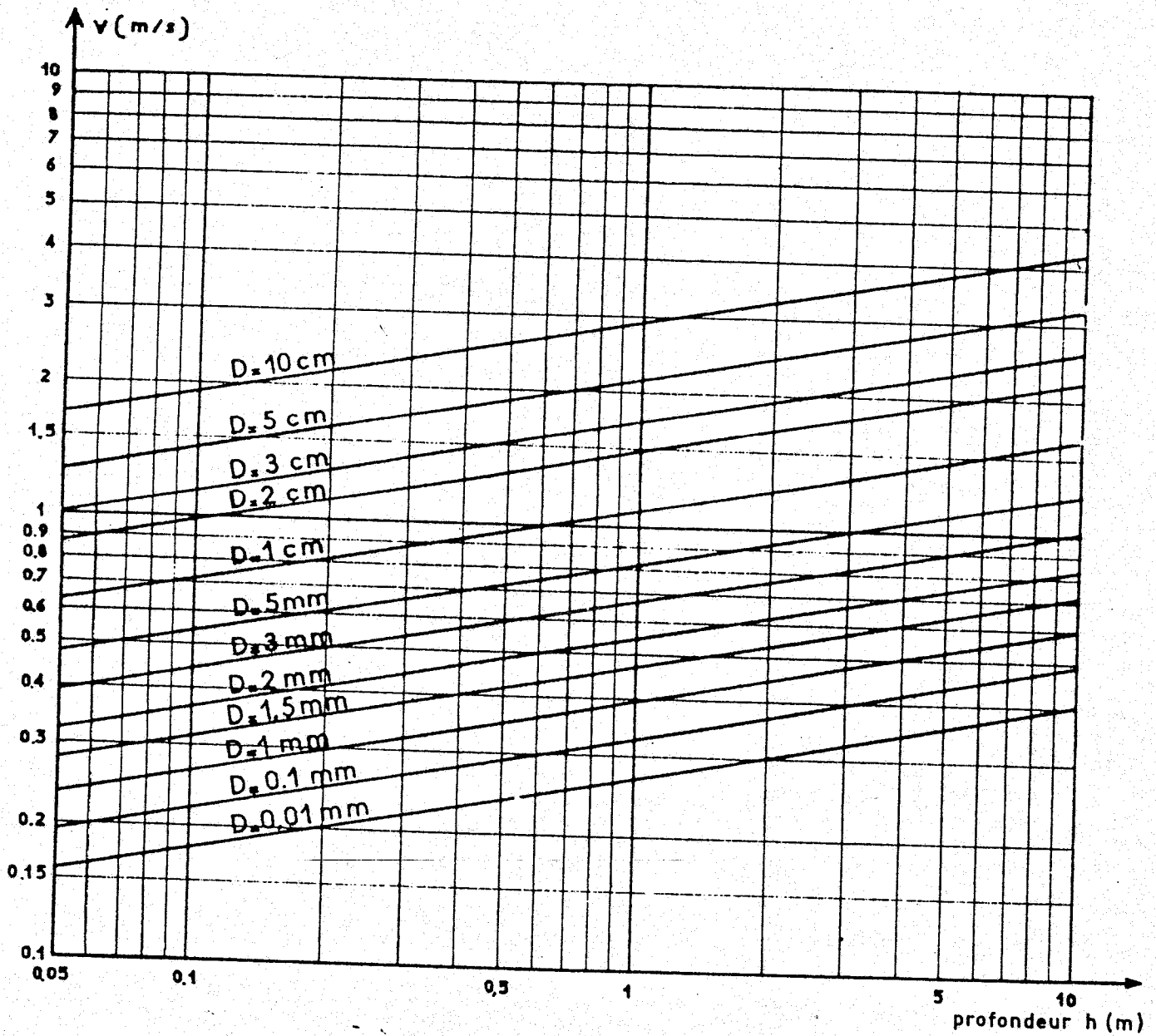


Fig.9— Vitesse moyenne d'un écoulement de profondeur h provoquant le début d'entraînement du sable de diamètre D in Bonnetille 1976

A N N E X E S

1. Positionnement des radiales
2. Variations de la vitesse de dérive au cours de chacune des radiales

POSITIONNEMENT DES RADIALES

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE
10:20:00	N 50 57.879	E 1 41.991	220.0	+1.0
10:21:00	N 50 57.868	E 1 41.973	228.0	+0.9
10:22:00	N 50 57.857	E 1 41.955	227.0	+0.9
10:23:00	N 50 57.847	E 1 41.937	223.0	+0.9
10:24:00	N 50 57.837	E 1 41.920	227.0	+0.8
10:25:00	N 50 57.827	E 1 41.900	231.0	+1.0
10:26:00	N 50 57.817	E 1 41.879	234.0	+0.9
10:27:00	N 50 57.807	E 1 41.859	234.0	+0.9
10:28:00	N 50 57.796	E 1 41.838	230.0	+0.9
10:29:00	N 50 57.785	E 1 41.817	230.0	+1.0
10:30:00	N 50 57.774	E 1 41.795	234.0	+1.0
10:31:00	N 50 57.764	E 1 41.776	228.0	+0.9
10:32:00	N 50 57.753	E 1 41.756	226.0	+0.9
10:33:00	N 50 57.743	E 1 41.736	232.0	+0.9
10:34:00	N 50 57.732	E 1 41.713	235.0	+1.1
10:35:00	N 50 57.722	E 1 41.690	235.0	+1.1
10:36:00	N 50 57.711	E 1 41.666	232.0	+1.1
10:37:00	N 50 57.702	E 1 41.643	238.0	+1.0
10:38:00	N 50 57.690	E 1 41.618	233.0	+1.2
10:39:00	N 50 57.678	E 1 41.592	235.0	+1.2
10:40:00	N 50 57.669	E 1 41.568	239.0	+1.0

