

DIPLOME UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE

UNIVERSITE DE PERPIGNAN

**DEVELOPPEMENT DE TECHNIQUES
DE PRELEVEMENT
ET D'ANALYSE DE LA MATIERE
PARTICULAIRE EN OCEANOLOGIE.**

PAR

Jacques CARBONNE

Soutenu à PERPIGNAN le 13 décembre 1990,
devant la commission d'examen :

Président

Examineurs :

Mr MONACO A.

Mr HEUSSNER S.

Mr DINET A.

Mr GOT H.

SOMMAIRE

Liste des figures et tableaux	2
Avant propos	3
 INTRODUCTION : Le programme Ecomarge	5
 PREMIERE PARTIE : Les pièges à sédiments	8
 Chapitre 1 : Les techniques	
I - La conception des pièges à particules	9
1) Les pièges manuels	9
2) Les pièges automatiques	14
II - La ligne de mouillage	17
1) Les instruments employés	19
2) Construction d'une ligne de mouillage	21
3) Le calcul de la flottabilité	22
III - Mise en oeuvre du matériel	23
1) La mise à l'eau	23
2) La récupération du matériel	26
 Chapitre 2 : traitement des prélèvements	27
I - Stratégie des recherches	29
II - Traitements préliminaires des échantillons ...	33
III - Les différents échantillonnages	35
IV - Le fractionnement	
1) L'appareillage et le principe	37
2) Le conditionnement des fractions	40
 SECONDE PARTIE : La diffractométrie, méthode analytique et dépouillement par informatique	42
I - L'appareillage	44
II - Préliminaire à la programmation	45
III - L'organisation du programme	47
IV - Les programmes annexes	56
 BIBLIOGRAPHIE	57
 ANNEXE :	60
A - Planches photographiques	61
B - Programme de calcul d'inclinaison des lignes de mouillage	64
C - Logiciel de traitement des diffractogrammes sur digital	66

LISTE DES FIGURES

PARTIE I

Chapitre 1

- Fig. 1 Une ligne de mouillage simple.
- Fig. 2 Les différentes formes d'essai des petits pièges à particules.
- Fig. 3 Les petits pièges à particules (PPP).
- Fig. 4 Site expérimental pour le mouillage des pièges à particules.
- Fig. 5 Les premières générations de pièges à particules.
- Fig. 6 Vue générale et coupe du piège à particules PPS 3.
- Fig. 7 Détail du moteur et porte-godets du PPS 3.
- Fig. 8 Le piège à particules conique : le PPS 5.
- Fig. 9 La ligne de mouillage "grand fond" pour PPS3.
- Fig. 10 Croisillon servant à maintenir les flotteurs "Hyper6".
- Fig. 11 Terminaison pour câble "Parafil".
- Fig. 12 Section du câble "Nilspin" et sa terminaison.
- Fig. 13 Les poissons "sabres noirs".
- Fig. 14 Organigramme pour la conception d'une ligne de mouillage.

Chapitre 2

- Fig. 15 Site d'étude du Golfe du Lion en Méditerranée.
- Fig. 16 Exemple d'étude hydrologique de la colonne d'eau.
- Fig. 17 Exemple de courantométrie au niveau des canyons.
- Fig. 18 La feuille de travail.
- Fig. 19 Système de quartage par pompe péristaltique
- Fig. 20 Répartition des doses pendant le sous-échantillonnage.

PARTIE II

- Fig. 21 Agencement des couches cristallographiques.
- Fig. 22 Schéma de principe du diffractomètre Philips.
- Fig. 23 Trajet optique d'un dispositif de diffractomètre par rayons X.
- Fig. 24 Les principaux angles du diffractomètre.
- Fig. 25 Schéma du programme "calcul des surfaces".
- Fig. 26 Liste des paramètres du programme "calcul des surfaces".
- Fig. 27 Diagrammes des minéraux de base pour l'étalonnage.
- Fig. 28 Présentation d'une feuille de résultats.
- Fig. 29 Schéma de la programmation générale.

LISTE DES TABLEAUX

- Tabl. 1 Essais des prototypes des pièges à particules.
- Tabl. 2 Caractéristiques générales du PPS 3
- Tabl. 3 Résistance résiduelle des cordages.
- Tabl. 4 Les différentes missions à la mer "ECOMARGE".
- Tabl. 5 Protocole des opérations à effectuer sur les échantillons.
- Tabl. 6 Variation de la précision du sous-échantillonnage.
- Tabl. 7 Estimation du poids d'échantillon humide dans les godets.
- Tabl. 8 Minéraux courants entre 3° à 38° 20 dans les sédiments marins.

