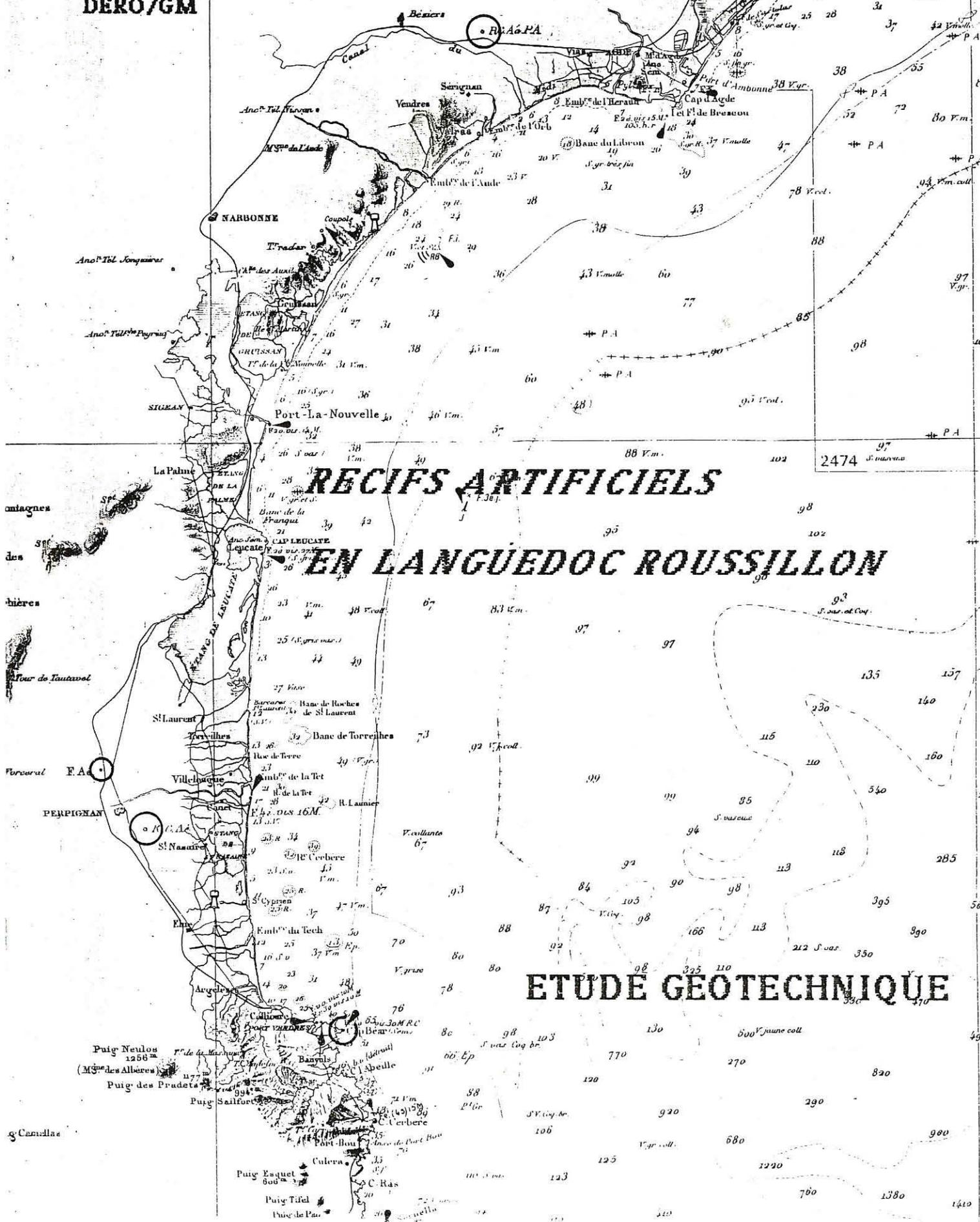


IFREMER
CENTRE DE BREST
DERO/GM



RECIFS ARTIFICIELS
EN LANGUEDOC ROUSSILLON

ETUDE GEOTECHNIQUE

g. Canadine

IFREMER
CENTRE DE BREST
DERO/GM

RECIFS ARTIFICIELS
EN LANGUEDOC ROUSSILLON

- ETUDE GEOTECHNIQUE -

PAR :

Cl. AUGRIS

P. COCHONAT

J. GUILLAUME

Décembre 1984

S O M M A I R E

=====

- INTRODUCTION
- RECONNAISSANCE DES SITES
- ANALYSE DES CAROTTES
- RESULTATS
- RECOMMANDATIONS
- ANNEXES

Un programme pilote d'aménagement physique des fonds par récifs artificiels est mené sur le plateau continental de la région Languedoc-Roussillon.

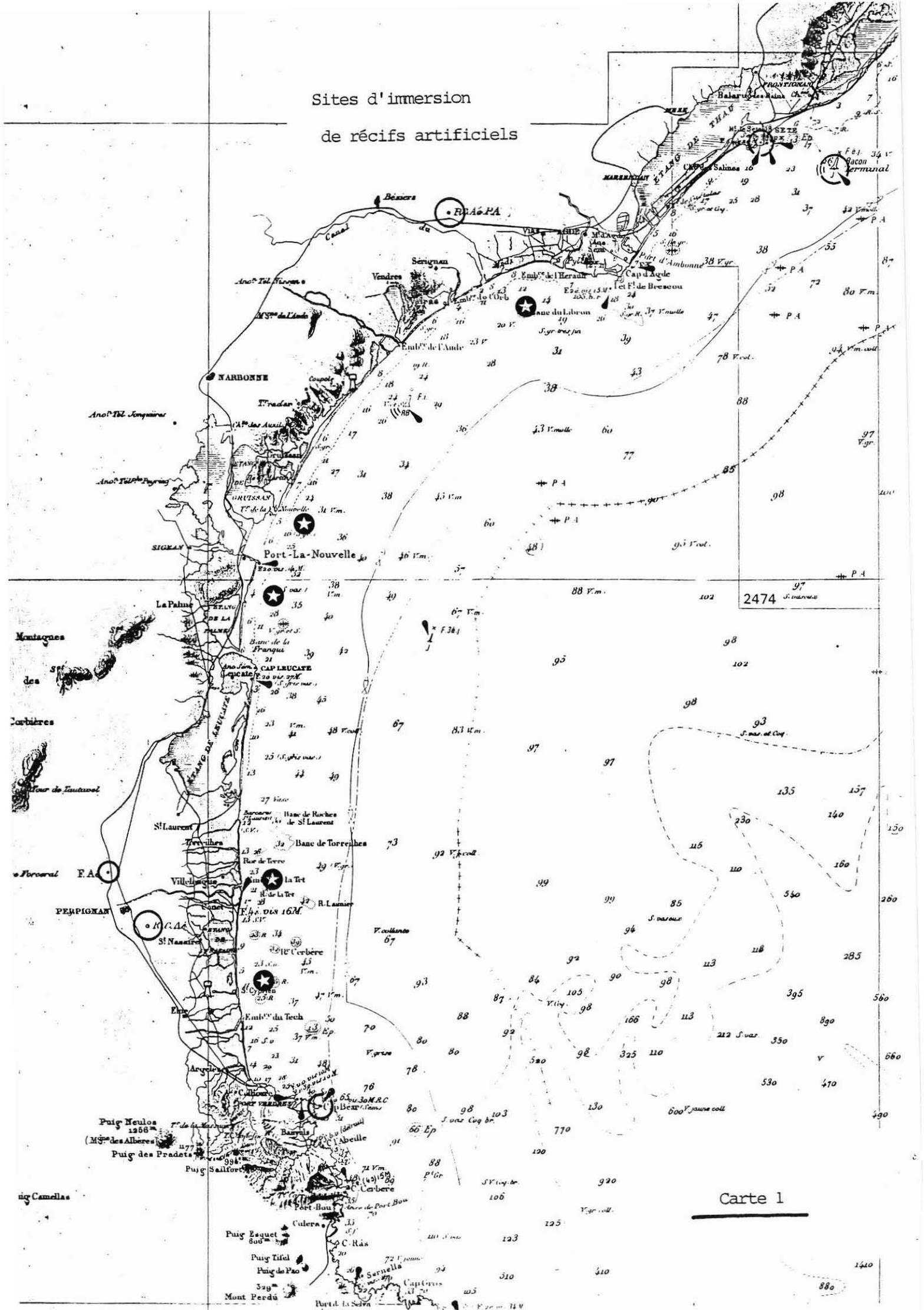
Cinq sites d'immersion ont été choisis le long du littoral entre St Cyprien et le Cap d'Agde (carte 1).

Avant toute implantation il est apparu nécessaire de connaître les caractéristiques mécaniques des sols de ces périmètres afin d'évaluer leur aptitude à supporter des récifs artificiels en béton.

Pour cet objectif, une campagne de carottage a été réalisée aux abords de Port-la-Nouvelle.

Le présent rapport expose l'étude géotechnique effectuée sur les carottes obtenues.

Sites d'immersion de récifs artificiels



Carte 1

RECONNAISSANCE DES SITES

I. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les sites concernés se situent dans la partie occidentale du Nord de la Méditerranée (Golfe du Lion).

Le littoral languedocien, qui s'étend depuis le delta du Rhône jusqu'au cap Leucate, a un relief peu marqué hormis à l'intérieur quelques massifs isolés (Sète, la Clape).

Au sud du cap Leucate, le littoral du Roussillon laisse apparaître des affleurements de calcaire mésozoïque des Corbières.

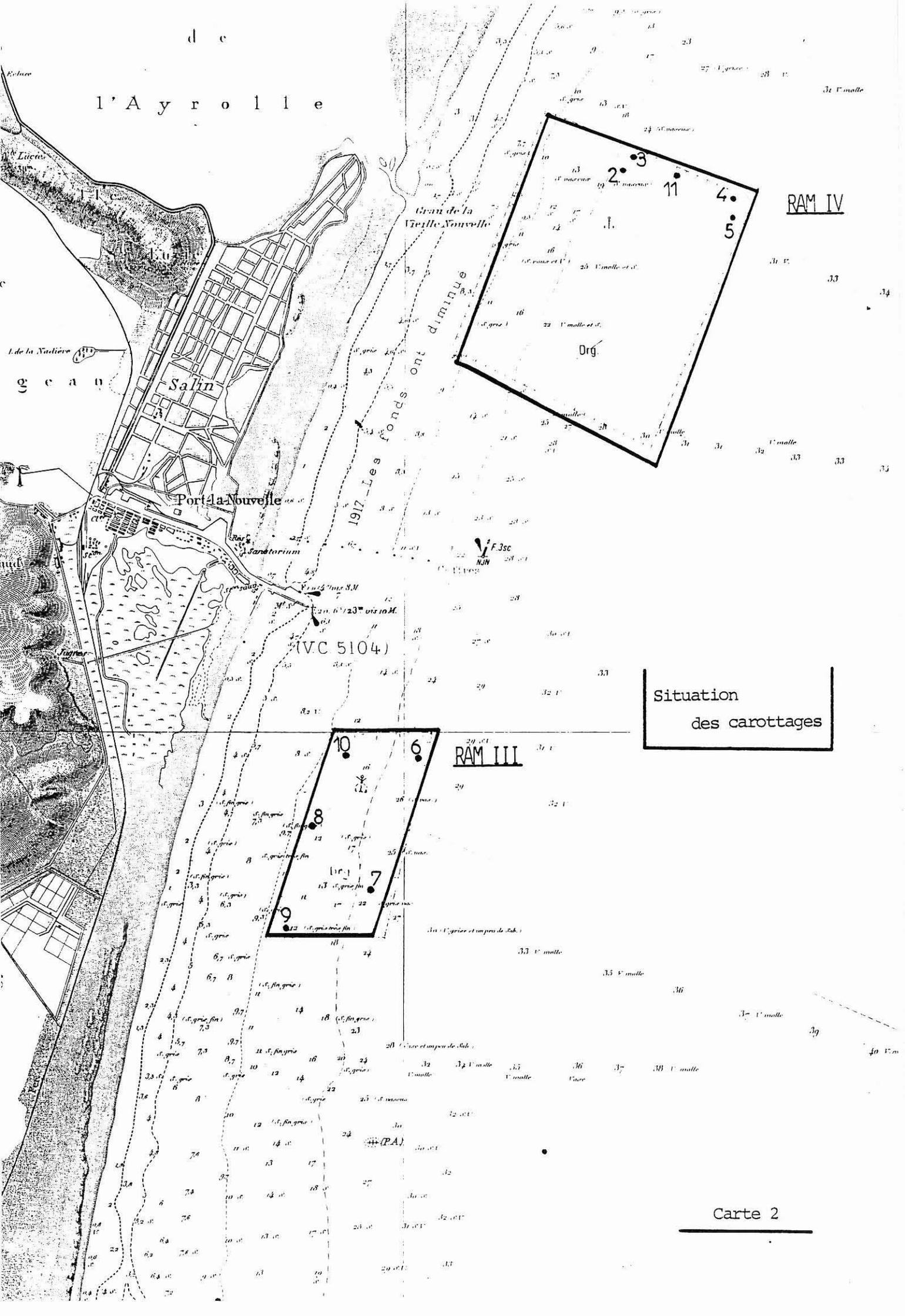
Le plateau continental est conforme à la morphologie des unités côtières. Face au Languedoc, le golfe du Lion se développe jusqu'à 30 milles au large ; il devient plus étroit au contact des Pyrénées, qui ferment au sud la plaine du Roussillon.

II. SITUATION DES SONDAGES

Les carottes obtenues à l'aide du carottier Kullenberg sont localisées sur deux sites au Nord et au Sud de Port-la-Nouvelle (carte 2) ; les carottages ayant été infructueux sur le site d'Agde.

.../...

de
l' Ayrolle



RAM IV

Situation
des carottages

RAM III

	CAROTTE	LATITUDE	LONGITUDE	SONDE (en m)	LONGUEUR (en m)
NORD DE PORT LA NOUVELLE	RAM IV 2	43°03'27" N	3°06'50" E	20	0
	RAM IV 3	43°03'30" N	3°06'55" E	22	1,02
	RAM IV 4	43°03'15" N	3°07'47" E	28	0,97
	RAM IV 5	43°03'08" N	3°07'45" E	28	1,04
	RAM IV 11	43°03'25" N	3°07'16" E	26	1,40
SUD DE PORT LA NOUVELLE	RAM III 6	42°59'50" N	3°05'05" E	26	0,97
	RAM III 7	42°59'00" N	3°04'45" E	25	0,65
	RAM III 8	42°59'25" N	3°04'15" E	14	0
	RAM III 9	42°58'47" N	3°04'00" E	11	0
	RAM III 10	42°59'52" N	3°04'30" E	12	0,69

ANALYSE DES CAROTTES

Les carottes ont été étudiées au moyen de deux types de méthodes :

- Méthodes non destructives : gammadensimétrie, célérimétrie,
- méthodes destructives : scissométrie, pénétrométrie, teneur en eau, granulométrie.

I. METHODES NON DESTRUCTIVES

A. RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS THEORIQUES

1- Définition des caractéristiques physiques des sédiments

- le poids spécifique ou densité matricielle est le poids de l'unité de volume d'un grain isolé solide (γ_s).

- la densité humide ou poids spécifique apparent d'un sol est le poids de l'unité de volume du sol, eau comprise (γ)

- la densité sèche est le poids de l'unité de volume du sol, sans eau interstitielle (γ_d)

- la densité immergée est celle du sol située sous la tranche d'eau, le sol saturé est soulagé par la poussée d'Archimède (γ')

Ces quatre valeurs s'expriment en g/cm³.

2- Définition des caractéristiques dérivées

En dehors de ces caractéristiques physiques essentielles et à partir de leur connaissance, on peut calculer des paramètres très utiles pour définir l'état d'un sédiment.

- la teneur en eau pondérale est le rapport de poids d'eau contenue dans le sol au poids sec de l'échantillon (W)

- la teneur en eau volumique est le rapport du volume d'eau au volume du sol en place compte tenu de l'état de saturation, ce rapport correspond également à la porosité.

- la porosité est le rapport du volume des vides (ou des pores) au volume total, c'est donc le volume des vides par unité de volume total (n).

Ces trois valeurs s'expriment en pourcentage.

- L'indice des vides est le rapport du volume des vides au volume occupé par les grains solides (volume plein). On emploie ce dernier paramètre dans l'étude de la compressibilité des sols où le volume total varie par l'expulsion ou l'absorption d'eau contenue dans les vides (e).

3- Principales relations

Entre les différents termes précédemment définis, on démontre les relations suivantes :

$$\text{Densité humide } \gamma = \gamma_d (1 + W)$$

$$\text{Densité sèche } \gamma_d = \gamma_s (1 - n)$$

$$\text{Teneur en eau pondérale } W = \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) \gamma_w$$

$$\text{Densité immergée } \gamma' = (\gamma - \gamma_w)$$

$$\text{Porosité } n = \frac{V_v}{V}$$

$$\text{Indice des vides } e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

...

B. LA GAMMADENSIMETRIE

1- Appareillage

Le banc de gammadensimétrie utilisé au cours de cette étude est un équipement original, construit par le B.R.G.M à partir d'un matériel standard de mesure de radiosondage. La particularité technique de cette réalisation réside dans l'emploi d'une source de Cesium 137 de très faible activité ($\approx 100 \mu\text{Ci}$) qui a permis d'alléger considérablement la radioprotection de l'appareillage. Cette conception a conduit à un appareil de mesure à faible encombrement et poids réduit aussi performant que des dispositifs plus lourds. Il s'ensuit un intérêt pratique évident pour le transport et la mise en oeuvre *in situ*. Un tel dispositif est appelé gamma-gamma car il comprend, comme son nom l'indique, un émetteur de rayons gamma et un récepteur des mêmes rayons. Les paramètres d'enregistrement de ces diagraphies $\gamma\gamma$ sont les suivants : vitesse du chariot 6 cm/mn avec repérage sur diagramme ; constante d'intégration 4 s, seuil de la discrimination 50 keV.

2- Principe

La méthode utilisée est basée sur l'absorption de rayons γ par la matière. Le rayonnement émis par le Cesium 137 avec une énergie de 0,662 MeV est capté par un détecteur après passage à travers l'écran formé par les sédiments carottés.

Dans la gamme d'énergie de cet émetteur ($< 1,5 \text{ MeV}$), les rayons gamma entrent en collision avec les électrons des éléments constituant les sédiments (qui sont en majeure partie à nombre atomique relativement petit) et perdent une partie de leur énergie. Or, le nombre d'électrons par unité de volume de sédiments est approximativement proportionnel à leur densité et les collisions sont d'autant plus nombreuses que les sédiments sont plus denses.

...

S'il y a N_0 gammas incidents par unité de temps qui pénétrant dans un échantillon d'épaisseur x et de densité ρ , il n'y aura, en raison des interactions précédentes, que N gammas captés par le détecteur. L'atténuation du rayonnement est une fonction exponentielle de la densité de la forme :

$$N = N_0 e^{-c\rho x} \quad c = \text{coefficient d'absorption massique.}$$

La mesure du rapport $\frac{N_0}{N}$ permet la détermination de la densité apparente du sédiment ou densité humide par l'intermédiaire d'une courbe d'étalonnage réalisée à partir d'échantillons de densité connue. On opère en géométrie de mesure collimatée qui peut être qualifiée de fine. Dans le cas d'échantillons compris dans une gaine en plastique, la valeur de N_0 est l'intensité du faisceau après la traversée de l'enveloppe vide. La précision des résultats est meilleure que 1 %.

3- Relation densité humide-porosité

Pour évaluer la porosité à partir de la mesure en continu de la densité humide obtenue par gammadensimétrie, on utilise la relation :

$$\gamma = n\gamma_w + (1-n)\gamma_s \quad \text{où la définition des termes est la suivante :}$$

γ = densité humide du sédiment enregistrée sur diagramme

n = porosité

γ_w = densité du fluide interstitiel

γ_s = densité solide

Etant donné que les sédiments sont marins, et compte-tenu de l'état de saturation S_r , la densité γ_w est sensiblement égale à 1 et la porosité n est donnée directement par la formule simplifiée :

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s - (1 \times S_r)}$$

Cette formule permet d'établir une abaque qui donne une interprétation quantitative de la porosité en fonction du degré de saturation à partir des mesures de densité lues sur le diagramme (fig. 3).