R1

cailloutis denses

14:53:00	N 50 57.857	E 1 42.135	247.0	+0.6
14:54:00	N 50 57.851	E 1 42.107	248.0	+1.0
14:55:00	N 50 57.844	E 1 42.085	240.0	+0.9
14:56:00	N 50 57.836	E 1 42.064	239.0	+0.9
14:57:00	N 50 57.827	E 1 42.044	235.0	+0.9
14:58:00	N 50 57.816	E 1 42.023	230.0	+1.1
14:59:00	N 50 57.806	E 1 42.001	235.0	+1.0
15:00:00	N 50 57.798	E 1 41.980	236.0	+0.8
15:01:00	N 50 57.789	E 1 41.958	236.0	+0.9
15:03:00	N 50 57.773	E 1 41.916	236.0	+0.9
15:04:00	N 50 57.767	E 1 41.895	245.0	+0.8
15:05:00	N 50 57.760	E 1 41.874	241.0	+0.9
15:06:00	N 50 57.753	E 1 41.853	245.0	+0.8
15:07:00	N 50 57.744	E 1 41.832	240.0	+0.9
15:08:00	N 50 57.737	E 1 41.812	241.0	+0.8
15:09:00	N 50 57.729	E 1 41.792	236.0	+0.9
15:10:00	N 50 57.721	E 1 41.771	239.0	+0.8
15:11:00	N 50 57.714	E 1 41.753	237.0	+0.7
15:12:00	N 50 57.707	E 1 41.735	242.0	+0.7
15:13:00	N 50 57.700	E 1 41.716	238.0	+0.8
15:14:00	N 50 57.693	E 1 41.698	241.0	+0.7
15:15:00	N 50 57.687	E 1 41.681	238.0	+0.7
15:16:00	N 50 57.681	E 1 41.663	241.0	+0.7
15:17:00	N 50 57.675	E 1 41.647	240.0	+0.7
15:18:00	N 50 57.671	E 1 41.632	236.0	+0.5
15:19:00	N 50 57.666	E 1 41.617	243.0	+0.6
15:20:00	N 50 57.661	E 1 41.602	240.0	+0.6
15:21:00	N 50 57.656	E 1 41.588	235.0	+0.6
15:22:00	N 50 57.650	E 1 41.574	237.0	+0.6
15:23:00	N 50 57.645	E 1 41.562	239.0	+0.5
15:24:00	N 50 57.641	E 1 41.549	244.0	+0.5
15:25:00	N 50 57.636	E 1 41.538	237.0	+0.5
15:26:00	N 50 57.630	E 1 41.528	232.0	+0.5

R4

cailloux zone 3

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE
16:01:00	N 50 57.521	E 1 41.486	63.0	+ .4
16:02:00	N 50 57.525	E 1 41.495	54.0	+ .4
16:03:00	N 50 57.530	E 1 41.507	62.0	+ .4
16:04:00	N 50 57.533	E 1 41.519	64.0	+ .4
16:05:00	N 50 57.538	E 1 41.532	58.0	+ .6
16:06:00	N 50 57.543	E 1 41.542	51.0	+ .5
16:07:00	N 50 57.548	E 1 41.553	49.0	+ .5
16:08:00	N 50 57.553	E 1 41.564	54.0	+ .5
16:09:00	N 50 57.560	E 1 41.577	52.0	+ .6
16:10:00	N 50 57.566	E 1 41.592	49.0	+ .6
16:11:00	N 50 57.573	E 1 41.606	51.0	+ .6
16:12:00	N 50 57.579	E 1 41.620	55.0	+ .6
16:13:00	N 50 57.586	E 1 41.635	53.0	+ .7
16:14:00	N 50 57.593	E 1 41.652	52.0	+ .7
16:15:00	N 50 57.599	E 1 41.669	62.0	+ .6
16:16:00	N 50 57.605	E 1 41.684	62.0	+ .6
16:17:00	N 50 57.611	E 1 41.702	61.0	+ .7
16:18:00	N 50 57.617	E 1 41.719	61.0	+ .7
16:19:00	N 50 57.623	E 1 41.736	56.0	+ .7
16:20:00	N 50 57.629	E 1 41.755	64.0	+ .8
16:21:00	N 50 57.637	E 1 41.775	60.0	+ .9
16:22:00	N 50 57.645	E 1 41.794	60.0	+ .8
16:23:00	N 50 57.653	E 1 41.815	59.0	+ .9
16:24:00	N 50 57.662	E 1 41.837	57.0	+1.0
16:25:00	N 50 57.672	E 1 41.861	55.0	+1.1
16:26:00	N 50 57.682	E 1 41.886	58.0	+1.1
16:27:00	N 50 57.693	E 1 41.917	62.0	+1.3
16:28:00	N 50 57.704	E 1 41.946	56.0	+1.2
16:29:00	N 50 57.713	E 1 41.971	61.0	+1.0
16:30:00	N 50 57.724	E 1 41.996	57.0	+1.1
16:31:00	N 50 57.733	E 1 42.022	61.0	+1.1
16:32:00	N 50 57.743	E 1 42.047	57.0	+1.0
16:33:00	N 50 57.754	E 1 42.073	58.0	+1.2
16:34:00	N 50 57.764	E 1 42.102	59.0	+1.3
16:35:00	N 50 57.776	E 1 42.129	57.0	+1.2
16:36:00	N 50 57.788	E 1 42.155	47.0	+1.2