Avant-propos

Je tiens à remercier tout particulièrement Mr André Monaco, Directeur du Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines à l'Université de Perpignan, qui m'a appris à apprécier l'océanologie. Toujours en quête de techniques nouvelles pour appréhender les problèmes posés par la sédimentologie, il me permet de me remettre en question et de me perfectionner régulièrement. Tous les matins, c'est un plaisir d'aller "travailler", même après plus de 20 années passées ensemble. La routine n'est pas de mise. Je lui exprime ici toute ma gratitude et ma satisfaction d'être à ses côtés.

Serge Heussner m'a enseigné les techniques des mouillages et surtout la philosophie des pièges à particules (ne pas lui dire "Trappes à sédiment"). Toujours faire mieux ! collègue agréable à vivre, il a souffert autant que moi sur les bateaux. Qu'il sache combien son rôle a été déterminant et combien grand est le plaisir que j'ai à collaborer avec lui.

Avoir parmi les membres du jury, Henri GOT, Professeur et Président de l'Université de Perpignan, est pour moi une grande satisfaction. Nous avons suivi ensemble une longue route et nos relations furent toujours en totale compréhension. Merci à lui d'être encore à mes côtés aujourd'hui.

Alain DINET a mis en place la thématique "Ecomarge" du côté Atlantique et a su faire la cohésion autour du programme ECOFER. Personnage extrêmement sympathique, c'est pour moi un grand honneur de le compter parmi les membres de mon jury.

Et, afin de n'omettre et ne fâcher personne, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé dans mon travail, sans oublier "ma copine" Simone LUCHAIRE.

Ce mémoire est la concrétisation de plusieurs années de travail autour de l'aventure ECOMARGE. L'apparition des microprocesseurs sur le marché a fait se développer l'informatique à une vitesse prodigieuse et l'a mise à la portée de tous par la miniaturisation et l'automatisation des appareils et surtout par le stockage des données.

Le diffractomètre Théta 60 de CGR que j'ai utilisé durant de nombreuses années et dont le goniomètre se manipule à l'aide de manivelles, nous donne des courbes sur papier, échantillon par échantillon. Depuis les nouveaux diffractomètres sont commandés directement d'un clavier et peuvent traiter 35 échantillons sans intervention (limite du passeur automatique). J'ai effectué plusieurs stages d'informatique qui me permettent de faire actuellement de la programmation et donc de composer des outils pouvant dépouiller des résultats diffractométriques et d'améliorer ainsi le rendement des appareils et de faire gagner un temps précieux aux chercheurs.

Dans un même temps sont apparus les pièges à particules conçus pour récolter les particules marines qui chutent sur une surface pendant un temps précis. Jusqu'à présent, ces particules ne sont prélevées que par l'appareillage traditionnel de la sédimentologie que sont les bouteilles, et sont récupérées par filtration. Elles ne sont représentatives que d'un instant et d'un lieu, en subissant de nombreuses contraintes (écrasement, température...).

Le laboratoire s'est doté de la nouvelle technologie des pièges à particules. Je m'y suis investi. C'est une technique lourde car elle nécessite des lignes de mouillage capables de résister plusieurs mois dans des grands fonds, surtout à la corrosion, parce qu'autour d'elles se greffent de nouveaux engins et beaucoup de nouvelles techniques auxquelles il faut se familiariser.

Les lignes qui vont suivre sont destinées aux personnes qui auront, comme je l'ai eu, la responsabilité totale de la réalisation et la mise en oeuvre du mouillage. Je ne parlerai pas des nuits blanches précédant la mise à l'eau, lorsque l'on a en tête les longs mois qu'il a fallu pour mettre en place le programme, les démarches pour obtenir le matériel et que l'on en connaît sa valeur, lorsque l'on sait que le travail de plusieurs personnes dépend en partie de soi et que tout tient à une goupille mal fermée, un moteur mal programmé ou une flottaison mal étudiée. Jusqu'au dernier moment, pendant que le matériel défile en direction de l'eau, les yeux balayent le pont, en quête du détail oublié.

Mais les minutes les plus stressantes sont celles entre le moment où l'on appuie sur le bouton de la télécommande qui décroche la ligne du fond et le moment où l'on aperçoit les premiers flotteurs à la surface de la mer. Elles m'ont valu de nombreux cheveux blancs. Mais quelle satisfaction en regardant les échantillons contenus dans les godets !

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, l'un des pôles d'intérêt du Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines de l'Université de Perpignan, est de comprendre les mécanismes de transfert particulaire en milieu marin. Aux alentours des années 1980, les chercheurs du laboratoire s'acheminent vers une idée précise des processus, en prenant comme site d'étude le Golfe du Lion et ses apports turbides que sont le Rhône et quelques rivières côtières. Ils mettent en évidence l'existence d'une stratification de la matière en suspension dans un système multicouches, contrôlé notamment par la température, la salinité et la dynamique du milieu marin (Aloïsi, et al., 1982).

Mais la recherche se heurte à l'appareillage sur deux points essentiels : la disparité des moyens de mesure et le mode de prélèvement des échantillons.