RELATION POROSITE-DENSITE $\gamma\gamma$
(sédiments calcaires)

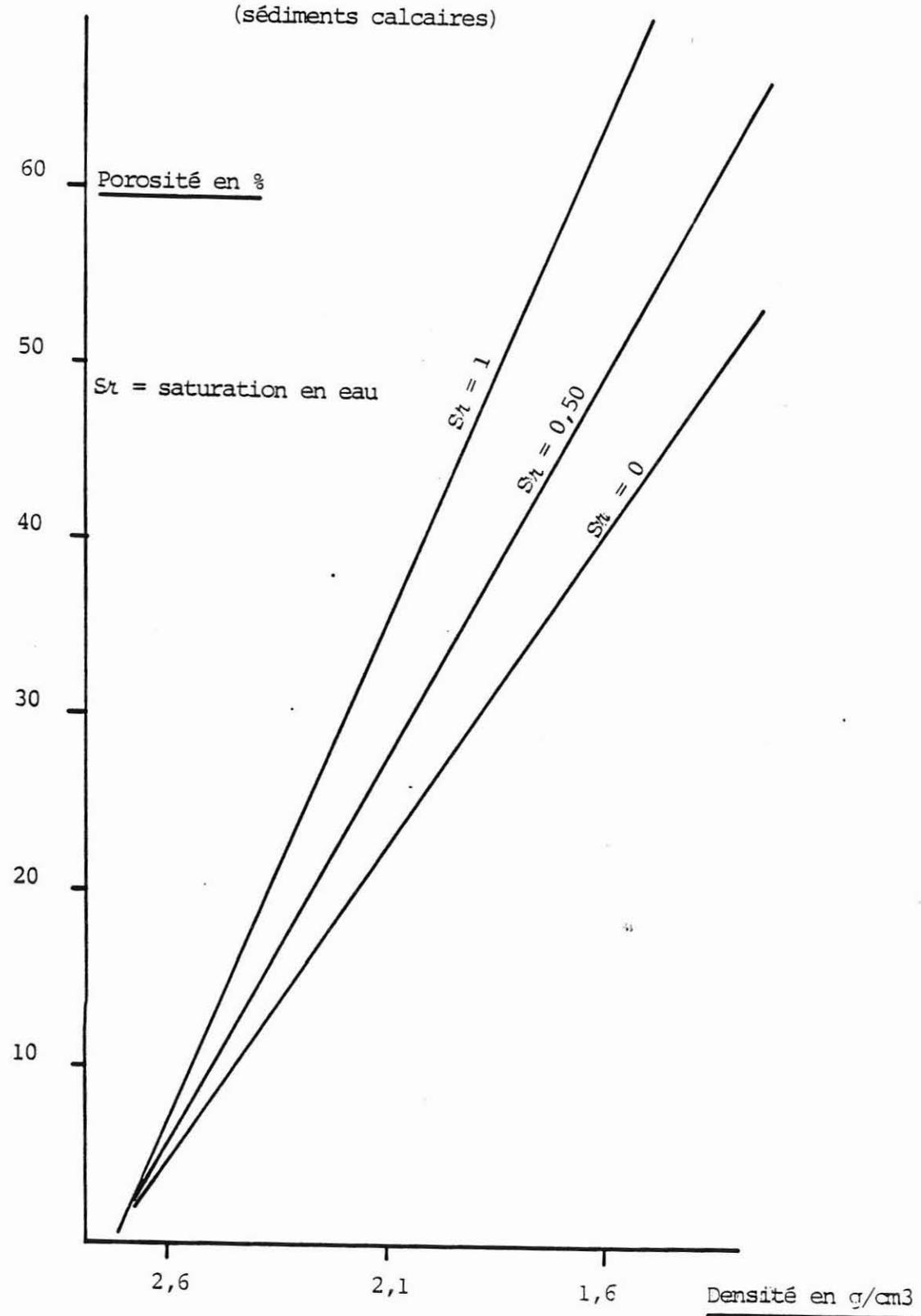


FIG. 3

La densité matricielle, en l'absence d'informations détaillées sur la nature minéralogique des sédiments, a été prise égale à 2,71 g/cm³.

C. CELERIMETRIE

La méthode utilisée est une méthode non destructive, qui permet de connaître la vitesse des sédiments contenus dans un tubage plastique, sans destruction de ce tubage. Les mesures ponctuelles ont été réalisées tous les 10 cm.

1- Appareillage utilisé

Pour les mesures des vitesses des sédiments, nous utilisons un ausculteur dynamique à ultrasons LEA SBR 2B n° 2751-3.

Cet équipement, conçu pour le contrôle des bétons et autres matériaux au moyen de la mesure de variations de vitesse ou d'amortissement des ondes dans ces matériaux, convient pour mesurer la vitesse des ondes longitudinales et, avec certaines astuces techniques, celle des ondes transversales.

Le dispositif de mesure permet d'obtenir, 50 fois par seconde, une décharge électrique qui excite une tête piézo-électrique émettrice appliquée sur une surface plane d'un échantillon, d'un tube, etc. Un train d'ondes ultrasonores de fréquence définie (100 kHz) traverse l'échantillon, arrive sur une surface plane parallèle sur laquelle est appliquée une tête piézo-électrique réceptrice qui transforme les vibrations reçues en signaux électriques. Ceux-ci sont visualisés sur l'écran d'un oscilloscope : tension en ordonnée, temps en abscisse. Le déclenchement du balayage est synchronisé avec l'émission de la décharge excitatrice. La mesure d'un temps de propagation se fait par coïncidence du front d'onde avec un crêneau commandé par une ligne de retard étalonné.

2- Détermination des vitesses de propagation du son

La technique utilisée pour l'étude des vitesses est celle de la mesure directe.

La mesure directe consiste à appliquer les deux têtes piézo-électriques sur la paroi du tubage avec une force de quelques kilogrammes de façon à ne pas perdre trop d'énergie à la traversée des contacts tête-tubage. Les contacts sont d'ailleurs améliorés en utilisant du lubrifiant.

Le temps lu sur un oscilloscope est égal à la durée de propagation de l'onde pour traverser les parois du tube ainsi que les sédiments. Il est égal à :

$$t = 2 t_p + t_s$$

t = temps lu sur l'oscilloscope

t_p = temps de propagation de l'onde dans le plastique
(terme correctif)

t_s = temps de propagation dans les sédiments

et la vitesse des sédiments est égale à :

$$V_s = \frac{d_s}{t_s} = \frac{d_s}{t - 2t_p}$$

d_s étant le diamètre intérieur du tube.

...

II. METHODES DESTRUCTIVES

A. IDENTIFICATION GEOLOGIQUE

L'identification des sédiments rencontrés a été basée sur les coupures granulométriques suivantes :

2 mm	<u>Gravier</u>
1 mm	<u>Sable très grossier</u>
0,5 mm	<u>Sable grossier</u>
0,250 mm	<u>Sable moyen</u>
0,125 mm	<u>Sable fin</u>
0,064 mm	<u>Sable très fin</u>
0,032 mm	<u>Silt grossier</u>
0,016 mm	<u>Silt moyen</u>
0,008 mm	<u>Silt fin</u>
0,004 mm	<u>Silt très fin</u>
0,002 mm	<u>Cryptite grossière</u>
	Cryptite fine

La répartition des différentes classes granulométriques a permis de classer la formation rencontrée ainsi :

- le sédiment prend le nom de la phase supérieure à 60 % de son poids (par exemple, sable, silt...);

- s'il existe une seconde phase supérieure à 30 %, on doit utiliser le groupe de noms dont le premier terme est celui qui prédomine (par exemple : sable et graviers, sable et silt);

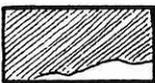
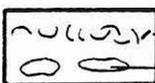
- une phase entre 10 et 30 % du total sera signalée par un adjectif;

- la présence d'une phase inférieure à 10 % sera introduite par le nom de cette phase précédée de la préposition "à".

Pour des raisons de facilités, nous avons adopté les contractions suivantes : sable (S), graviers (G), les silts (SI), cryptite (C). Ainsi un sable et gravier silteux à cryptite, (sable et graviers entre 30 et 60 %, silts 10-30 % et cryptite inférieure à 10 %), portera la contraction S et G.SI à C.

La représentation de la coupe lithologique est effectuée à l'échelle 1/10^e.

Les figures employées se rapportent essentiellement à la taille des grains rencontrés, mais on a aussi fait figurer les éléments bioclastiques.

Paraffine (bouchon)	
Sable fin	
Silt grossier	
Éléments bioclastiques	 Coquilles Matières organiques

B. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE

Les essais systématiques sont les suivants :

- mesure de la résistance à la pénétration au pénétromètre ; l'appareil est composé d'une pointe de 1 cm² de surface ayant un angle de 60° accouplée à un capteur de force relié à un enregistreur à affichage digital donnant directement des valeurs en da N/cm² ;

- mesure de la résistance au cisaillement au scissomètre ; il s'agit du scissomètre de laboratoire "WYKEHAM FARRANCE" motorisé, ce qui lui confère une vitesse de rotation constante quelle que soit la cohésion du matériau. Les équipements classiques se composent de 4 ressorts tarés et de 2 pales que l'on utilise selon les cohésions rencontrées. En fait, le scissomètre sert à mesurer le couple nécessaire au cisaillement de l'échantillon considéré. Cette mesure est exprimée en KPa.

- mesure de la teneur en eau pondérale :

$$w = \frac{Pw}{Psec} , \text{ exprimée en } \%$$

Les essais réalisés n'ont impliqué que des procédures expérimentales classiques. Toutefois, suivant la nature du matériau, surtout lorsque les grains ont une taille trop élevée, les mesures réalisées peuvent être plus ou moins fiables, cas par exemple des frottements engendrés par les sables, sur les pales d'un scissomètre ou la pointe d'un pénétromètre.

BIBLIOGRAPHIE

- B. BOSH et A. DUMAS (1977) - Mesure non destructive de la densité des carottes par absorption de rayons γ (rapport 77 SGN 027 MGA).
- B. BOSH, A. DUMAS, S. LALLIER et F. LE LANN (1979) - Reconnaissance par vibro-carottage et résultats de l'étude non destructive des sédiments carottés en rade de BREST (rapport 79 SGN 177/MAR/MCA/GPH).
- A. LALLEMAND - M. BARRES (1972) - La station expérimentale d'étude des mouvements d'eau dans la zone non saturée au service géologique national à Orléans La Source (rapport 72 SGN 295 AME).
- J.E. NAFE et C.L. DRAKE (1963) - Physical properties of marine sediments. John Wiley and sons, the sea, vol. 3, 1963, pp 794-815.
- R. DESBRANDES (1968) - Théorie et interprétation des diagraphies. 545 p., TECHNIP-PARIS.
- O. SERRA (PAU 1979) - Diagraphies différées bases de l'interprétation. TOME 1 - Acquisition des données diagraphiques. Bull. cent. rech. Explor. Prod. ELF-AQUITAINE.
- Etudes des Sondages par les méthodes SCHLUMBERGER.
- J. GREFFARD (1966) - Contribution à l'étude des relations entre propagations du son et la nature physico-chimique des sédiments marins. Rapport 90, avril 1966, B.E.O. - Marine Nationale et cahier océanographique, 1968, pp. 145-171.
- A. DUMAS (1981) - Contribution à l'étude des sédiments meubles de la campagne SEABED. Interprétation de mesures non destructives de gammadensimétrie sur carottes (rapport 81 SGN 754 MGA).

RESULTATS

10 carottages Kullenberg ont été tentés, 7 ont donné des résultats sur une faible pénétration (environ 1 m).

I. PRESENTATION DES RESULTATS

A. ESSAIS D'IDENTIFICATIONS

Les descriptions lithologiques et les analyses granulométriques (voir annexes) montrent l'existence pour l'ensemble de la zone étudiée d'un matériau assez homogène essentiellement silteux (85 %) et parfois sableux.

Les séquences lithologiques ne présentent pas de coupures franches. Ceci traduit une évolution sédimentaire progressive apparemment sans épisodes brutaux (sur la faible épaisseur reconnue ici).

Sur le site RAM IV (Nord de Port-la-Nouvelle), la granulométrie est dans l'ensemble étalée et assez continue ; les silts sont largement prépondérants.

Au Sud, sur le site RAM III, la sédimentation paraît légèrement plus hétérogène avec : - un groupe d'échantillons silteux comparable à ceux de RAM IV (voir annexes III 7 (50-65), III 6 (30-50), III 6 (80-100) - un groupe à granulométrie assez discontinue et plus serrée de sable fin entre 0,125 mm et 0,63 mm (voir annexes III 10 et III 7 (0-20)).

B. TENEUR EN EAU ET DENSITE

Deux types de mesures ont été réalisées : les mesures directes de laboratoire et les mesures indirectes de gammadensimétrie.

Les figures 4 et 5 montrent que les mesures gammadensitométriques sont relativement bien corrélées avec les mesures de densité en laboratoire pour les deux sites.

CAMPAGNES RECIFS ARTIFICIELS

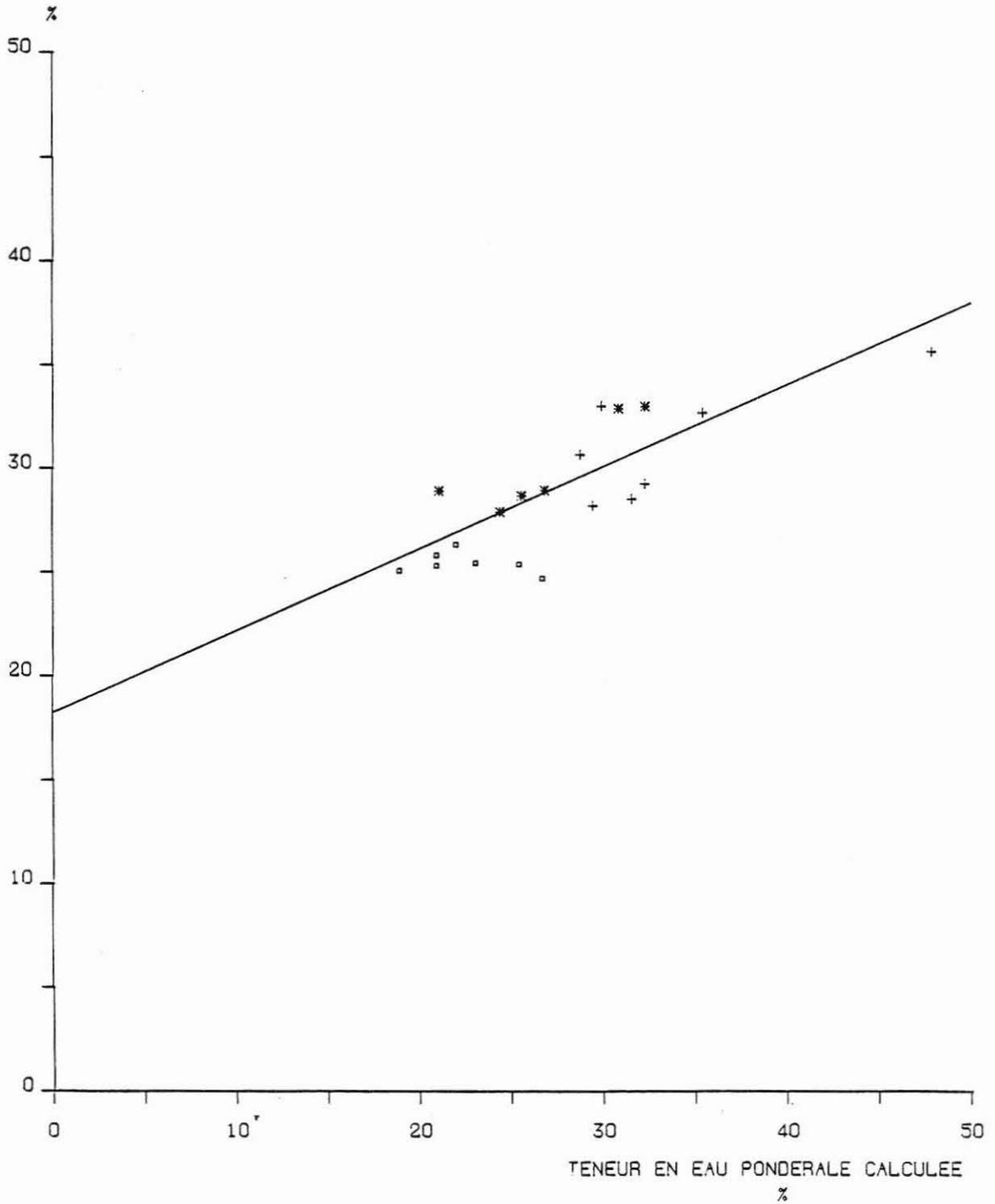
RAM III

CORRELATION TENEUR EN EAU CALCULEE - TENEUR EN EAU MESUREE

COEF. CORRELATION (VALEUR ABSOLUE) : 0.8118

$$Y = 0.39493X + 18.2073$$

TENEUR EN EAU PONDERALE MESUREE



- + : CAROTTE 6
- * : CAROTTE 7
- o : CAROTTE 10

FIG. 4

CAMPAGNES RECIFS ARTIFICIELS

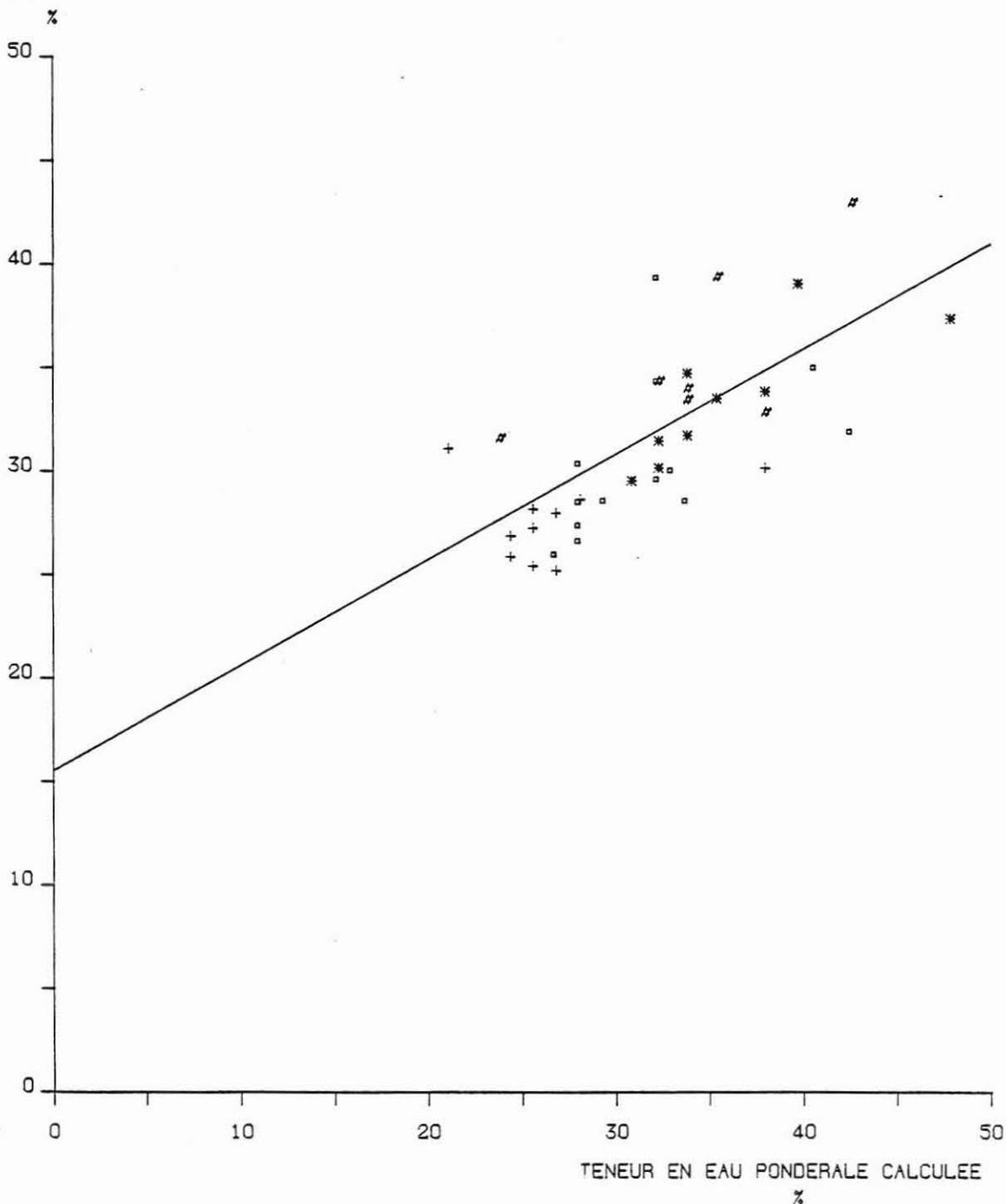
RAM IV

CORRELATION TENEUR EN EAU CALCULEE - TENEUR EN EAU MESUREE

COEF. CORRELATION (VALEUR ABSOLUE) : 0.7104

$$Y = 0.50850X + 15.5165$$

TENEUR EN EAU PONDERALE MESUREE



- + : CAROTTE 3
- * : CAROTTE 4
- # : CAROTTE 5
- ◻ : CAROTTE 11

FIG. 5

Le tableau suivant donne les valeurs moyennes de la teneur en eau :

	SITE RAM III	SITE RAM IV
Mesures laboratoires	29,5 %	32,2 %
Mesures gamma	28,4 %	32,9 %

Pour l'ensemble de la zone on peut donc retenir une valeur moyenne de teneur en eau de 31 ± 6 %.

Les densités humides (ou poids spécifique du sol humide) mesurées par gammadensitométrie sont données dans le tableau 6.