R5

calloux
zone

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE
09:41:00	N 50 57.564	E 1 41.885	242.0	+4.2
09:42:00	N 50 57.579	E 1 41.919	66.0	+8
09:43:00	N 50 57.590	E 1 41.939	49.0	+9
09:44:00	N 50 57.602	E 1 41.957	44.0	+9
09:45:00	N 50 57.615	E 1 41.975	43.0	+9
09:46:00	N 50 57.626	E 1 41.994	46.0	+9
09:47:00	N 50 57.636	E 1 42.014	50.0	+1.0
09:48:00	N 50 57.644	E 1 42.035	59.0	+8
09:49:00	N 50 57.654	E 1 42.055	53.0	+9
09:50:00	N 50 57.664	E 1 42.076	49.0	+9
09:51:00	N 50 57.674	E 1 42.092	46.0	+8
09:52:00	N 50 57.683	E 1 42.108	44.0	+8
09:53:00	N 50 57.691	E 1 42.124	53.0	+7
09:54:00	N 50 57.698	E 1 42.144	59.0	+8
09:55:00	N 50 57.705	E 1 42.161	54.0	+7
09:56:00	N 50 57.713	E 1 42.178	55.0	+7
09:57:00	N 50 57.721	E 1 42.191	43.0	+6
09:58:00	N 50 57.728	E 1 42.205	48.0	+6
09:59:00	N 50 57.736	E 1 42.219	55.0	+6
10:00:00	N 50 57.744	E 1 42.233	51.0	+6
10:01:00	N 50 57.750	E 1 42.249	55.0	+7
10:02:00	N 50 57.757	E 1 42.262	48.0	+6
10:03:00	N 50 57.765	E 1 42.276	43.0	+7
10:04:00	N 50 57.773	E 1 42.290	46.0	+7
10:05:00	N 50 57.781	E 1 42.303	40.0	+7
10:06:00	N 50 57.788	E 1 42.316	45.0	+7
10:07:00	N 50 57.795	E 1 42.330	54.0	+6
10:08:00	N 50 57.802	E 1 42.342	43.0	+6
10:09:00	N 50 57.809	E 1 42.354	37.0	+6
10:10:00	N 50 57.818	E 1 42.364	38.0	+6
10:11:00	N 50 57.825	E 1 42.373	44.0	+5
10:12:00	N 50 57.832	E 1 42.384	49.0	+5

R6

10:30:00	N 50 57.274	E 1 41.577	81.0	+3
10:31:00	N 50 57.275	E 1 41.585	76.0	+2
10:32:00	N 50 57.278	E 1 41.590	52.0	+2
10:33:00	N 50 57.281	E 1 41.594	48.0	+2
10:34:00	N 50 57.285	E 1 41.598	31.0	+2
10:35:00	N 50 57.289	E 1 41.601	35.0	+2
10:36:00	N 50 57.293	E 1 41.603	10.0	+2
10:37:00	N 50 57.296	E 1 41.606	16.0	+1
10:38:00	N 50 57.299	E 1 41.608	29.0	+1
10:39:00	N 50 57.300	E 1 41.612	63.0	+1
10:40:00	N 50 57.300	E 1 41.616	87.0	+1
10:41:00	N 50 57.302	E 1 41.617	26.0	+1
10:42:00	N 50 57.305	E 1 41.619	21.0	+1
10:43:00	N 50 57.308	E 1 41.619	355.0	+1
10:44:00	N 50 57.309	E 1 41.621	34.0	+1
10:45:00	N 50 57.310	E 1 41.621	27.0	+0.0
10:46:00	N 50 57.311	E 1 41.622	8.0	+0.0

R7

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE	R8
11:20:00	N 50 57.750	E 1 42.356	290.0	+3	
11:21:00	N 50 57.751	E 1 42.349	288.0	+2	
11:22:00	N 50 57.751	E 1 42.342	277.0	+2	
11:23:00	N 50 57.752	E 1 42.334	271.0	+3	
11:24:00	N 50 57.753	E 1 42.328	285.0	+2	
11:25:00	N 50 57.754	E 1 42.319	293.0	+3	
11:26:00	N 50 57.754	E 1 42.309	273.0	+3	
11:27:00	N 50 57.756	E 1 42.299	272.0	+3	
11:28:00	N 50 57.757	E 1 42.290	275.0	+3	
11:29:00	N 50 57.757	E 1 42.280	270.0	+3	
11:30:00	N 50 57.757	E 1 42.271	270.0	+3	
11:31:00	N 50 57.757	E 1 42.260	264.0	+3	
11:32:00	N 50 57.757	F 1 42.249	263.0	+4	
11:33:00	N 50 57.757	E 1 42.238	270.0	+4	
11:34:00	N 50 57.757	E 1 42.224	274.0	+4	
11:35:00	N 50 57.757	E 1 42.214	265.0	+4	
11:36:00	N 50 57.757	E 1 42.202	278.0	+4	
11:37:00	N 50 57.756	E 1 42.189	255.0	+5	
11:38:00	N 50 57.755	E 1 42.175	263.0	+5	
11:39:00	N 50 57.755	F 1 42.162	271.0	+4	
11:40:00	N 50 57.753	E 1 42.148	260.0	+5	
11:41:00	N 50 57.754	E 1 42.135	274.0	+4	
11:42:00	N 50 57.753	E 1 42.119	261.0	+6	
11:43:00	N 50 57.753	E 1 42.105	275.0	+5	
11:44:00	N 50 57.751	E 1 42.090	252.0	+6	
11:45:00	N 50 57.750	E 1 42.075	270.0	+5	
11:46:00	N 50 57.748	E 1 42.060	255.0	+6	
11:47:00	N 50 57.746	E 1 42.047	264.0	+5	
11:48:00	N 50 57.744	E 1 42.032	258.0	+6	
11:49:00	N 50 57.743	E 1 42.015	269.0	+6	
11:50:00	N 50 57.742	E 1 41.999	261.0	+6	
11:51:00	N 50 57.742	E 1 41.982	267.0	+5	
11:52:00	N 50 57.742	E 1 41.965	271.0	+7	
11:53:00	N 50 57.742	E 1 41.948	270.0	+6	
11:54:00	N 50 57.742	E 1 41.933	275.0	+6	
11:55:00	N 50 57.741	E 1 41.916	268.0	+6	
11:56:00	N 50 57.740	E 1 41.896	258.0	+8	
11:57:00	N 50 57.739	E 1 41.873	270.0	+8	

cailloux zone 1

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE
12:05:00	N 50 57.292	E 1 42.282	262.0	+ .8
12:06:00	N 50 57.291	E 1 42.257	260.0	+ .9
12:07:00	N 50 57.288	E 1 42.229	258.0	+ .9
12:08:00	N 50 57.285	E 1 42.205	258.0	+ .8
12:09:00	N 50 57.284	E 1 42.180	265.0	+ .9
12:10:00	N 50 57.280	E 1 42.150	258.0	+1.1
12:11:00	N 50 57.276	E 1 42.122	261.0	+1.1
12:12:00	N 50 57.274	E 1 42.089	268.0	+1.3
12:13:00	N 50 57.270	E 1 42.059	256.0	+1.1
12:14:00	N 50 57.267	E 1 42.031	258.0	+1.0
12:15:00	N 50 57.263	E 1 42.004	258.0	+ .9
12:16:00	N 50 57.259	E 1 41.975	255.0	+1.0
12:17:00	N 50 57.254	E 1 41.946	257.0	+1.1
12:18:00	N 50 57.250	E 1 41.918	251.0	+1.1
12:19:00	N 50 57.245	E 1 41.888	256.0	+1.1
12:20:00	N 50 57.241	E 1 41.861	255.0	+ .9
12:21:00	N 50 57.234	E 1 41.830	251.0	+1.1
12:22:00	N 50 57.231	E 1 41.800	261.0	+1.1
12:23:00	N 50 57.226	E 1 41.767	255.0	+1.3
12:24:00	N 50 57.221	E 1 41.736	253.0	+1.2
12:25:00	N 50 57.214	E 1 41.705	250.0	+1.2
12:26:00	N 50 57.209	E 1 41.674	255.0	+1.2
12:27:00	N 50 57.206	E 1 41.641	260.0	+1.2
12:28:00	N 50 57.201	E 1 41.607	258.0	+1.2
12:29:00	N 50 57.196	E 1 41.575	253.0	+1.3
12:30:00	N 50 57.193	E 1 41.543	266.0	+1.2