La densité humide est le paramètre de la compacité, les mesures sont donc étudiées pour chaque palier de profondeur.

En l'absence de cimentation, ce qui est le cas dans ces sédiments superficiels, la compacité du sol conditionne directement sa résistance au cisaillement et sa compressibilité.

Un rapide calcul de la moyenne de l'écart-type par palier montre une faible dispersion, donc une assez bonne corrélation d'une carotte à l'autre, et un léger gradient. Ce dernier correspond à une augmentation normale et régulière mais faible de la densité avec la profondeur.

Une densité humide moyenne de $1,94 \pm 0,06$ g/cm³ peut être retenue.

...

DENSITE HUMIDE

PROFONDEUR EN CM	RAM III					RAM IV		\bar{X}	σ	σ/\bar{X}
	6	7	10	3	4	5	11			
10	1,75	1,94	2,00	1,85	-	-	1,80	1,87	0,10	0,05
20	1,88	1,92	2,06	2,00	1,75	-	1,92	1,91	0,12	0,06
30	1,92	2,00	2,02	2,02	1,83	1,50	1,90	1,88	0,18	0,10
40	1,93	2,04	2,10	2,00	1,88	1,80	1,91	1,95	0,10	0,05
50	1,96	2,02	2,08	2,02	1,85	1,90	1,92	1,97	0,09	0,04
60	1,97	2,10	2,14	2,04	1,92	1,92	1,96	2,00	0,07	0,04
70	1,95			1,98	1,94	1,90	1,98	1,98	0,08	0,04
80	1,88			2,02	1,90	1,85	1,98	1,93	0,07	0,04
90	1,60			2,04	1,92	1,88	1,98	1,88	0,17	0,09
100	2,08			2,10	1,90	2,05	2,00	2,03	0,08	0,04
110					1,98		1,98			
120							1,92			
130							1,82			
140							2,10			

TABLEAU 6

La porosité (volume des vides par unité de volume total) présente une moyenne pour toute la zone : 44,5 %. C'est une porosité faible pour des matériaux sableux et normale pour les matériaux silteux.

C. VITESSE DU SON ET DENSITE

D'après les figures 7 et 8 on constate qu'il existe une bonne corrélation entre vitesse du son et densité gammadensitométrique pour les deux sites.

NAFE et DRAKE (1963) ont montré l'existence d'une relation entre lithologie, vitesse du son et densité à partir d'un grand nombre de mesures. On s'aperçoit que les valeurs moyennes par carottes des sites RAM III et RAM IV (tableau ci-dessous) s'inscrivent assez bien sur la courbe de NAFE et DRAKE (fig. 9).

	N° carotte	Vitesse (M/s)	Densité $\gamma\gamma$	Nombre de mesures
Site RAM III	6	669	1,89	10
	7	1 755	2,00	6
	10	1 770	2,07	7
Site RAM IV	3	1 711	2,01	10
	4	1 637	1,88	10
	5	1 653	1,85	8
	11	1 713	1,94	14

D. RESISTANCE AU CISAILLEMENT

Toutes les carottes présentent le même profil de cohésion scissométrique (voir Annexes) avec un ventre dans la partie médiane, quelle que

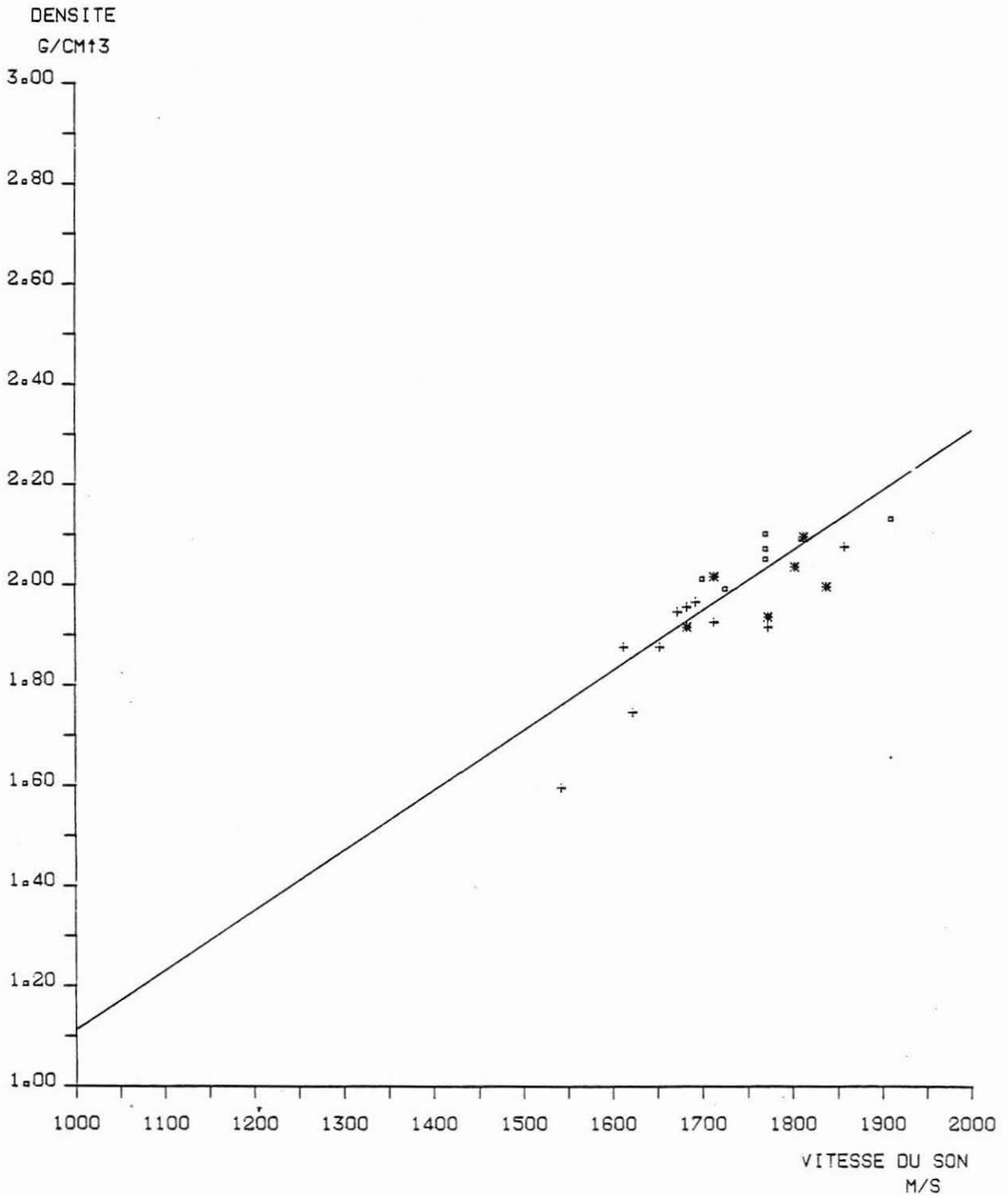
...

CAMPAGNES RECIFS ARTIFICIELS

CORRELATION DENSITE-VITESSE DES CAROTTES RAM III

COEF. CORRELATION (VALEUR ABSOLUE) : 0.8412

$$Y = 0.00119X + -0.0858$$



- + : CAROTTE 6
- * : CAROTTE 7
- o : CAROTTE 10

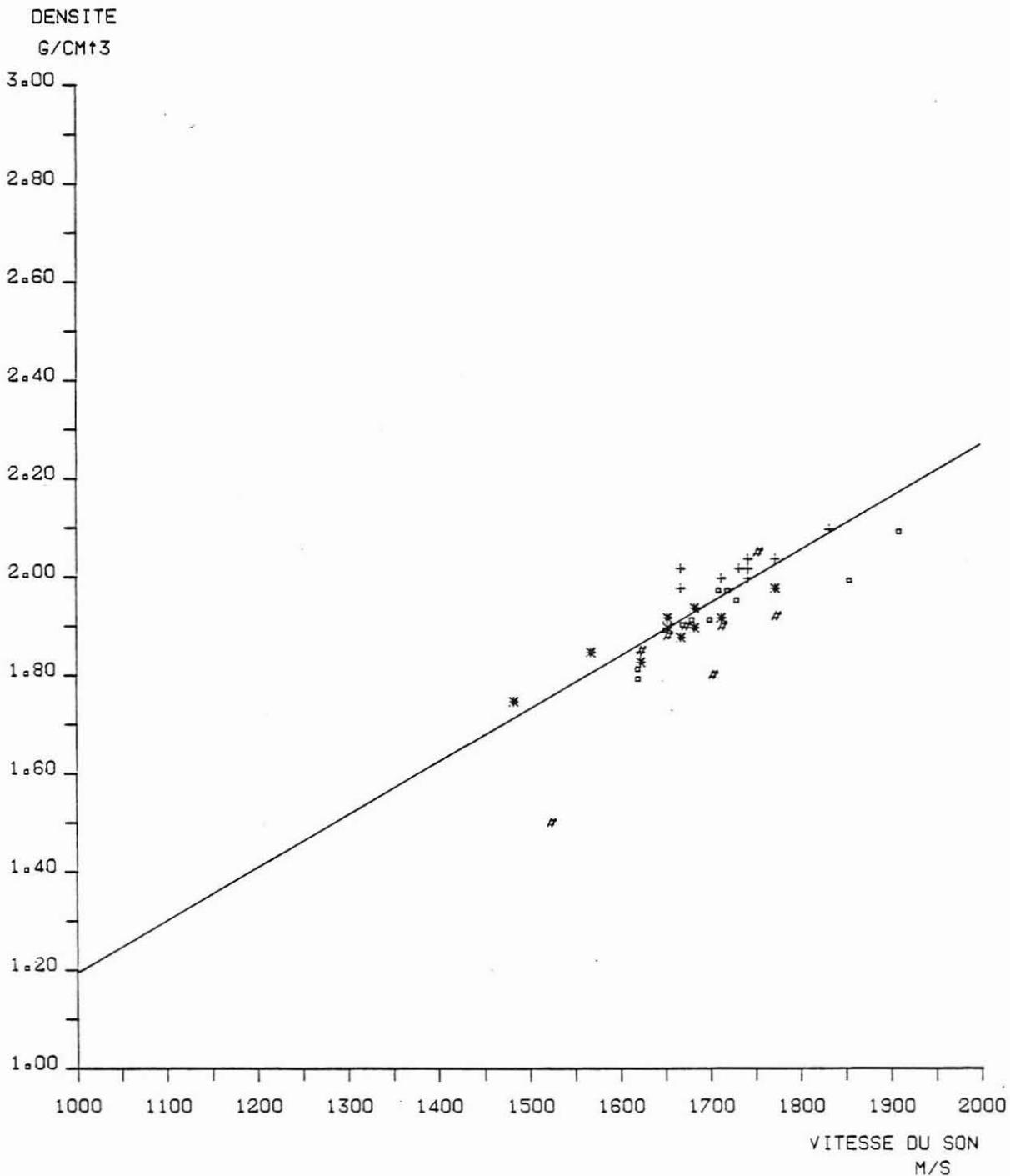
FIG. 7

CAMPAGNES RECIFS ARTIFICIELS

CORRELATION DENSITE-VITESSE DES CAROTTES RAM IV

COEF. CORRELATION (VALEUR ABSOLUE) : 0.8055

$$Y = 0.00107X + 0.1180$$



- + : CAROTTE 3
- * : CAROTTE 4
- # : CAROTTE 5
- : CAROTTE 11

FIG. 8

CORRELATION DENSITE - VITESSE.

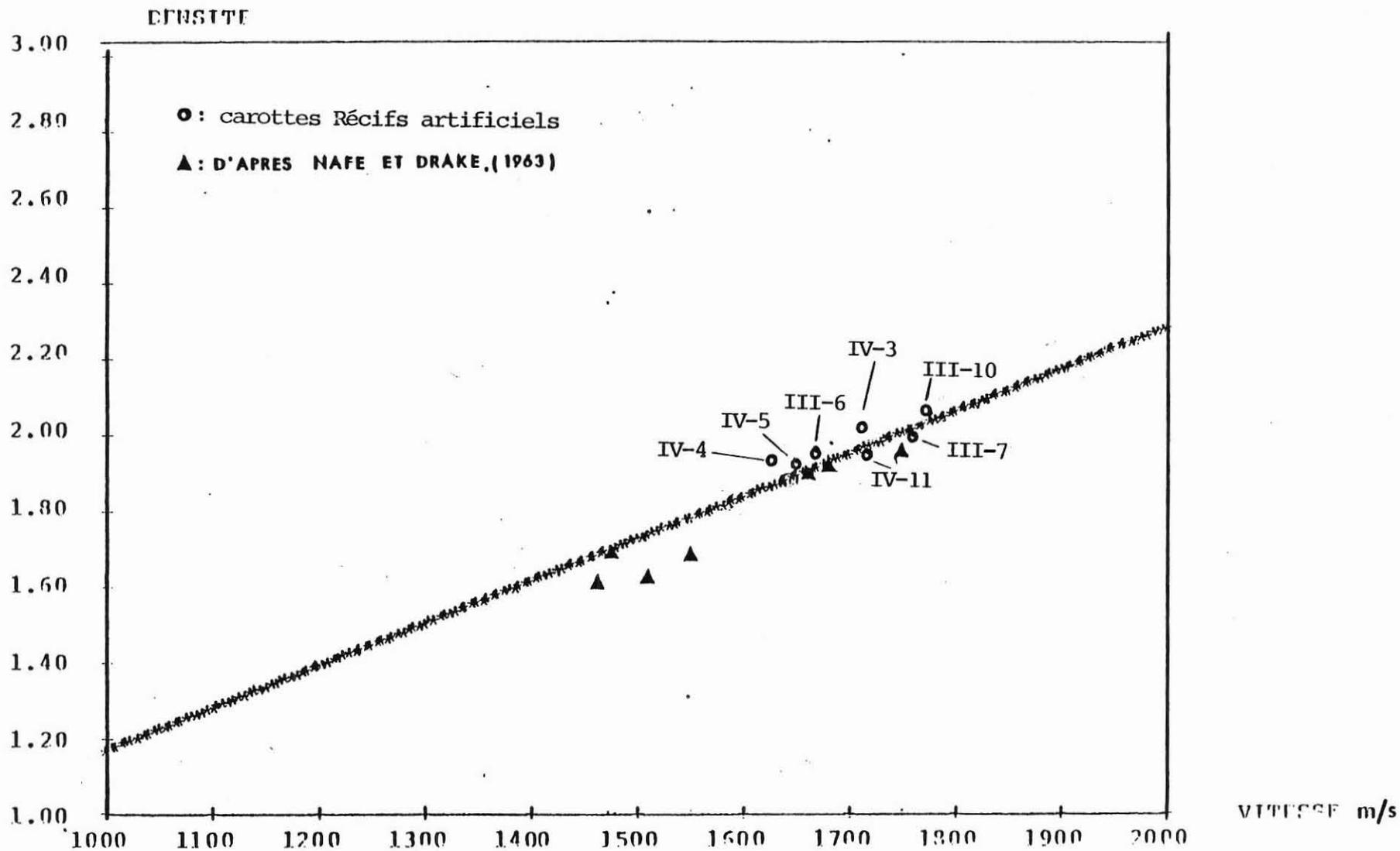


FIG. 9

EQUATIONS FONCTIONNELLES

* $Y = AX + B$

$B = 7.224795E-02$

$A = 1.090437E-03$

COEF-CORR = 0.99791

soit leur longueur. Ceci tend à prouver qu'un remaniement existerait aux deux extrémités des carottes, ce qui est d'ailleurs vérifié par le fait qu'à ces extrémités la valeur de la cohésion intacte s'approche et parfois rejoint la valeur de la cohésion remaniée.

Le problème est donc d'évaluer à partir de ces données une valeur représentative de la cohésion intacte.

Statistiquement, la distribution de toutes les valeurs de cohésion intacte (hors carottes III 10 manifestement différente par des valeurs élevées) est très hétérogène (fig. 10) alors que la cohésion remaniée est bien centrée sur une valeur moyenne (fig. 11). Ceci vérifie donc bien la notion de remaniement signalée précédemment. Cette distribution montre une valeur moyenne de $8,2 \pm 3,2$ kPa avec un pic assez marqué vers 4 kPa.

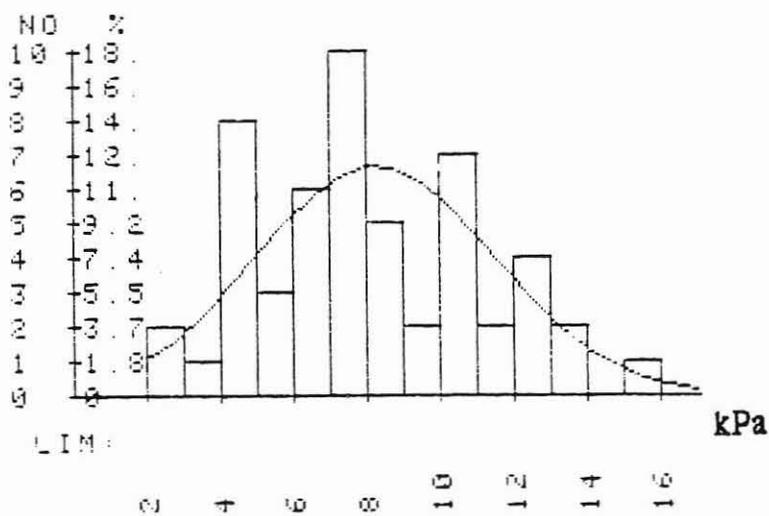
Compte-tenu de ces différentes remarques, nous proposons de prendre comme valeur représentative de la cohésion intacte des sédiments superficiels $8,2 - 3,2 = \underline{5 \text{ kPa}}$.

La sensibilité moyenne (rapport C_u intacte sur C_u remanié) est de $2,9 \pm 0,6$ ce qui signifie qu'en cas de rupture du sédiment, la cohésion effective à prendre en compte sera environ 1/3 de la cohésion intacte.

II. INTERPRETATION DES RESULTATS

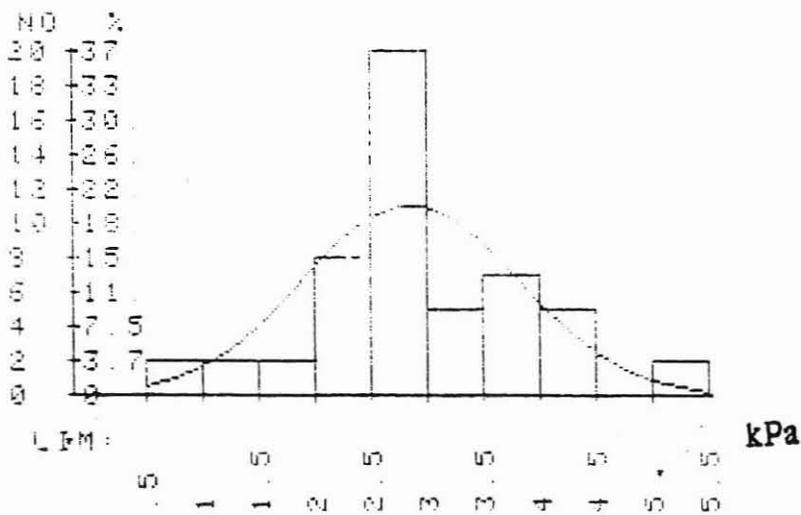
Les prélèvements effectués présentant une très faible pénétration, les conclusions données ici ne sont donc valables que pour les sédiments superficiels (1er mètre) et ne peuvent pas être extrapolés sur une plus grande profondeur.

...



* of points	54
Maximum	16.65
Minimum	2.5
Average	8.116666667
Median	7.91
Std. Deviation	3.2389428744

FIG 10: COHESION INTACTE
(distribution statistique
RAM III et IV)



* of points	54
Maximum	5.41
Minimum	0.83
Average	2.8518518519
Median	2.91
Std. Deviation	0.9616516336

FIG 11: COHESION REMANIEE
(distribution statistique
RAM III et IV)

A. CONTRAİNTE ADMISSIBLE (RUPTURE)

Dans le cas d'une mise en place en chute libre, à l'arrivée sur le fond, les récifs artificiels s'arrêtent après une pénétration initiale (D) due à l'énergie cinétique. En l'absence de mesure de l'angle de frottement interne, nous proposons de prendre l'hypothèse basse d'un sol purement cohérent. La contrainte admissible q_a est donnée par :

$$q_a = \gamma D + \frac{(2 + \pi) C_u}{F}$$

avec :

- C_u cohésion remaniée
- γ densité humide
- D profondeur de la fondation dans le sol
- F coefficient de sécurité

Le calcul de la pénétration initiale (D) ne peut se faire qu'en connaissant les dimensions des ouvrages. En effet, si l'on considère que l'énergie cinétique est égale à l'énergie absorbée par le sol, soit :

$$1/2 mV^2 = 5,14 C_u \cdot S \cdot D$$

m = masse du récif, V = vitesse d'arrivée sur le fond,
 S = surface de contact au sol : paramètres dépendant de la dimension des récifs qui nous est inconnue.

La contrainte admissible peut être calculée pour plusieurs cas de pénétration initiale (D). Le coefficient de sécurité par rapport à la rupture $(\pi + 2) C_u$ est pris égal à 2.

D	q_a
0 cm	12,9 kPa
10 cm	14,8 kPa
100 cm	16,7 kPa

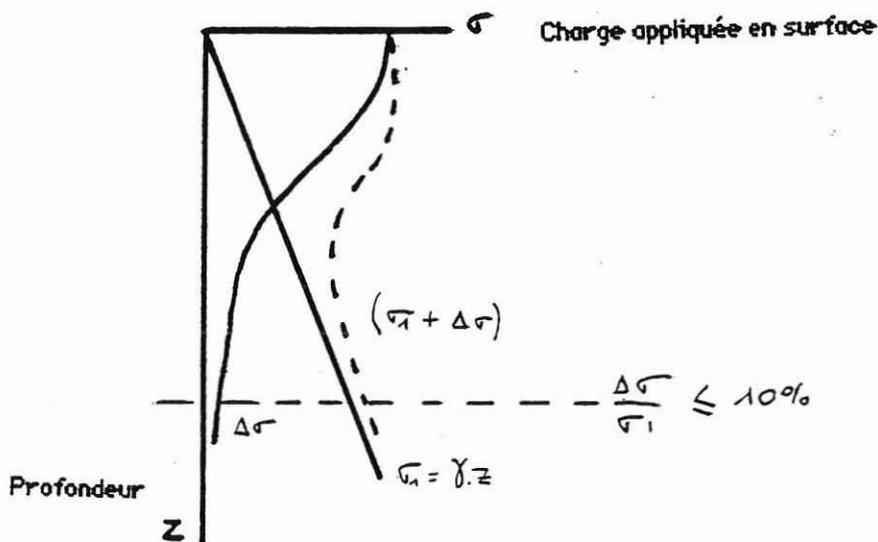
Nous proposons donc de retenir $q_a \approx 13 \text{ kPa} = 130 \text{ g/cm}^2$

B. TASSEMENT

- La pénétration initiale ou enfoncement instantané dû à l'impact pourra être évaluée d'après la formule précédemment citée en fonction des dimensions des ouvrages.

- Le tassement correspondant à la consolidation primaire (phase plus lente dans le temps pendant laquelle la surpression interstitielle est dissipée) ne peut être évaluée en l'absence d'essais de compressibilité permettant de mesurer la diminution de l'indice des vides en fonction de la charge appliquée.

Pour évaluer ce tassement, il est également nécessaire de tenir compte des dimensions de l'ouvrage. En fonction de la charge appliquée, il convient d'évaluer la profondeur à laquelle l'augmentation de contrainte est égale à 10 % de la contrainte initiale ($\gamma Z =$ pression lithostatique) (fig. 12). On estime que l'augmentation de contrainte induit un tassement jusqu'à cette profondeur.



Evaluation de la profondeur Z pour $\frac{\Delta\sigma}{\sigma_1} \leq 10\%$ (profondeur d'investigation nécessaire pour le calcul du tassement)

Figure 12

A titre d'exemple, un bloc de béton appliquant une charge circulaire de 2 T/m^2 idéalement répartie sur un diamètre de 1 m provoquerait une augmentation de contrainte verticale de 10 % à 1,5 m de profondeur. Un bloc appliquant la même charge par unité de surface (2 T/m^2) sur un diamètre de 10 m provoquerait la même augmentation de 10 % à 6 m de profondeur.

Dans le cas de l'existence de couches compressibles (du type argile) non reconnues en profondeur, certaines hypothèses conduiraient donc à des risques de tassement non négligeable.

- Le tassement secondaire : il s'agit de la consolidation secondaire intervenant après le tassement primaire et qui correspond à un fluage du squelette minéral solide du sol. Il continue à se manifester très longtemps après le tassement primaire. Dans le cas de sédiments récents, comme c'est le cas ici, il peut se produire mais est très difficile à évaluer.

Il convient de ne pas confondre tassement et enfouissement. L'enfouissement provoqué par la sédimentation due au changement des conditions hydrodynamiques engendré par la présence des récifs risque d'être un phénomène beaucoup plus important que le tassement propre.

RECOMMENDATIONS

L'analyse et l'interprétation des mesures géotechniques réalisées pour ce projet indiquent qu'il est délicat d'évaluer tous les risques de tassement en l'absence d'une reconnaissance trop limitée en profondeur dans la couverture sédimentaire meuble (pénétration maximum des carottages : 1,40 m).

D'autre part, dans le cas d'une mise en place en chute libre des structures, les paramètres caractérisant le sol sont indiqués pour la détermination de l'enfoncement initial ; les calculs ne pouvant être faits qu'à partir de la connaissance des dimensions des ouvrages.

Le contexte géotechnique des sites d'immersion suggère une mise en place qui répartirait uniformément les charges afin d'éviter le poinçonnement du sol ; des mesures périodiques d'enfoncement pourraient être réalisées après la mise en place des structures (par exemple : piézomètre différentiel).

Ces conclusions sont faites sans tenir compte du contexte hydrodynamique qu'il est primordial de connaître pour apprécier les phénomènes d'affouillement ou de sédimentation.

Enfin, il faut souligner que ce type d'études géologiques doit se faire selon un plan ordonné :

- reconnaissance large par sonar latéral pour déterminer l'emplacement le plus judicieux des sites d'aménagement,
- carottages profonds,
- essais de laboratoire plus complets.

ANNEXES

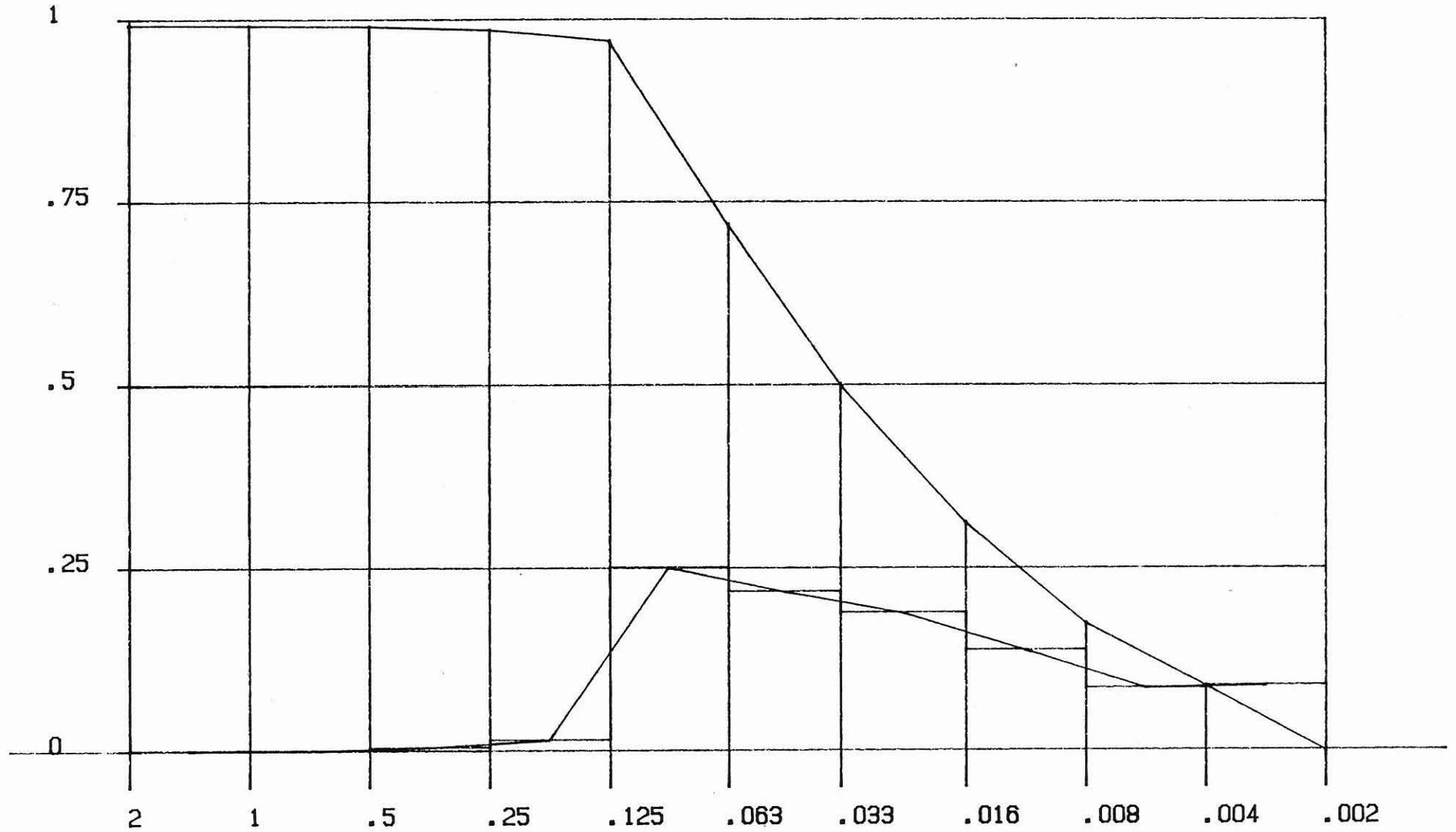
LISTE DES ANNEXES

- . Bilan du programme expérimental
- . Courbes granulométriques
- . Fiches récapitulatives
- . Fuseaux granulométriques
- . Mesures de cohésion

BILAN DU PROGRAMME EXPERIMENTAL

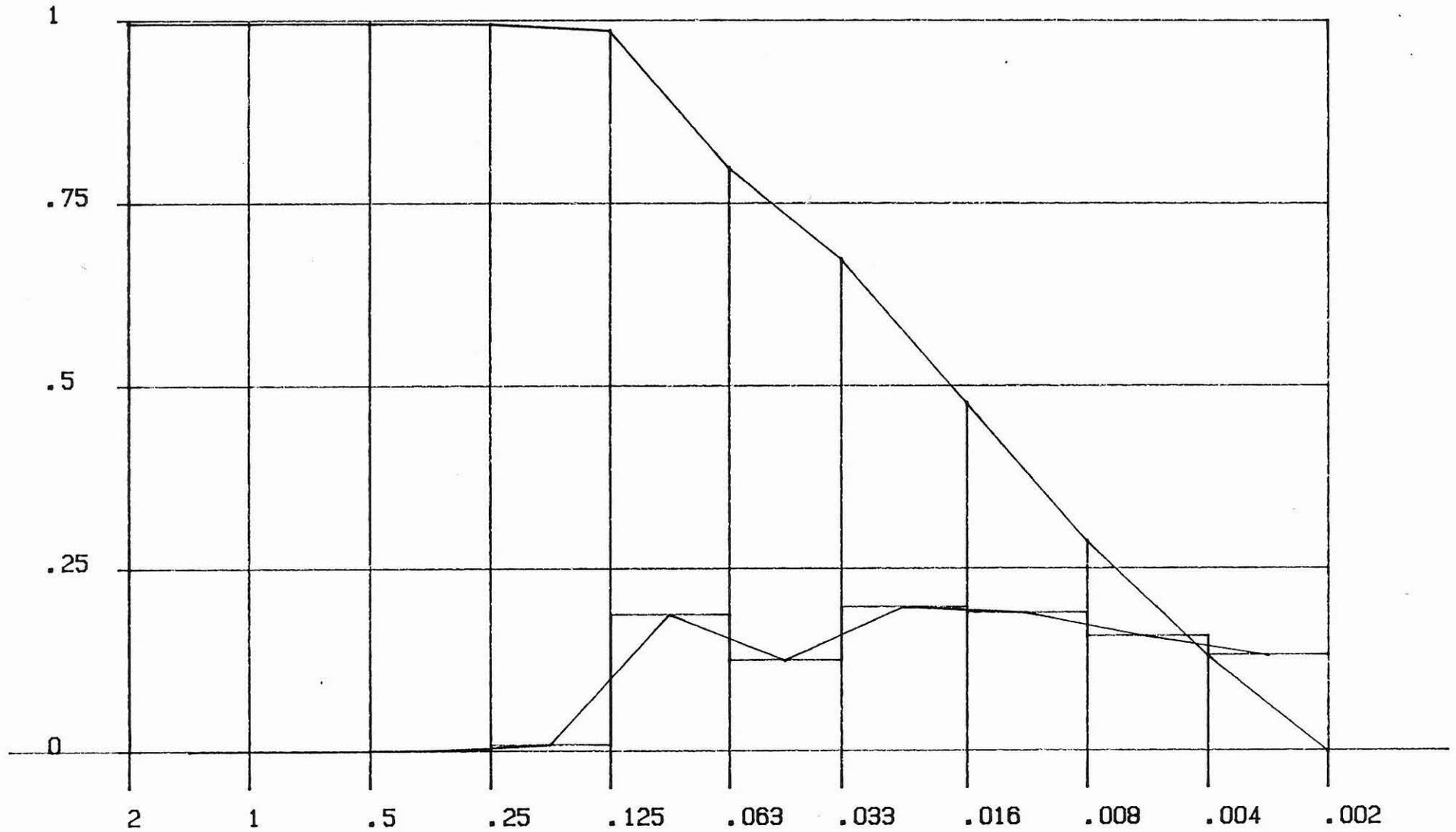
N° carottage	Teneur en eau	Cohésion	Résistance de pointe	Analyses granulométriques	Densité (porosité)	Célérité
IV 3	10	20	10	2	10	10
IV 4	9	18	9	2	10	10
IV 5	10	20	10	2	9	9
III 6	9	18	9	2	10	10
III 7	6	12	6	2	6	6
III 10	7	14	7	1	7	7
IV 11	13	26	13	3	14	14
TOTAUX 7	64	128	64	14	66	66