R9

12:42:00	N 50 57.565	E 1 42.545	261.0	+1.4
12:43:00	N 50 57.559	E 1 42.511	254.0	+1.3
12:44:00	N 50 57.558	E 1 42.477	268.0	+1.2
12:45:00	N 50 57.557	E 1 42.439	263.0	+1.4
12:46:00	N 50 57.555	E 1 42.402	260.0	+1.4
12:47:00	N 50 57.550	E 1 42.368	256.0	+1.3
12:48:00	N 50 57.547	E 1 42.333	264.0	+1.2
12:49:00	N 50 57.545	E 1 42.299	266.0	+1.3
12:50:00	N 50 57.542	E 1 42.264	263.0	+1.2
12:51:00	N 50 57.538	E 1 42.227	261.0	+1.4
12:52:00	N 50 57.536	E 1 42.190	263.0	+1.4
12:53:00	N 50 57.535	E 1 42.152	265.0	+1.4
12:54:00	N 50 57.531	E 1 42.113	262.0	+1.4
12:55:00	N 50 57.532	E 1 42.075	269.0	+1.4
12:56:00	N 50 57.528	E 1 42.037	265.0	+1.4
12:57:00	N 50 57.526	E 1 41.998	262.0	+1.4
12:58:00	N 50 57.525	E 1 41.962	273.0	+1.3
12:59:00	N 50 57.523	E 1 41.921	263.0	+1.5
13:00:00	N 50 57.521	E 1 41.884	262.0	+1.4
13:01:00	N 50 57.517	E 1 41.847	260.0	+1.4
13:02:00	N 50 57.515	E 1 41.809	267.0	+1.4
13:03:00	N 50 57.513	E 1 41.769	263.0	+1.5
13:04:00	N 50 57.508	E 1 41.729	259.0	+1.6
13:05:00	N 50 57.506	E 1 41.689	264.0	+1.5
13:06:00	N 50 57.504	E 1 41.649	267.0	+1.5
13:07:00	N 50 57.502	E 1 41.607	263.0	+1.5
13:08:00	N 50 57.499	E 1 41.569	261.0	+1.5
13:09:00	N 50 57.496	E 1 41.527	265.0	+1.5
13:10:00	N 50 57.493	E 1 41.488	261.0	+1.5

R10

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE
13:35:00	N 50 57.586	E 1 42.146	259.0	+1.6
13:36:00	N 50 57.582	E 1 42.104	261.0	+1.6
13:37:00	N 50 57.576	E 1 42.062	259.0	+1.6
13:38:00	N 50 57.570	E 1 42.022	256.0	+1.5
13:39:00	N 50 57.566	E 1 41.980	259.0	+1.6
13:40:00	N 50 57.562	E 1 41.939	261.0	+1.6
13:41:00	N 50 57.560	E 1 41.897	263.0	+1.5
13:42:00	N 50 57.556	E 1 41.855	258.0	+1.6
13:43:00	N 50 57.550	E 1 41.814	257.0	+1.6
13:44:00	N 50 57.547	E 1 41.774	263.0	+1.5
13:45:00	N 50 57.541	E 1 41.732	259.0	+1.5
13:46:00	N 50 57.535	E 1 41.689	255.0	+1.7
13:47:00	N 50 57.530	E 1 41.648	260.0	+1.5
13:48:00	N 50 57.527	E 1 41.605	263.0	+1.5
13:49:00	N 50 57.522	E 1 41.566	260.0	+1.5
13:50:00	N 50 57.519	E 1 41.525	263.0	+1.4
13:51:00	N 50 57.513	E 1 41.483	255.0	+1.6
13:52:00	N 50 57.507	E 1 41.444	253.0	+1.5
13:53:00	N 50 57.500	E 1 41.407	254.0	+1.4
13:54:00	N 50 57.495	E 1 41.367	259.0	+1.4
13:55:00	N 50 57.490	E 1 41.325	257.0	+1.6
13:56:00	N 50 57.483	E 1 41.282	255.0	+1.7
13:57:00	N 50 57.476	E 1 41.241	254.0	+1.5
13:58:00	N 50 57.470	E 1 41.200	258.0	+1.5
13:59:00	N 50 57.465	E 1 41.159	260.0	+1.5

R11

14:18:00	N 50 57.554	E 1 42.236	254.0	+1.4
14:19:00	N 50 57.548	E 1 42.199	254.0	+1.4
14:20:00	N 50 57.544	E 1 42.163	263.0	+1.3
14:21:00	N 50 57.538	E 1 42.127	258.0	+1.3
14:22:00	N 50 57.533	E 1 42.090	255.0	+1.4
14:23:00	N 50 57.526	E 1 42.054	249.0	+1.4
14:24:00	N 50 57.522	E 1 42.020	259.0	+1.3
14:25:00	N 50 57.516	E 1 41.984	257.0	+1.3
14:26:00	N 50 57.512	E 1 41.949	259.0	+1.2
14:27:00	N 50 57.506	E 1 41.914	254.0	+1.3
14:28:00	N 50 57.500	E 1 41.880	255.0	+1.3
14:29:00	N 50 57.495	E 1 41.847	255.0	+1.3
14:30:00	N 50 57.491	E 1 41.814	255.0	+1.2
14:31:00	N 50 57.486	E 1 41.782	257.0	+1.2
14:32:00	N 50 57.481	E 1 41.750	255.0	+1.2
14:33:00	N 50 57.474	E 1 41.716	250.0	+1.3
14:34:00	N 50 57.467	E 1 41.683	251.0	+1.3
14:35:00	N 50 57.460	E 1 41.651	251.0	+1.2
14:36:00	N 50 57.455	E 1 41.621	255.0	+1.1
14:37:00	N 50 57.450	E 1 41.590	256.0	+1.2
14:38:00	N 50 57.445	E 1 41.559	255.0	+1.1
14:39:00	N 50 57.440	E 1 41.528	259.0	+1.1
14:40:00	N 50 57.433	E 1 41.496	251.0	+1.2
14:41:00	N 50 57.427	E 1 41.467	255.0	+1.1

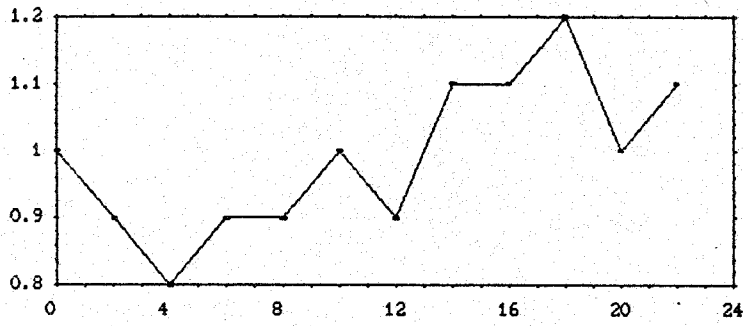
R12

HEURE	LATITUDE	LONGITUDE	CAP	VITESSE
15:00:00	N 50 57.755	E 1 42.294	259.0	+1.1
15:01:00	N 50 57.751	E 1 42.263	261.0	+1.1
15:02:00	N 50 57.746	E 1 42.235	256.0	+1.1
15:03:00	N 50 57.740	E 1 42.206	253.0	+1.0
15:04:00	N 50 57.735	E 1 42.178	250.0	+1.1
15:05:00	N 50 57.729	E 1 42.150	247.0	+1.1
15:06:00	N 50 57.723	E 1 42.124	249.0	+1.0
15:07:00	N 50 57.720	E 1 42.100	259.0	+0.9
15:08:00	N 50 57.716	E 1 42.075	260.0	+0.9
15:09:00	N 50 57.710	E 1 42.049	254.0	+1.0
15:10:00	N 50 57.706	E 1 42.025	252.0	+0.9
15:11:00	N 50 57.702	E 1 42.000	254.0	+1.0
15:12:00	N 50 57.697	E 1 41.974	252.0	+1.0
15:13:00	N 50 57.692	E 1 41.949	250.0	+0.9
15:14:00	N 50 57.686	E 1 41.923	246.0	+1.1
15:15:00	N 50 57.678	E 1 41.893	248.0	+1.2
15:16:00	N 50 57.672	E 1 41.866	253.0	+1.0
15:17:00	N 50 57.666	E 1 41.843	248.0	+0.9
15:18:00	N 50 57.663	E 1 41.819	259.0	+0.9
15:19:00	N 50 57.659	E 1 41.794	258.0	+0.9
15:20:00	N 50 57.654	E 1 41.770	256.0	+0.9
15:21:00	N 50 57.650	E 1 41.747	248.0	+0.8
15:22:00	N 50 57.646	E 1 41.725	250.0	+0.9
15:23:00	N 50 57.641	E 1 41.702	250.0	+0.9
15:24:00	N 50 57.637	E 1 41.680	255.0	+0.8
15:25:00	N 50 57.634	E 1 41.655	261.0	+0.8
15:26:00	N 50 57.631	E 1 41.631	258.0	+0.9
15:27:00	N 50 57.628	E 1 41.608	258.0	+0.8
15:28:00	N 50 57.625	E 1 41.586	255.0	+0.8
15:29:00	N 50 57.621	E 1 41.565	258.0	+0.7
15:30:00	N 50 57.619	E 1 41.544	260.0	+0.7
15:31:00	N 50 57.616	E 1 41.521	257.0	+0.9
15:32:00	N 50 57.612	E 1 41.500	254.0	+0.8
15:42:00	N 50 57.372	E 1 42.003	237.0	+0.6
15:43:00	N 50 57.368	E 1 41.989	249.0	+0.5
15:44:00	N 50 57.366	E 1 41.973	262.0	+0.6
15:45:00	N 50 57.365	E 1 41.959	262.0	+0.6
15:46:00	N 50 57.363	E 1 41.943	253.0	+0.6
15:47:00	N 50 57.361	E 1 41.928	260.0	+0.5
15:48:00	N 50 57.360	E 1 41.915	261.0	+0.5
15:49:00	N 50 57.359	E 1 41.903	265.0	+0.4
15:50:00	N 50 57.359	E 1 41.888	267.0	+0.5
15:51:00	N 50 57.357	E 1 41.874	264.0	+0.5
15:52:00	N 50 57.355	E 1 41.862	260.0	+0.5
15:53:00	N 50 57.355	E 1 41.850	272.0	+0.4
15:54:00	N 50 57.355	E 1 41.838	270.0	+0.4
15:55:00	N 50 57.353	E 1 41.826	251.0	+0.4
15:56:00	N 50 57.352	E 1 41.815	257.0	+0.4
15:57:00	N 50 57.350	E 1 41.806	248.0	+0.3
15:58:00	N 50 57.348	E 1 41.794	262.0	+0.4
15:59:00	N 50 57.348	E 1 41.783	265.0	+0.4
16:00:00	N 50 57.347	E 1 41.772	263.0	+0.4
16:01:00	N 50 57.347	E 1 41.762	273.0	+0.4
16:02:00	N 50 57.347	E 1 41.752	265.0	+0.4
16:03:00	N 50 57.346	E 1 41.742	258.0	+0.3
16:04:00	N 50 57.347	E 1 41.733	280.0	+0.3
16:05:00	N 50 57.347	E 1 41.724	272.0	+0.3
16:06:00	N 50 57.347	E 1 41.715	269.0	+0.3
16:07:00	N 50 57.348	E 1 41.707	276.0	+0.3