IFREMER-Brest



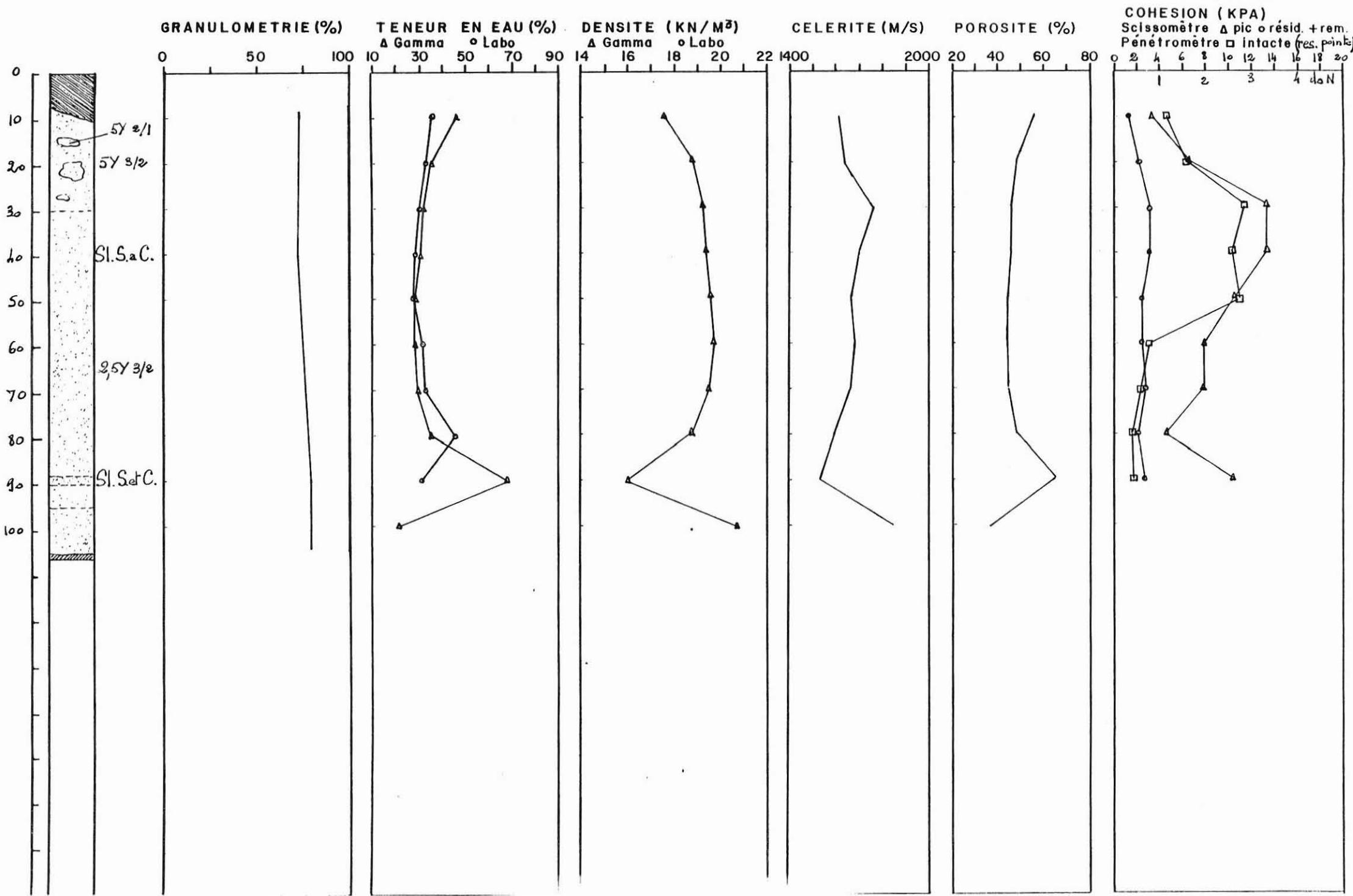
RAM-III-6 30-50

SILT SABLEUX A CRYPTITE

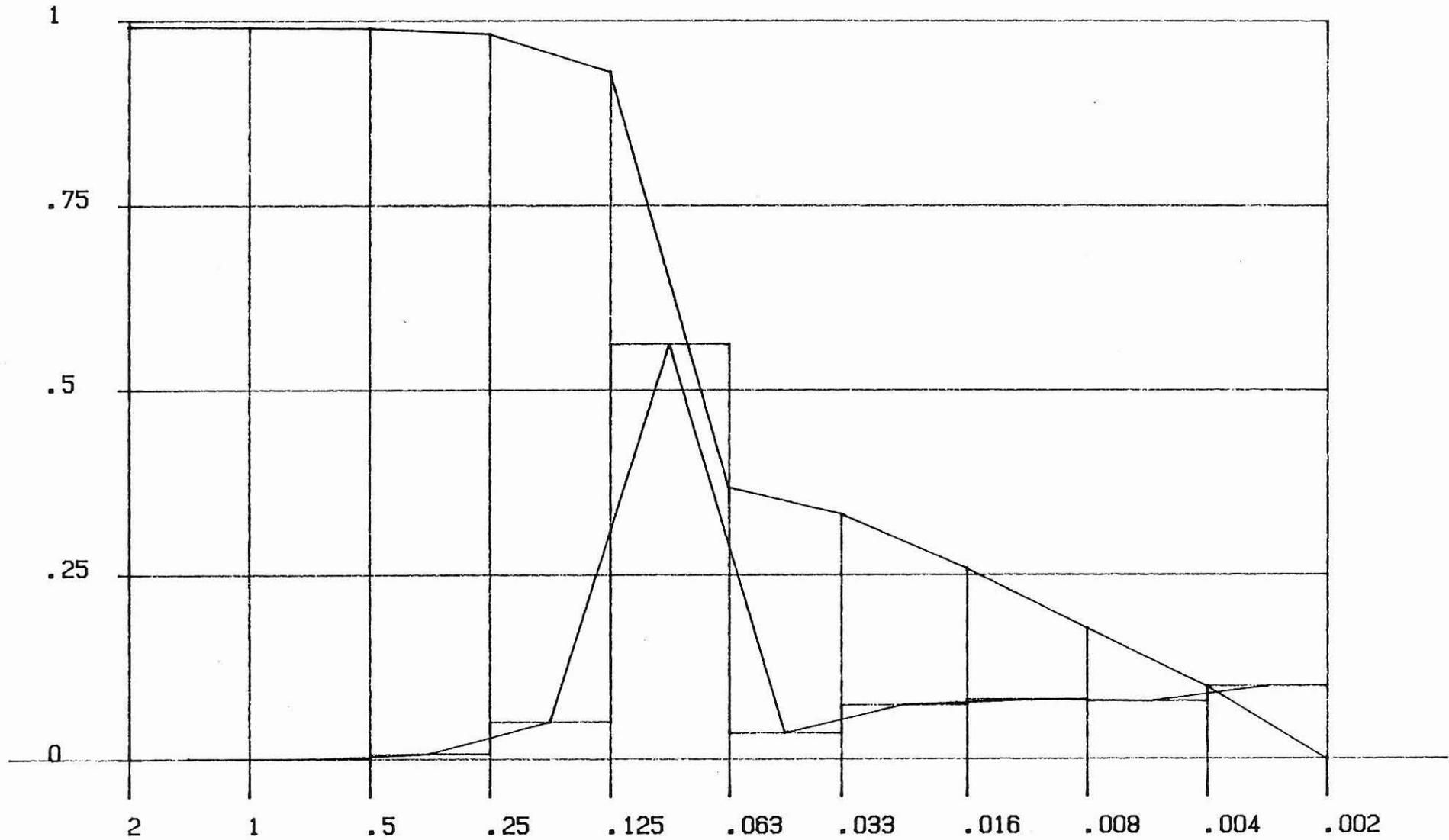


RAM-III-6 80-100

SILT SABLEUX ET CRYPTÉUX



IFREMER-Brest



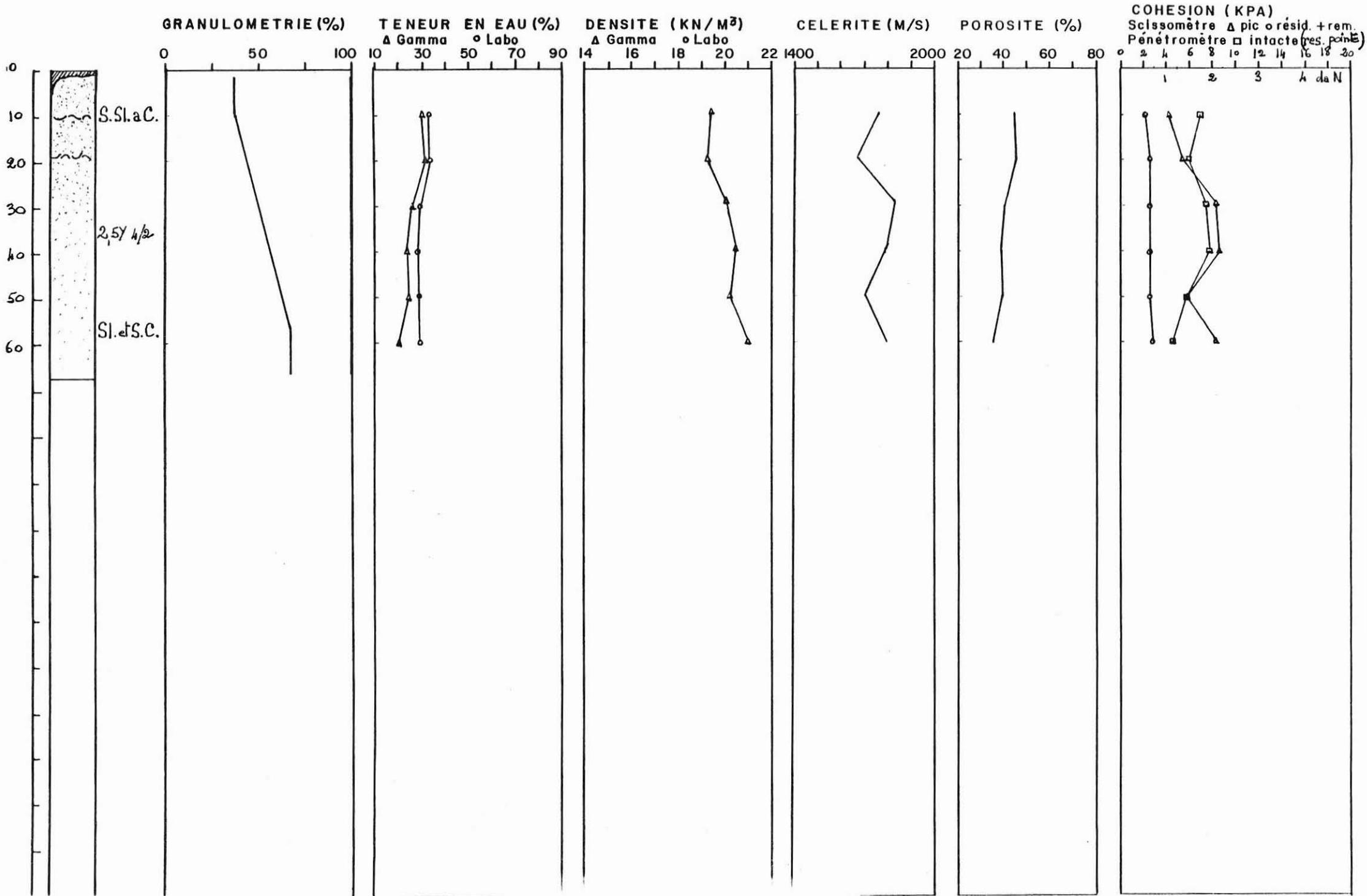
RAM-III-7 0-20

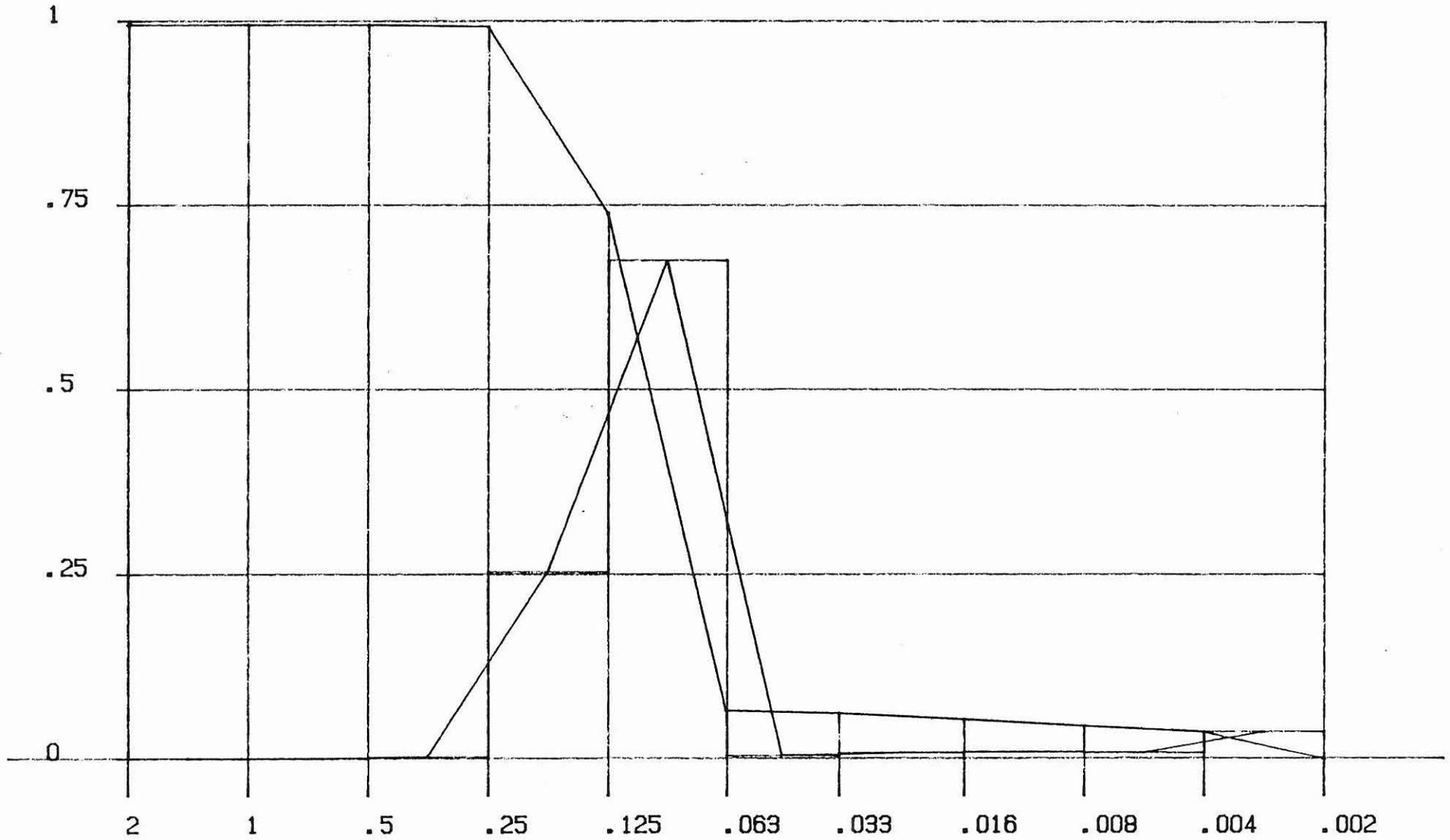
SABLE SILTEUX A CRYPTITE



RAM-III-7 50-65

SILT ET SABLE CRYPTÉUX





RAM-III-10

SABLE A CRYPTITE ET SILT

RAM

Carottage n° III 101

GRANULOMETRIE (%)

TENEUR EN EAU (%)

DENSITE (KN/M³)

CELERITE (M/S)

POROSITE (%)

COHESION (KPA)
Scissomètre Δ pic ○ résid. + rem.
Pénétromètre □ intacte (res. pointe)

0 50 100

10 30 50 70 90

14 16 18 20 22

1400 2000

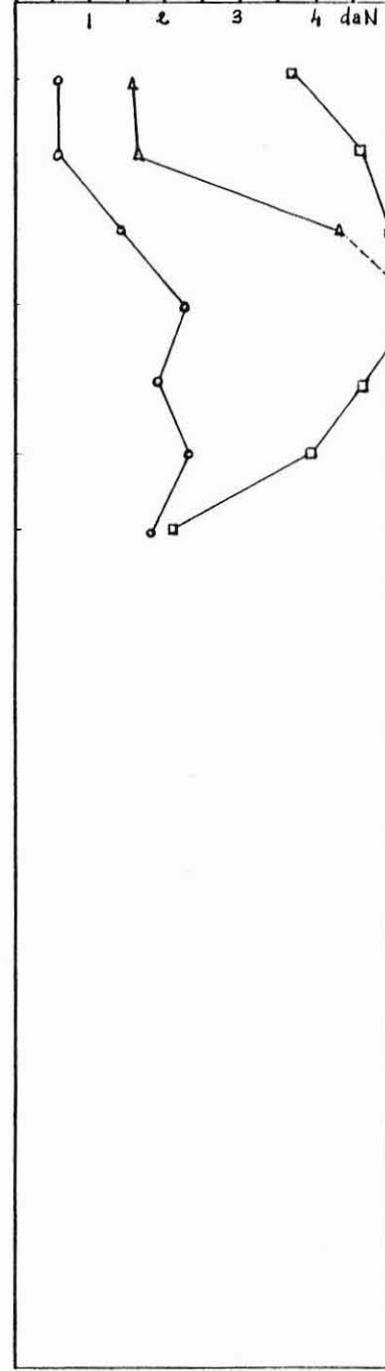
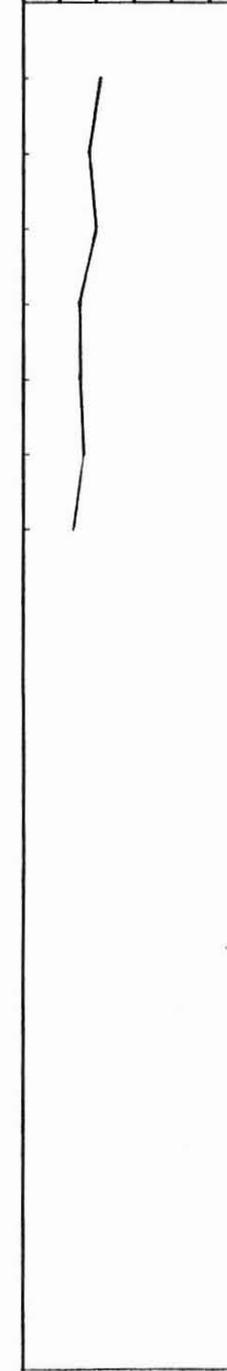
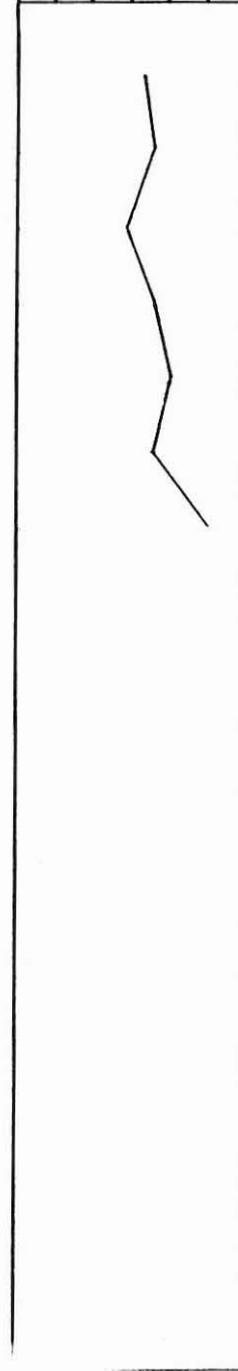
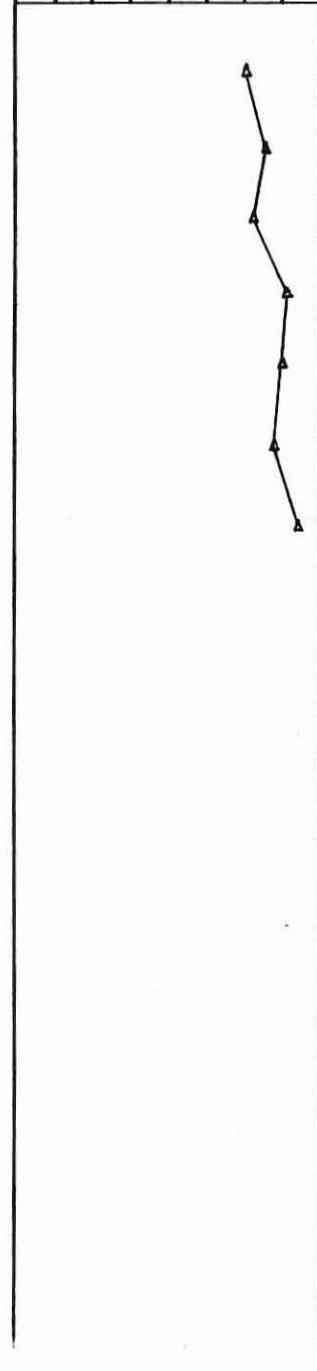
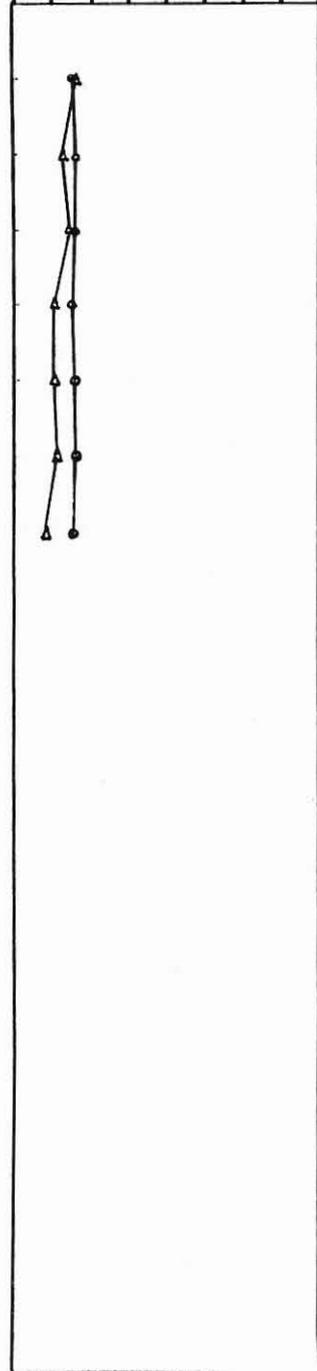
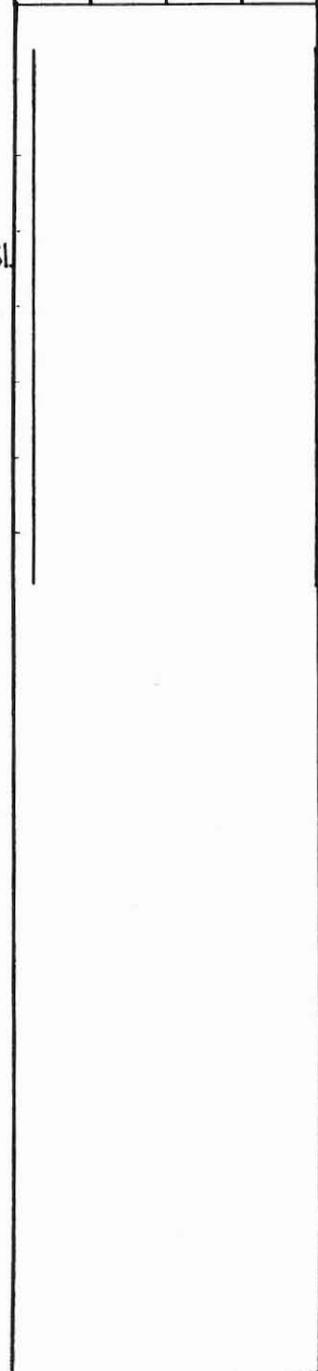
20 40 60 80