R13

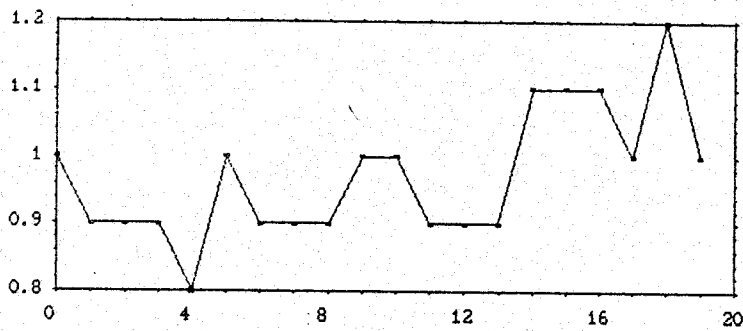
cailloux zone 2

R14

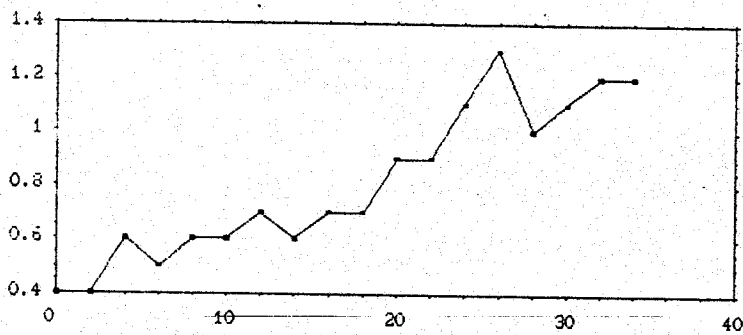


R1

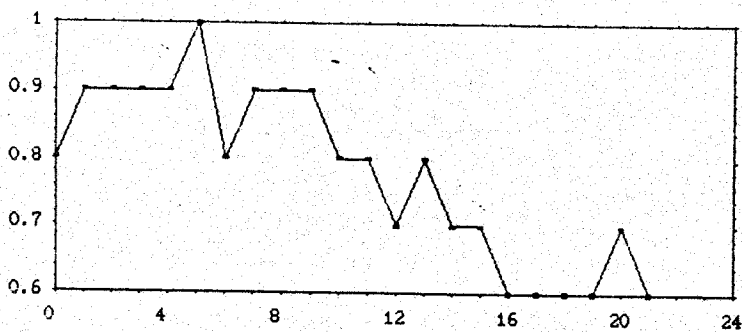
Vitesse (m./s)
↑
→ Temps (mn.)



R4

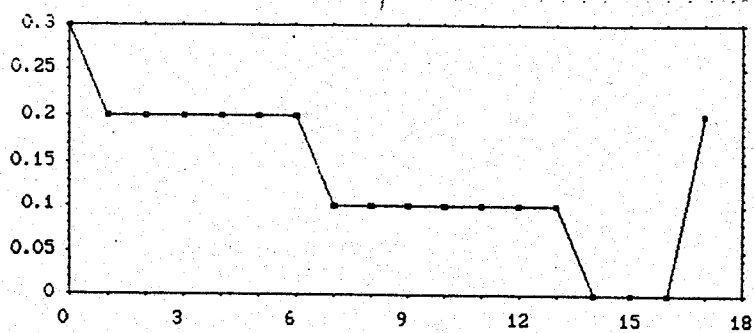


R5

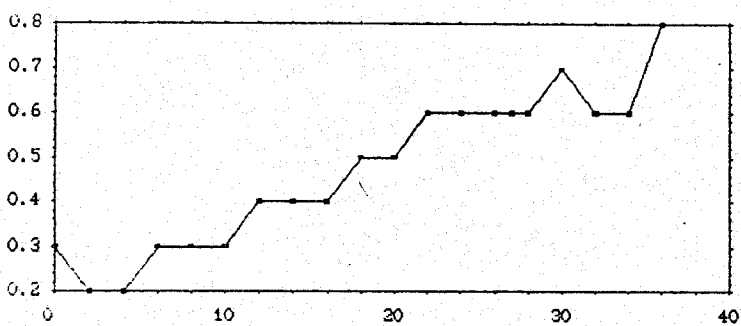


R6

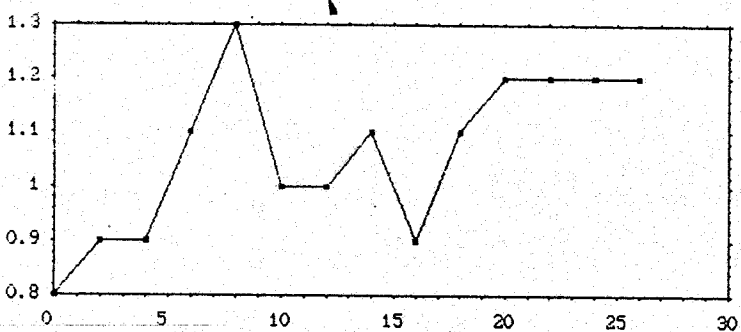
VARIATIONS DE LA VITESSE DE DERIVE AU
COURS DE CHACUNE DES RADIALES



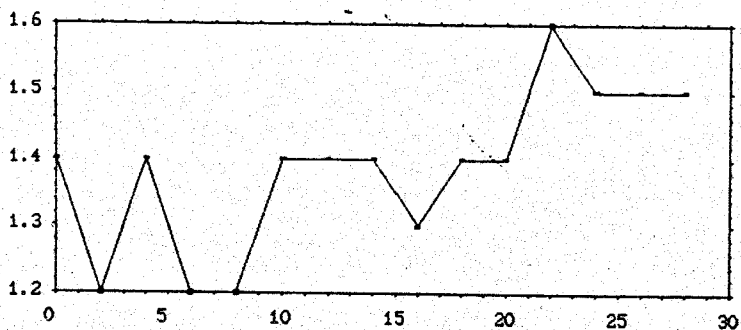
R7



R8

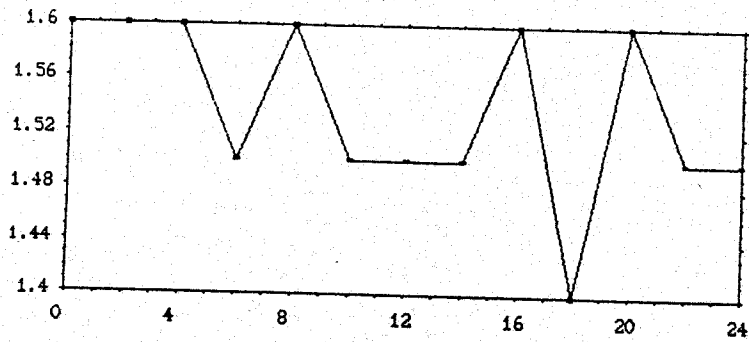


R9

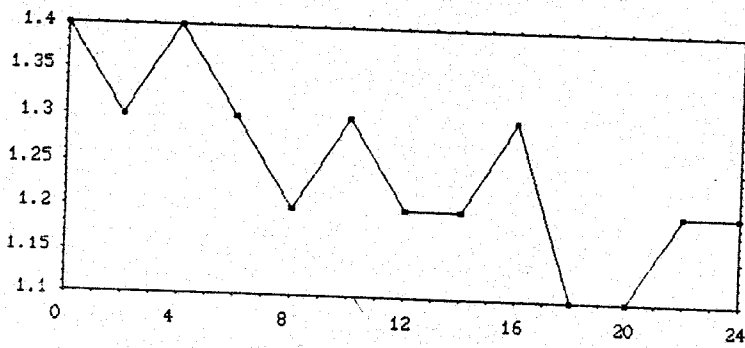


R10

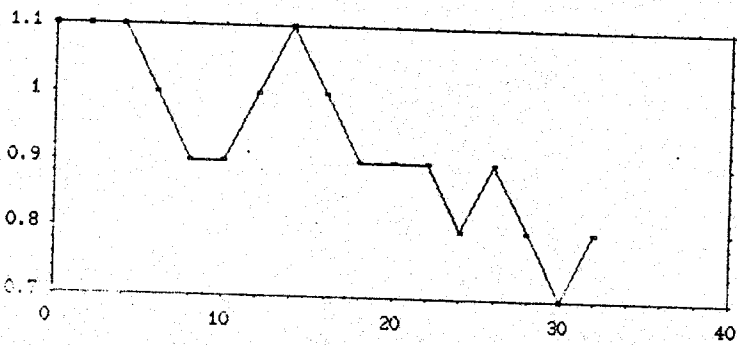
VARIATIONS DE LA VITESSE DE DERIVE AU
COURS DE CHACUNE DES RADIALES



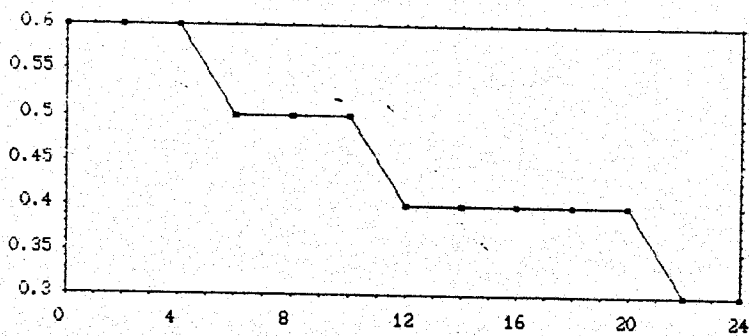
R11



R12



R13



R14

VARIATIONS DE LA VITESSE DE DERIVE AU
COURS DE CHACUNE DES RADIALES