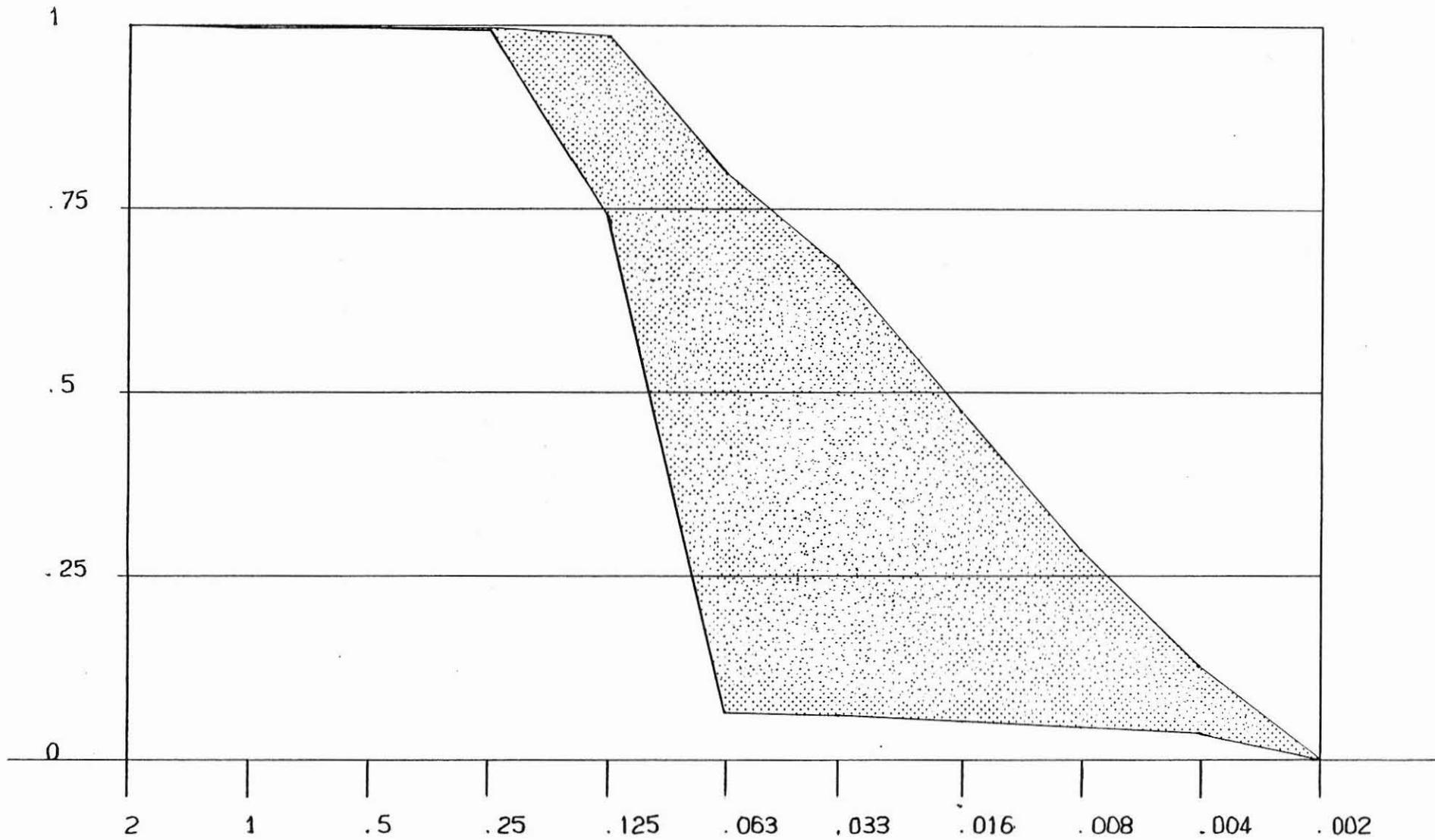
5 10 15 20 30 35 40 45 50
1 2 3 4 daN

0
10
20
30
40
50
60
70



S.a.C. et SL
2,5Y 5/2

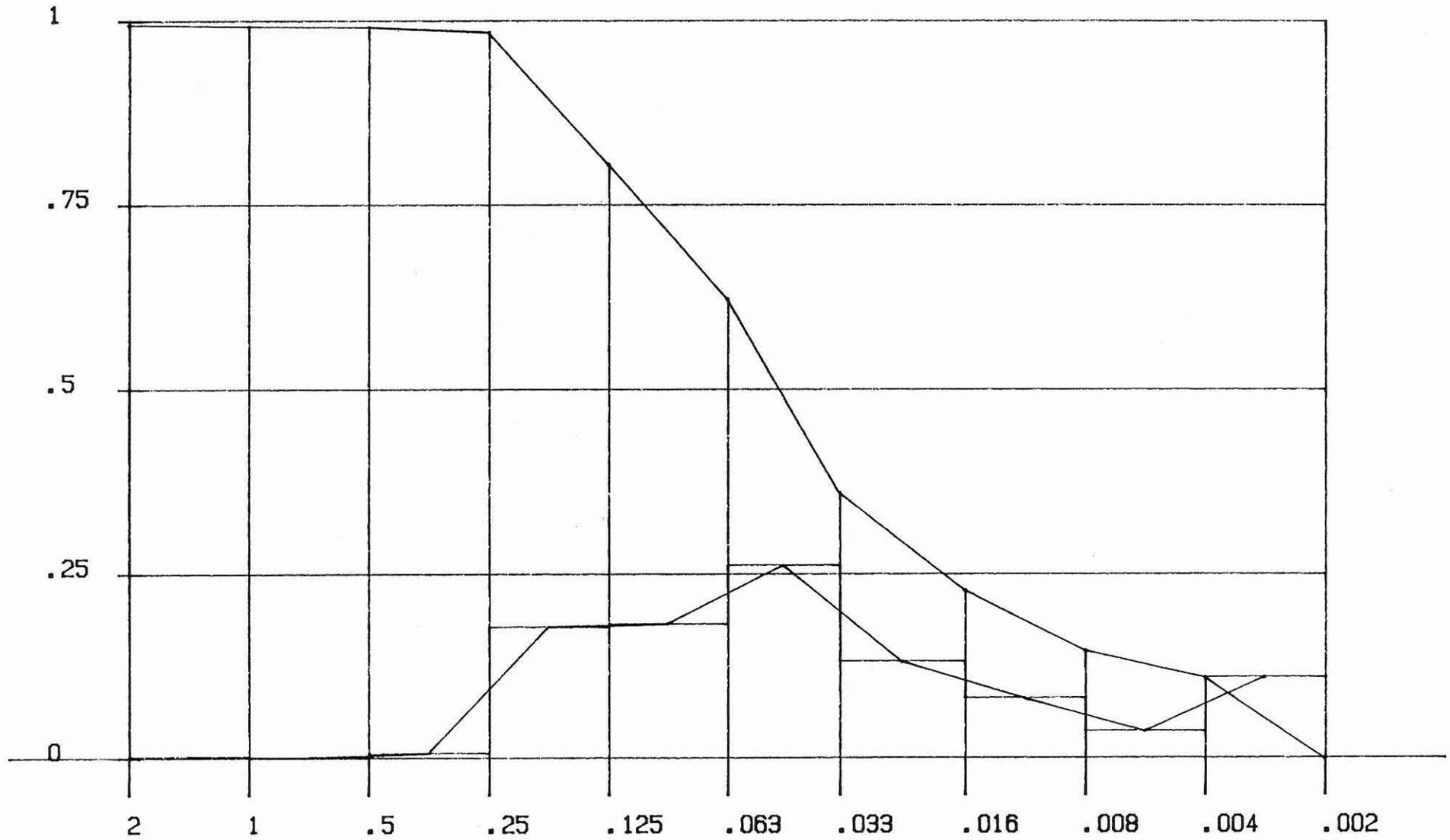




RAM-III

FUSEAU GRANULOMETRIQUE

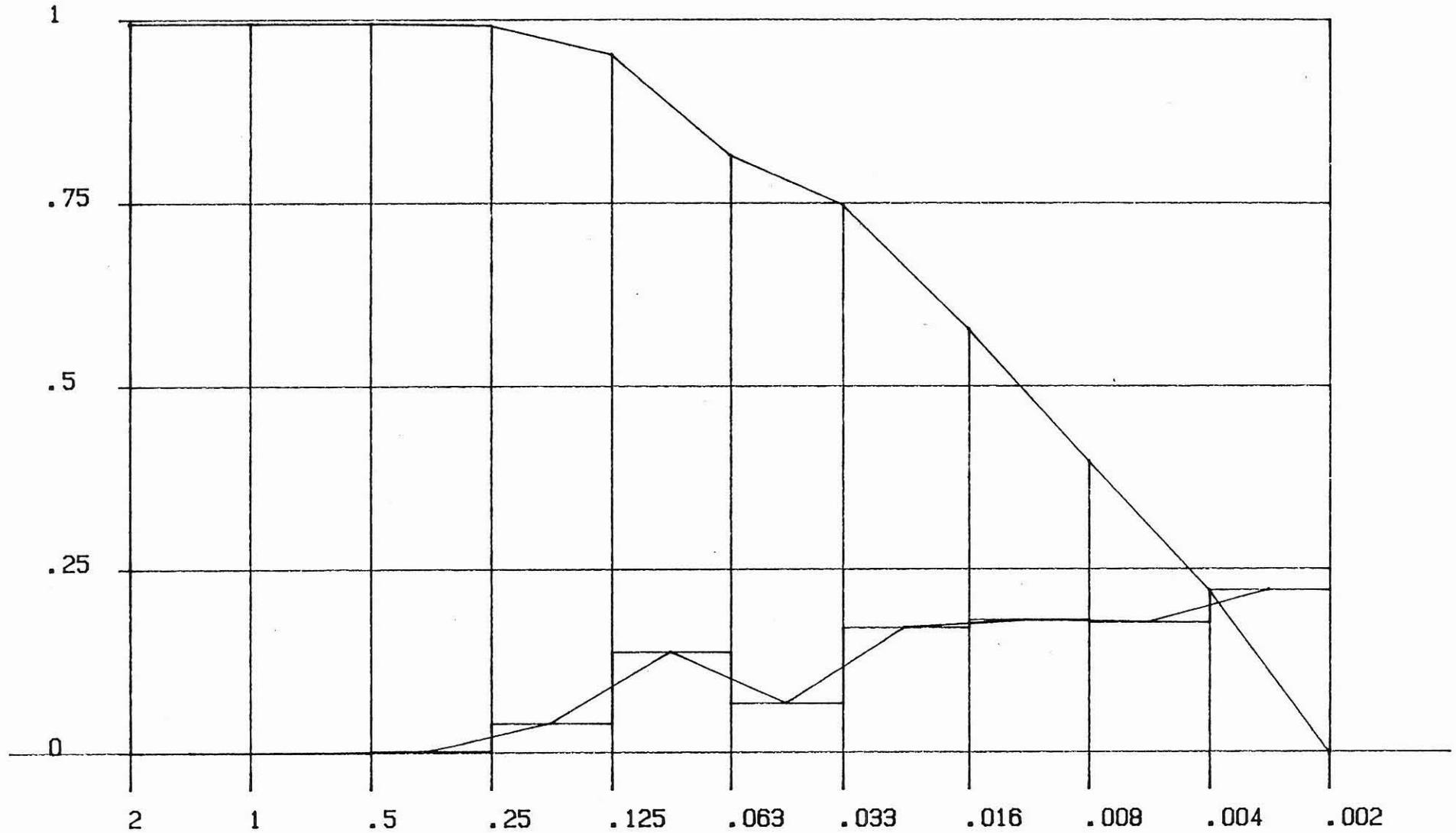
IFREMER-Brest



RAM-IV-3 0-40

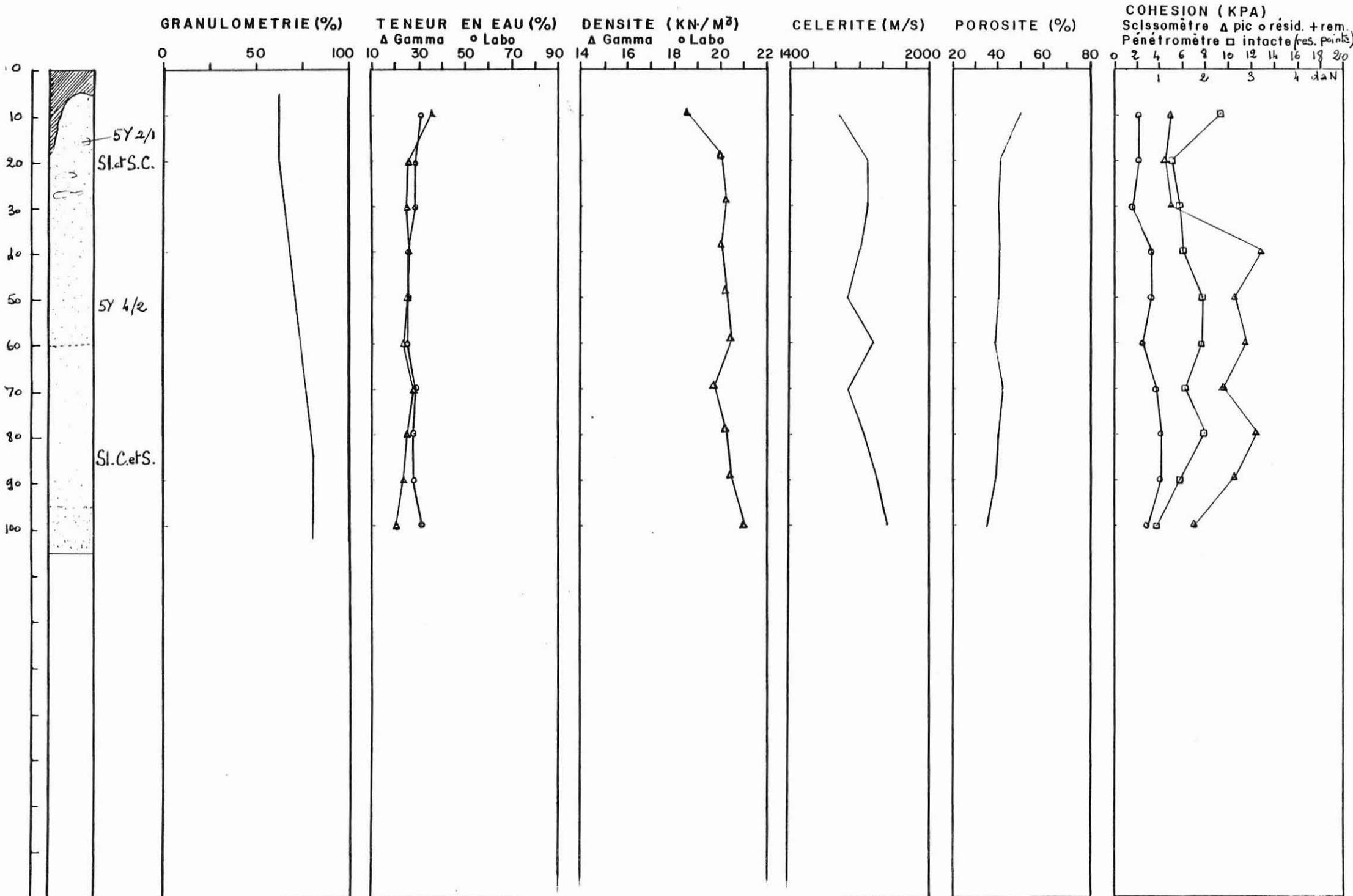
SILT ET SABLE CRYPTeux

IFREMER-Brest

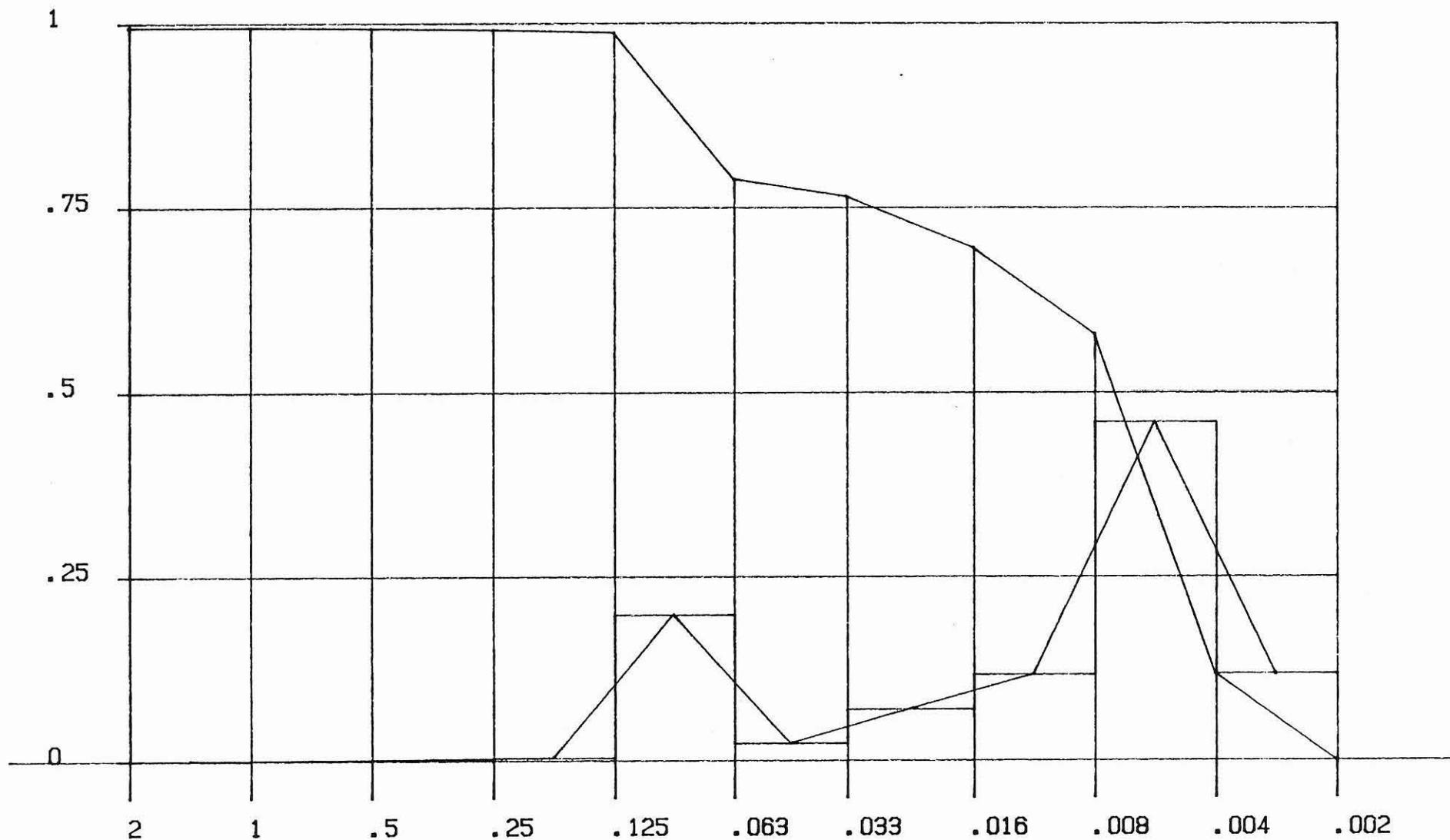


RAM-IV-3 70-100

SILT CRYPTÉUX ET SABLEUX



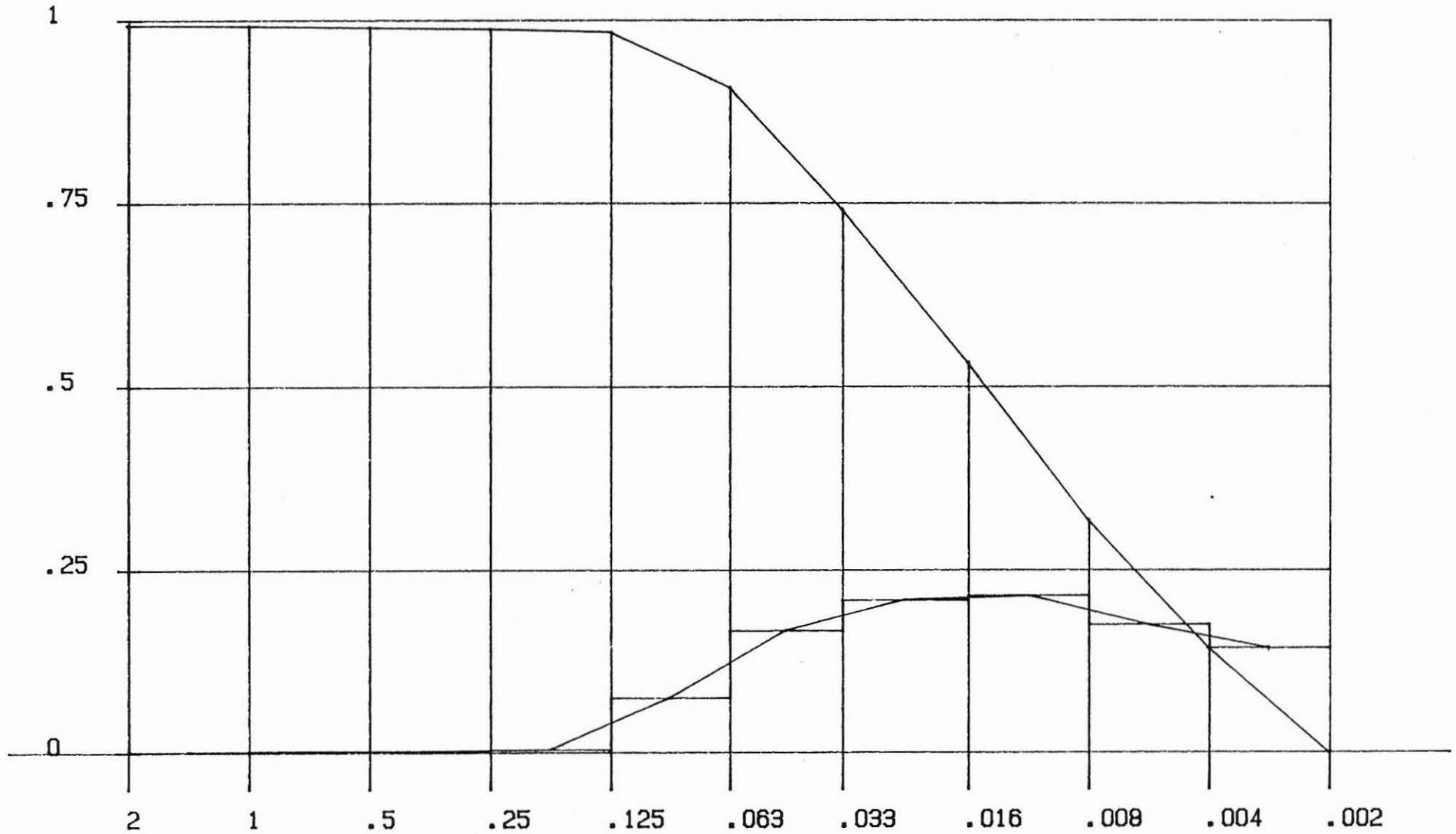
IFREMER-Brest



RAM-IV-4 20-40

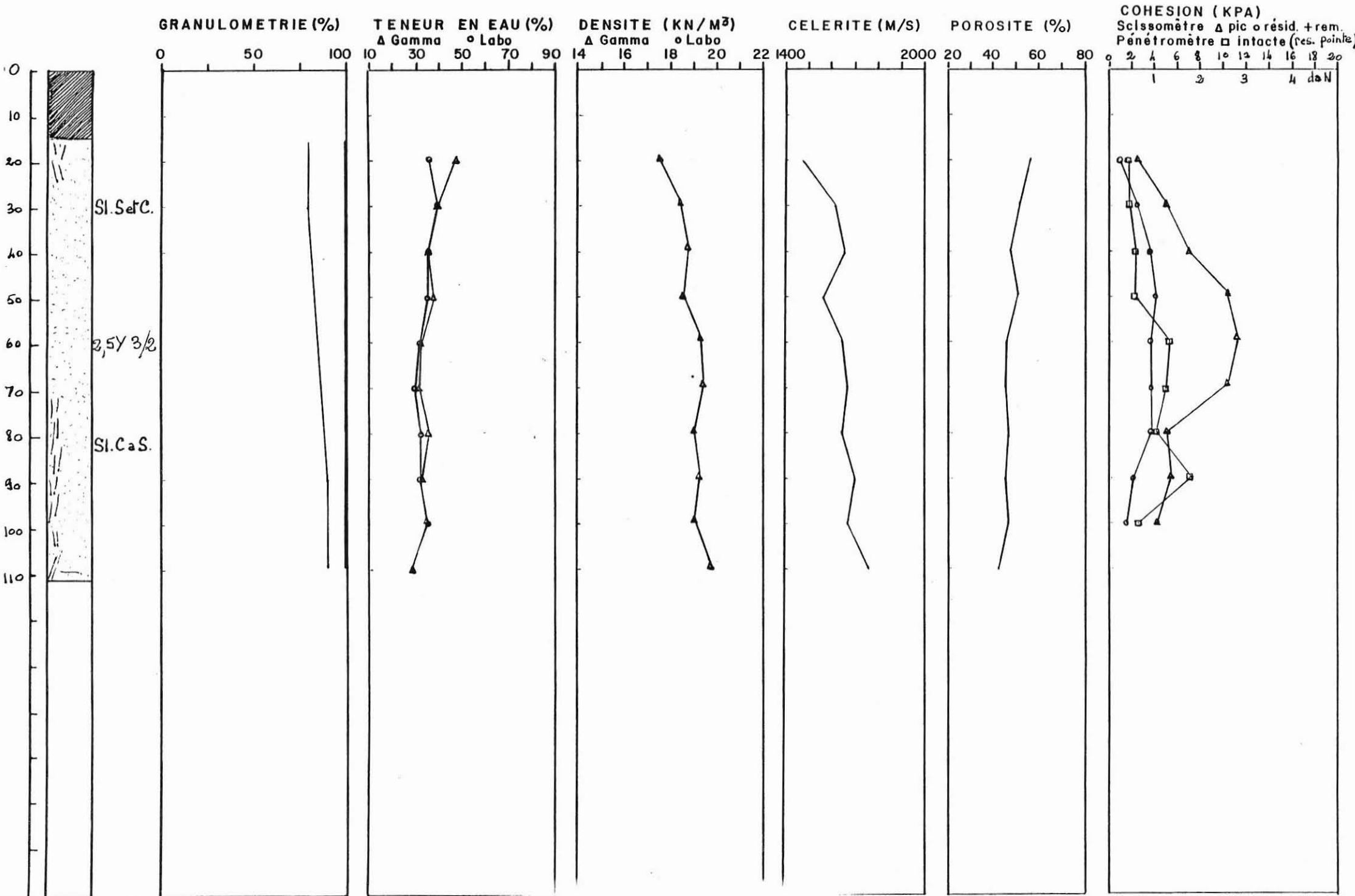
SILT SABLEUX ET CRYPTÉUX

IFREMER-Brest

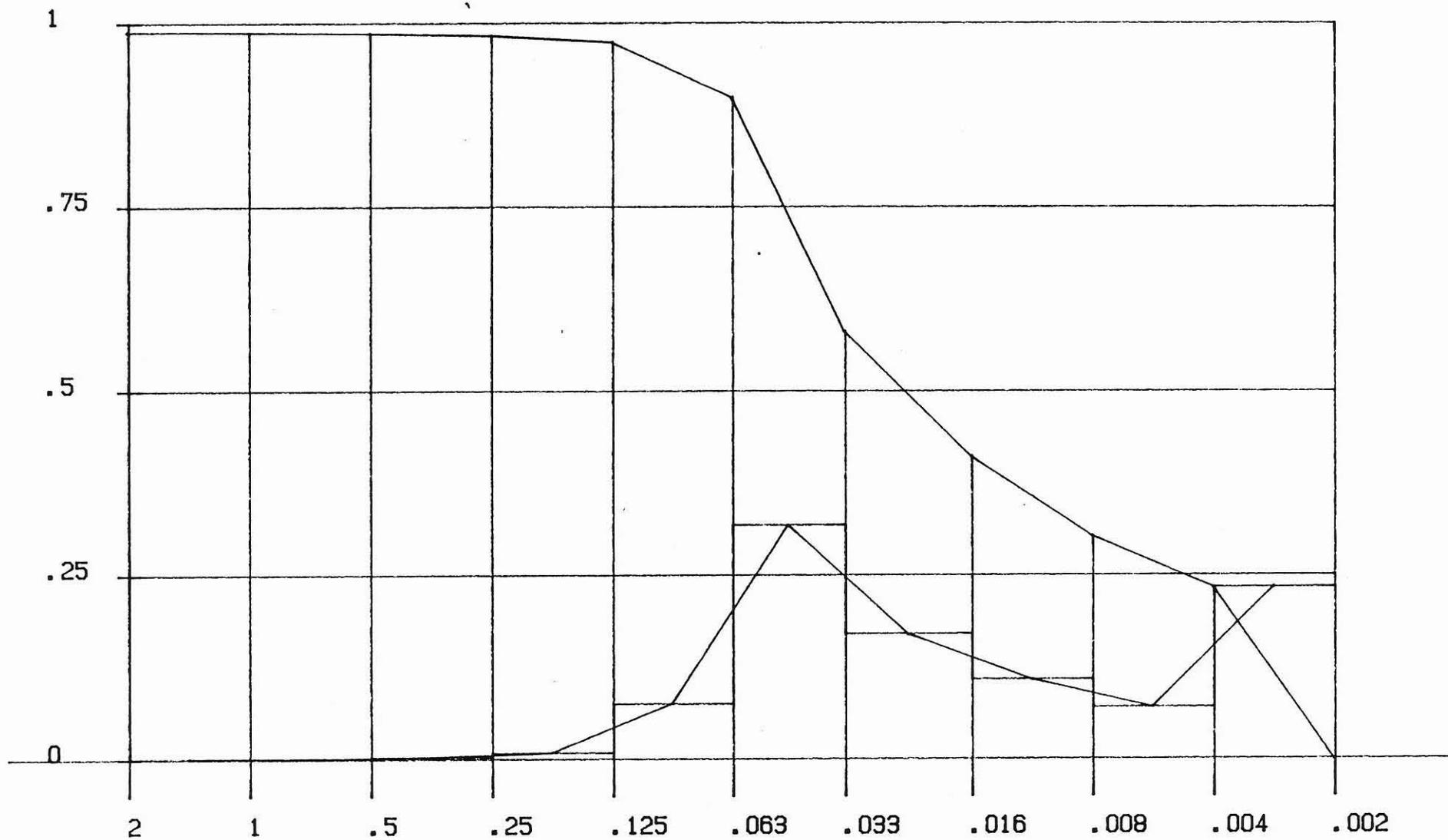


RAM-IV-4 70-95

SILT CRYPTÉUX A SABLE



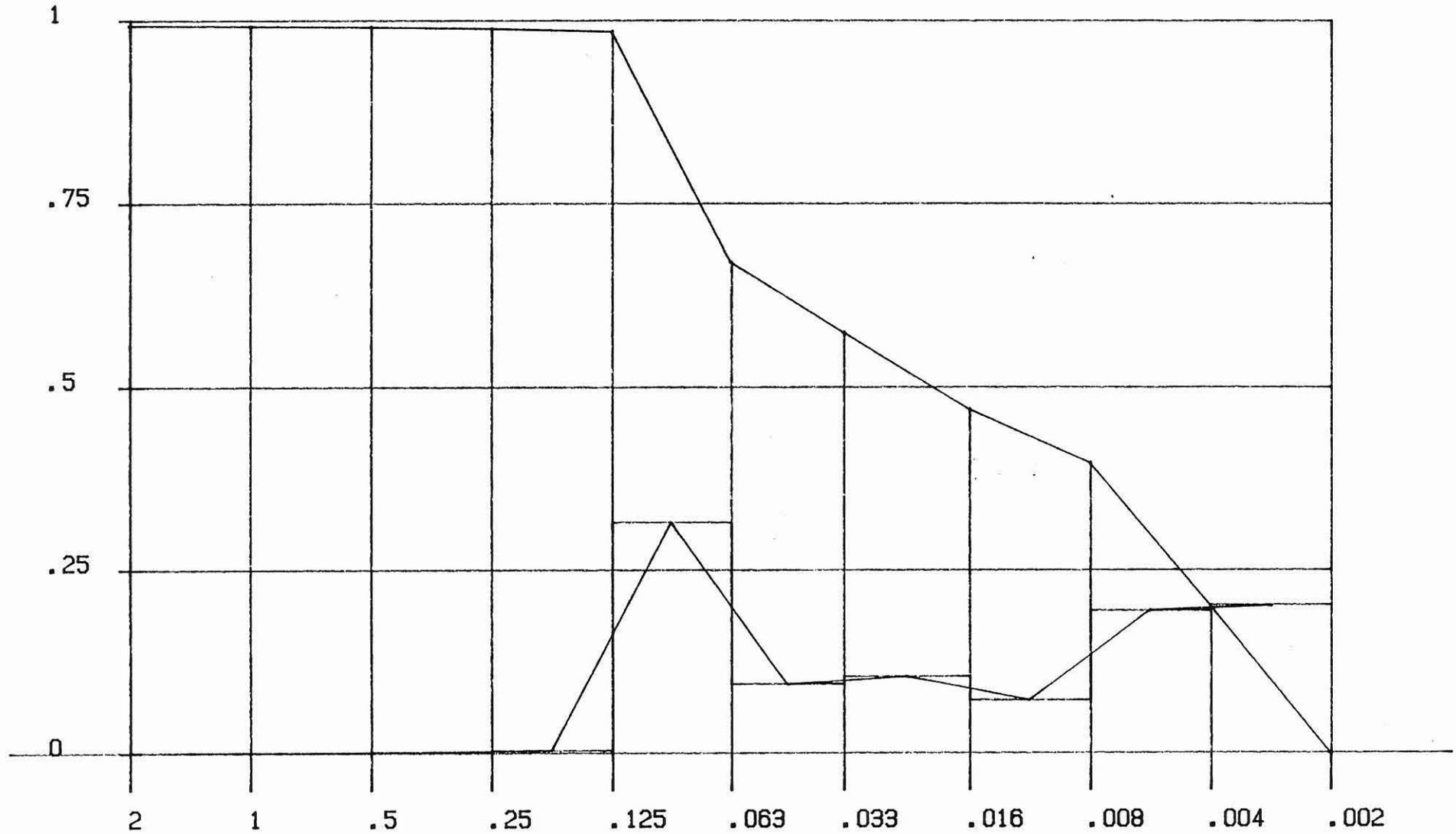
IFREMER-Brest



RAM-IV-5 10-30

SILT CRYPTÉUX A SABLE

IFREMER-Brest



RAM-IV-5 90-110

SILT ET SABLE CRYPTÉUX

GRANULOMETRIE (%)

TENEUR EN EAU (%)
Δ Gamma ○ Labo

DENSITE (KN/M³)
Δ Gamma ○ Labo

CELERITE (M/S)

POROSITE (%)

COHESION (KPA)
Scissomètre Δ pic ○ résid. + rem.
Pénétrömètre □ intacte (res. pointe)

0 50 100

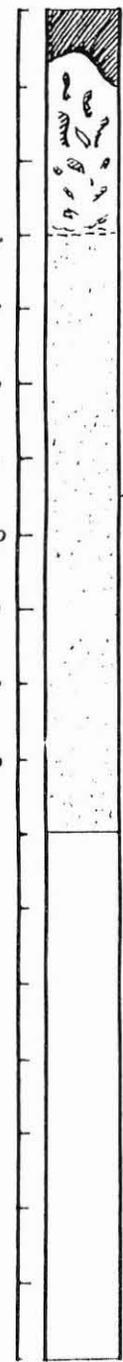
10 30 50 70 90

14 16 18 20 22

1400 2000

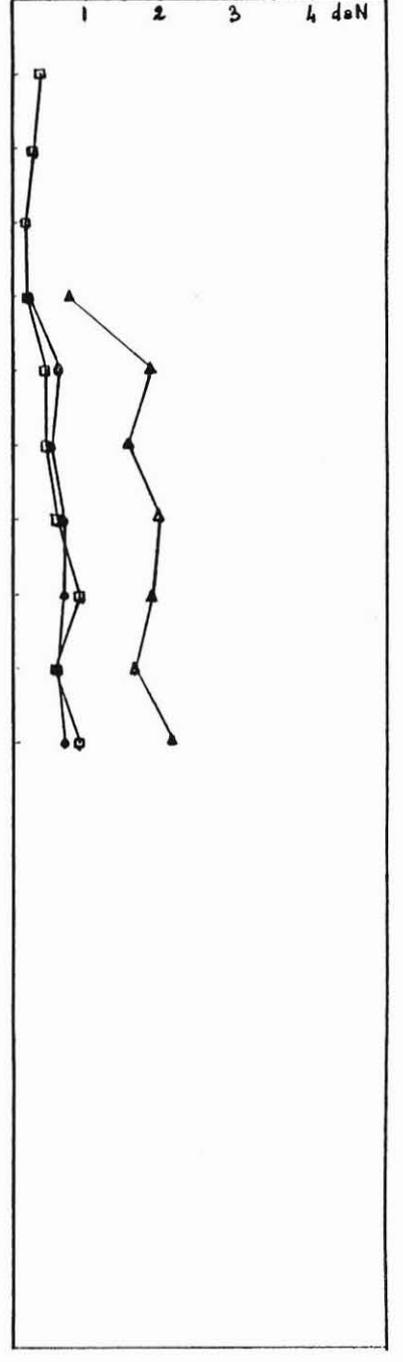
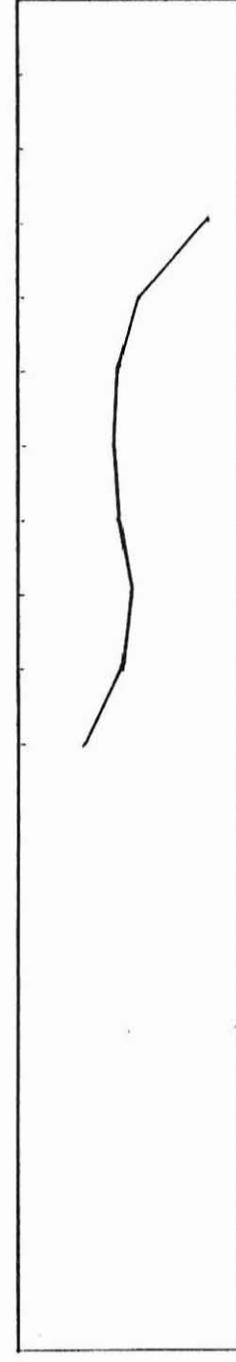
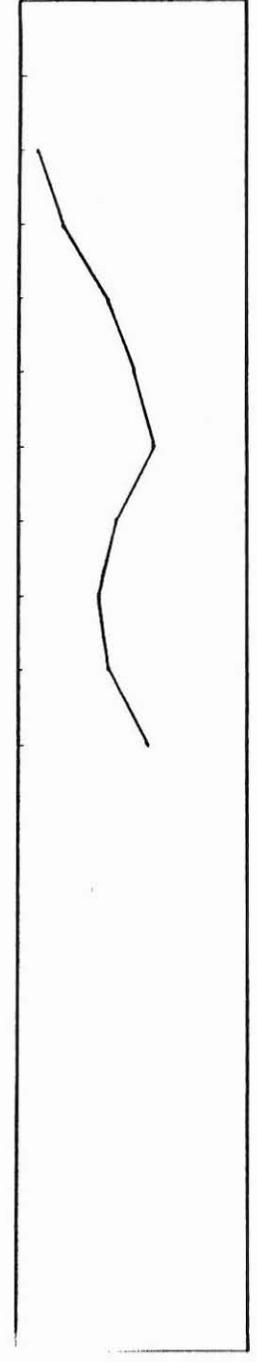
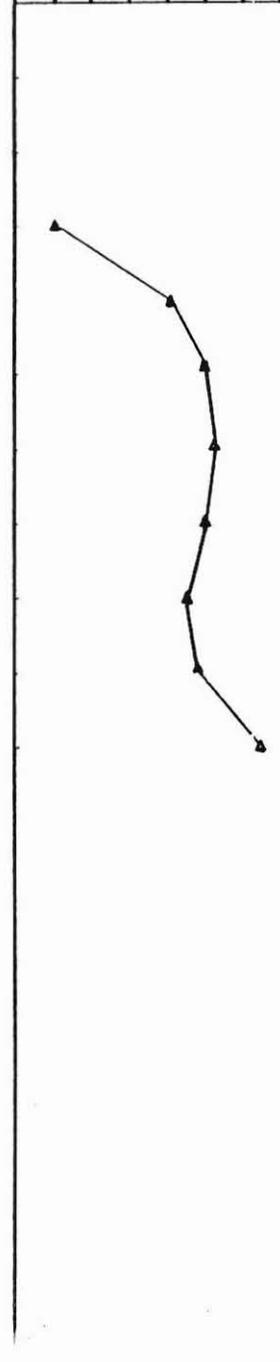
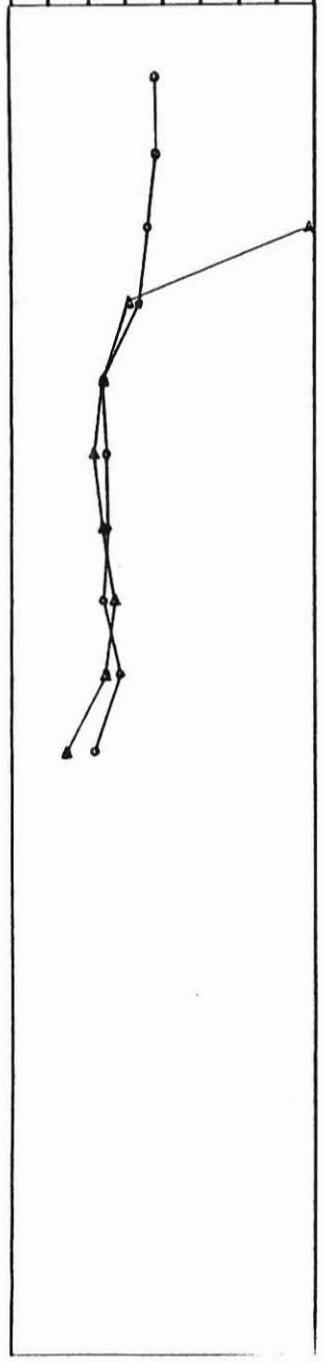
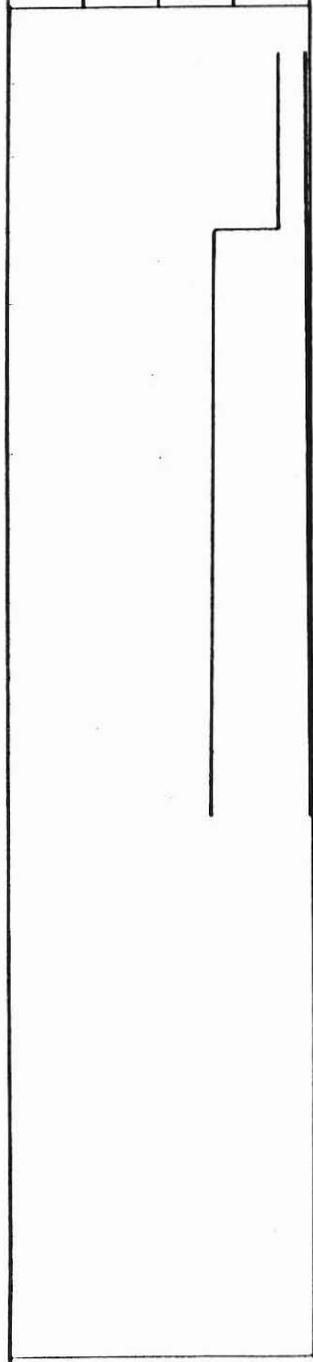
20 40 60 80

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
1 2 3 4 daN

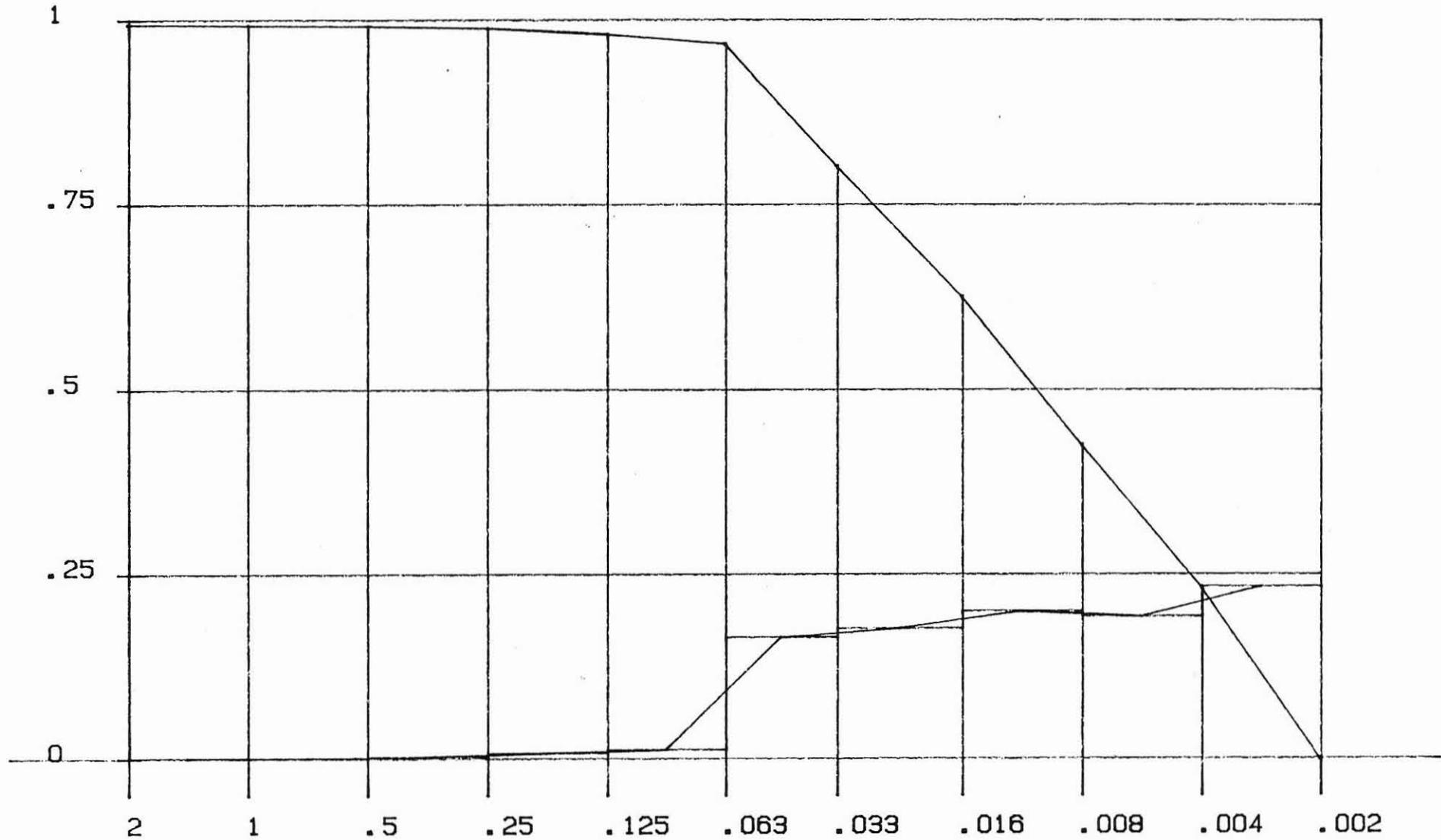


5Y 3/1

2,5Y 3/2



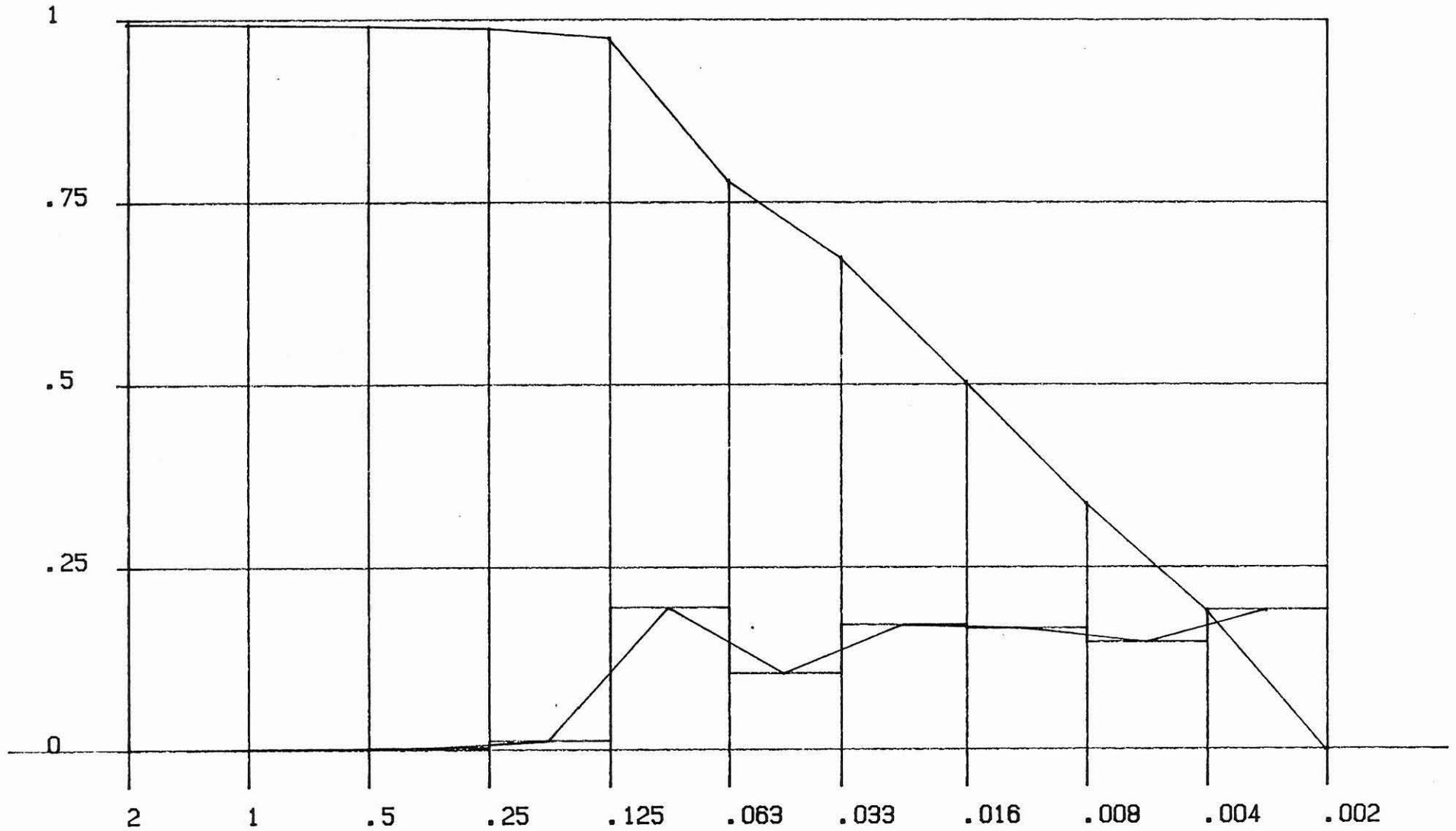
IFREMER-Brest



RAM-IV-11 10-30

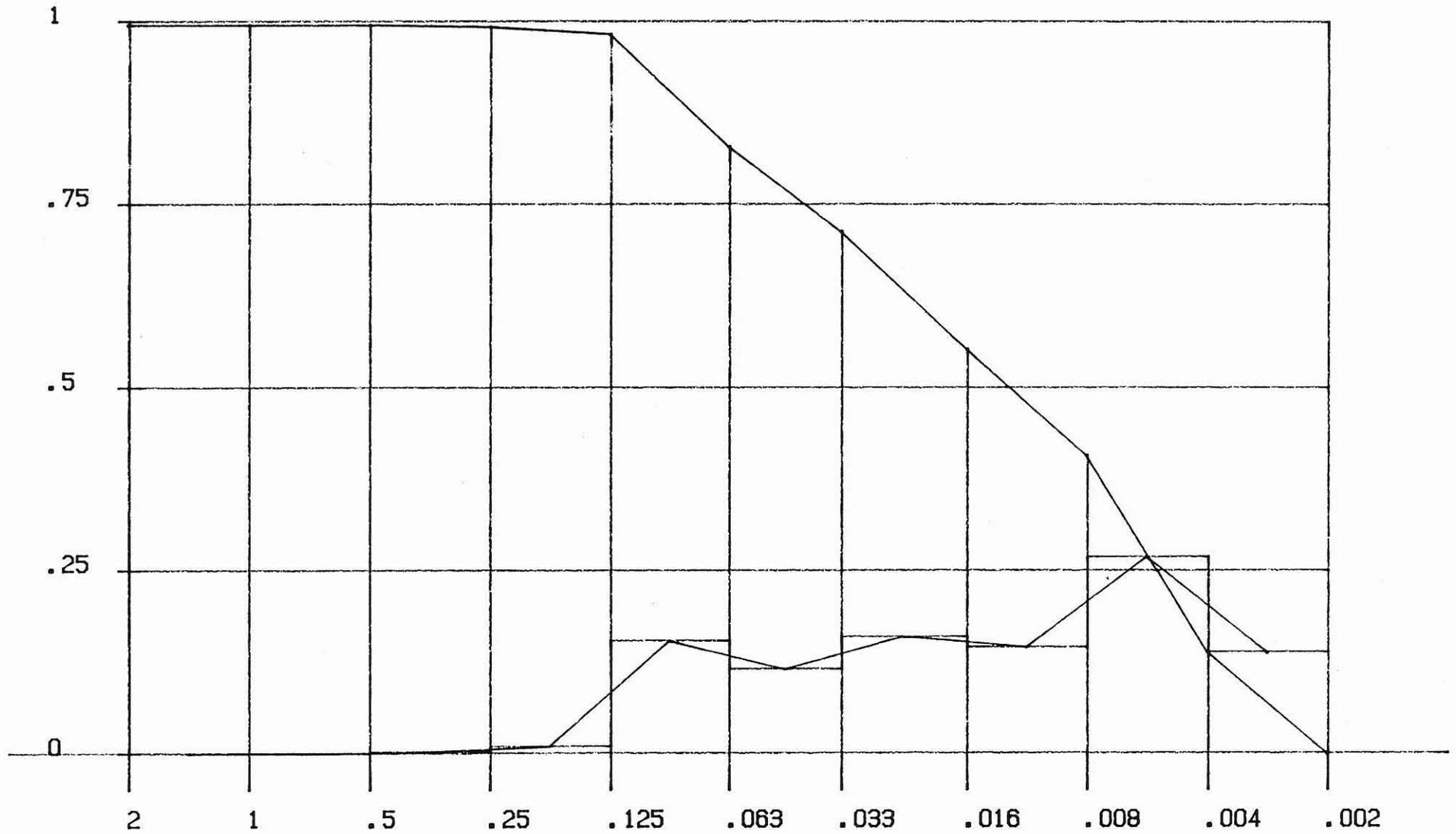
SILT CRYPTÉUX A SABLE

IFREMER-Brest



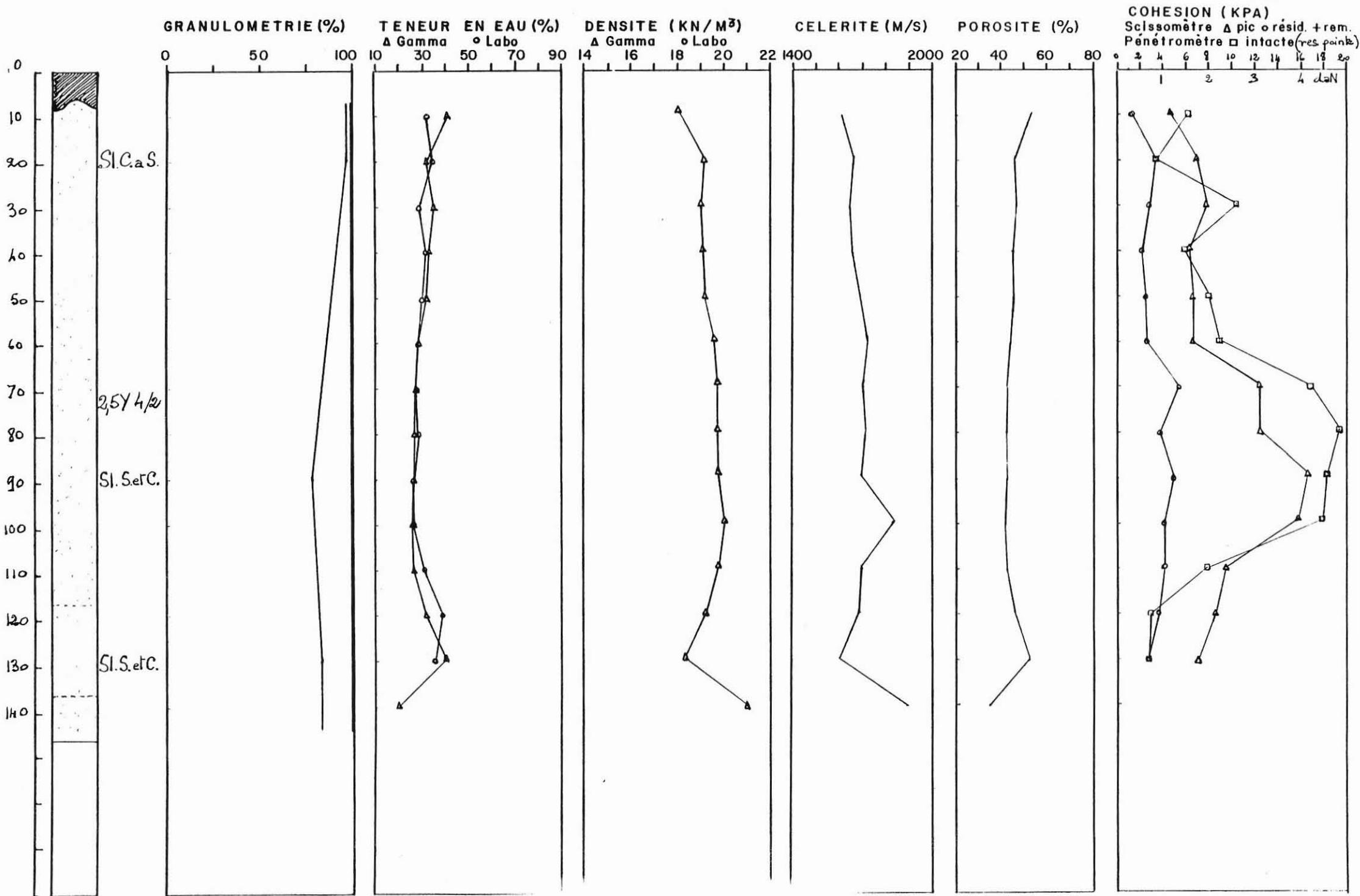
RAM-IV-11 80-100

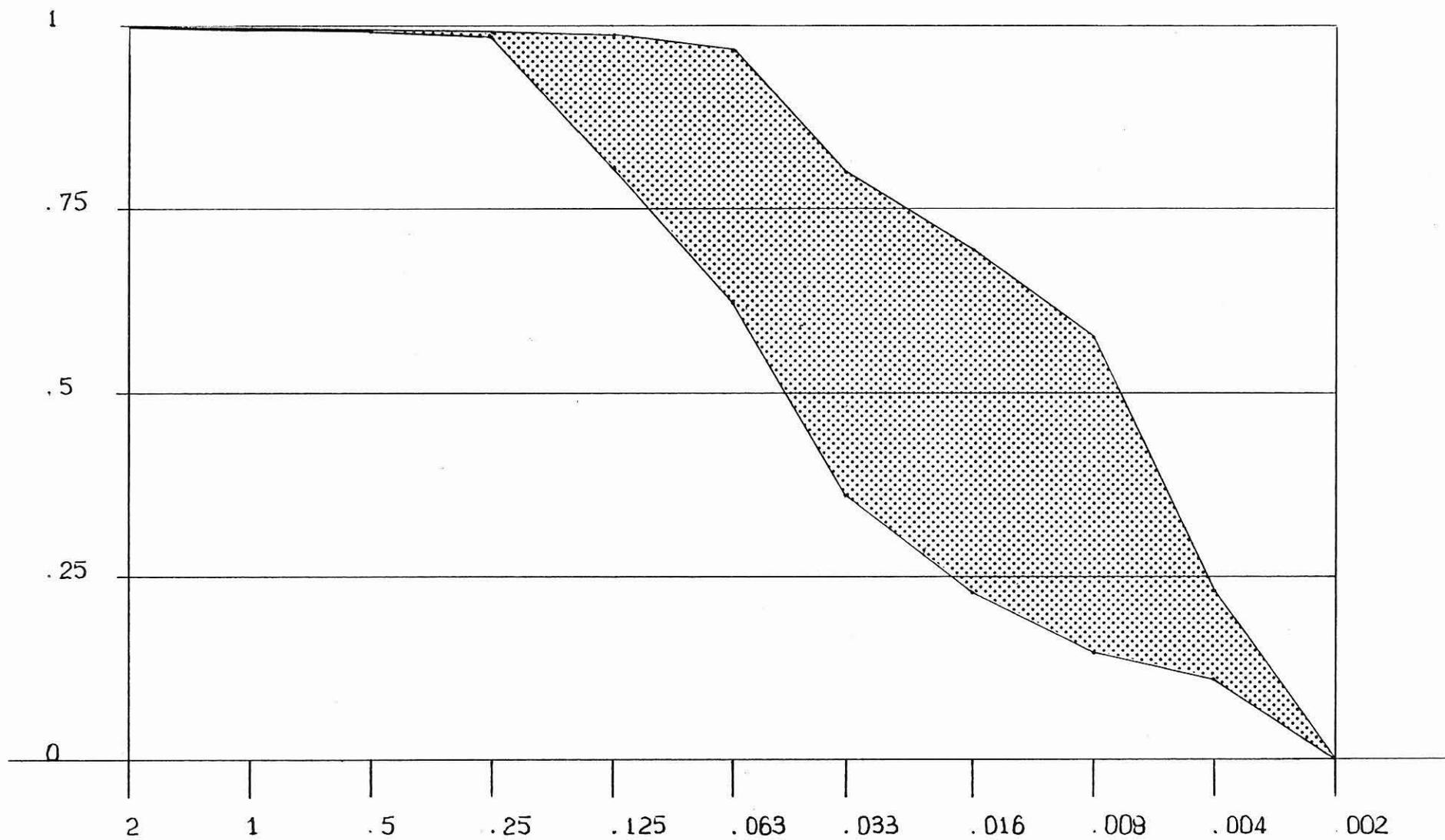
SILT SABLEUX ET CRYPTÉUX



RAM-IV-11 120-140

SILT SABLEUX ET CRYPTÉUX





RAM-IV

FUSEAU GRANULOMETRIQUE

Prof.	III 6		
	Cu int	Cu rem	Sensib
0.10	3.33	1.25	2.7
0.20	6.66	2.08	3.2
0.30	13.32	3.33	4.0
0.40	13.32	3.33	4.0
0.50	10.41	2.50	4.2
0.60	7.91	2.50	3.2
0.70	7.91	2.91	2.7
0.80	4.58	2.08	2.2
0.90	10.41	2.91	3.6
1.00			

III 7		
Cu int	Cu rem	Sensib
4.16	2.08	2.0
5.41	2.50	2.2
8.32	2.50	3.3
8.74	2.50	3.5
5.83	2.50	2.3
8.32	2.91	2.9

III 10		
Cu int	Cu rem	Sensib
15.82	5.41	2.9
16.23	5.41	3.0
43.03	14.15	3.0
78.89	22.89	3.4
81.58	19.15	4.2
82.31	23.31	3.5
59.00	18.31	3.2

Prof.	IV 3		
	Cu int	Cu rem	Sensib
0.10	4.99	2.08	2.4
0.20	4.58	2.08	2.2
0.30	4.99	1.66	3.0
0.40	12.90	3.33	3.9
0.50	10.41	3.33	3.1
0.60	11.65	2.50	4.7
0.70	9.57	3.75	2.6
0.80	12.49	4.16	3.0
0.90	10.41	4.16	2.5
1.00	7.08	2.91	2.4
1.10			
1.20			
1.30			

IV 4		
Cu int	Cu rem	Sensib
—	—	—
2.50	0.83	3.0
4.99	2.50	2.0
7.08	3.75	1.9
10.41	4.16	2.5
11.24	3.75	3.0
10.41	3.75	2.8
4.99	3.75	1.3
5.41	2.08	2.6
4.16	1.66	2.5

IV 5		
Cu int	Cu rem	Sensib
—	—	—
—	—	—
—	—	—
2.91	0.83	3.5
7.49	2.50	3.0
6.24	2.08	3.0
7.91	2.91	2.7
7.49	2.91	2.7
6.66	2.50	2.7
8.74	2.91	3.0

IV 11		
Cu int	Cu rem	Sensib
4.58	1.25	3.7
7.08	3.33	2.1
7.91	2.91	2.7
6.24	2.08	3.0
6.66	2.50	2.7
6.66	2.50	2.7
12.49	5.41	2.3
12.49	3.75	3.3
16.65	4.99	3.3
15.82	4.16	3.8
9.57	4.16	2.3
8.74	3.75	2.3
7.08	2.50	2.8



SGN DEPARTEMENT MGA
B.P. 6009 - 45060 Orléans, Cedex
Tel (38) 63.80.01

GAMMADENSIMETRIE DES CAROTTES

CONTRAT : CNEXO COB N/O : ICHIHYS

CAMPAGNE : REGIFS ARTIFICIELS

POSITION : PLATEAU ROUSSILLON

DATE : JUILLET 1984

N° CAROTTE : RAM III 7 PRELEVEMENT : KULLENBERG PROFONDEUR : _____

Parametres de Mesure

.Source : 85 µCi Cs 137
.Sonde : 50 113
.Compteur : SPP3
.Echelle : 1500 cps
.Intégration : 4 s
.Tension Piles : 9V
.Seuil : 50 Kev

Parametres d'enregistrement

.Vitesse de Mesure : 6cm/mq
.Vitesse d'Enregistrement : 2cm/mq
.Chemise : PVC
.Diametre : 100 mm
.Date d'Enregistrement : 3 Août 1984
.Opérateur : 3UM165-A