1) Chaque mesure de pH, salinité, température, néphélométrie et prélèvement, nécessite une sonde différente ce qui engendre plusieurs erreurs :

- horizontalement ; les stations étant longues du fait des nombreuses mesures, le bateau dérive surtout les jours de vent et la position des stations n'est pas toujours la même.

- verticalement ; les appareils scientifiques n'ont pas le même étalonnage de la profondeur. Le néphélomètre et le salinomètre sont gradués en mètres, le bathythermographe fonctionne à l'aide d'un ressort à pression, le câble de la bouteille à prélèvement est déroulé par poulie compteuse. Toutes ces techniques font que les profondeurs sont relatives et que les mesures ne sont pas forcément aux mêmes profondeurs.

Par ailleurs, le temps ; pour couvrir une zone, il nous fallait plusieurs jours et souvent les conditions climatiques variaient, modifiant les nappes turbides. L'interprétation en était d'autant plus difficile.

2) Les prélèvements de particules à la bouteille sont ponctuels. La quantité de matières en suspensions récoltées, même avec des capacités de 30 litres, est faible (quelques milligrammes) ce qui entraîne parfois plusieurs prises qui ne sont pas systématiquement au même point et ne sont caractéristiques que de l'instant du prélèvement.

Ces deux problèmes ont été résolus, d'une part par l'utilisation d'une sonde multiparamètres, d'autre part par la construction de pièges à particules.

Dans un premier temps, avant l'achat par le laboratoire d'une de ces sondes, nous avons fait appel au Groupe OCEANE, à l'Institut de Géologie de l'Université de Neuchatel en Suisse, qui a assuré les mesures avec leur sonde CTD couplée au néphélomètre de grande profondeur, munie d'un pinger donnant à chaque instant sa position par rapport au fond ; l'ensemble est surmonté d'une rosette composée de 12 bouteilles Niskin. Les valeurs de salinité, pH, température, conductivité, pression et les prélèvements sont suivis sur un écran de contrôle et exécutés simultanément. Dans cette configuration, les prises d'échantillons sont effectuées dans un niveau extrêmement précis en ayant connaissance de tous les paramètres qui les entourent.

Pour avoir suffisamment de matière, sur une assez longue période de temps, seuls les pièges à particules pouvaient nous satisfaire. Ne trouvant sur le marché international un appareil fiable, adapté à l'idée que nous avions de son utilisation, le Laboratoire International de Radioactivité Marine de MONACO, la société Technicap du Cap d'Ail et notre laboratoire décidèrent la construction d'un engin. Il fut testé et amélioré au sein du programme ECOMARGE qui a débuté en 1983 et a bénéficié du soutien de l'Université de Perpignan dans le cadre des Actions Spécifiques de la Mission de la Recherche, du Centre National de la Recherche Scientifique (I.N.S.U.-T.O.A.E.) et du Ministère de l'Environnement, actuellement programme national de P.F.O., partie française du programme international de J.G.O.F.S..

ECOMARGE (ECOSystèmes de MARGE continentale) est un programme de recherches pluridisciplinaires (géologie, biologie, physique et chimie) regroupant diverses équipes et chercheurs français et étrangers autour du thème général des " transferts de matière et d'énergie et de leurs relations avec l'interface sédimentaire et l'écosystème benthique ".

A travers différentes approches, des problèmes d'ordre général sont abordés : bilan des fractions énergétiques, cycle du carbone, cycles géochimiques et échanges particulaire-dissous, échanges aux interfaces ou ergoclines, sédimentation des particules et genèse des sédiments, relation climat-flux de matière. Cette problématique étant d'ordre environnemental, ce thème contribue naturellement aux recherches sur la pollution.

Programme national en 1987, il regroupe les équipes du Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines de Perpignan, du Laboratoire Arago de Banyuls (biologie), du Centre Océanologique de Marseille (biologie, géologie, physique), de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (radiochimie), de l'Université de Bordeaux (biologie, géologie, chimie), du Muséum National d'Histoire Naturelle (biologie, micropaléontologie), de l'Université de Nice (géochimie), du Commissariat à l'Energie Atomique de Toulon (radiochimie) et divers intervenants extérieurs telle que l'Université de Neuchatel, Suisse (physique). L'ensemble des résultats obtenus de 1983 à 1987 a fait l'objet d'un colloque international à Perpignan du 23 au 26 juin 1987 et a donné suite à la publication d'un fascicule édité par la C.I.E.S.M.

Nous allons nous intéresser plus spécialement aux échantillons collectés dans les pièges à particules. Ils seront distribués à une partie des intervenants précités pour des analyses spécifiques à chacun d'eux. Il va donc falloir quarter chaque prélèvement en sous-échantillons strictement identiques en qualité, avec des quantités minimales, mais suffisantes pour être analysées. Travail ingrat mais dont dépend la qualité de tous les résultats d'analyses.

Une de ces études, réalisée au Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines de Perpignan, est la détermination des minéraux argileux qui est un point clé de la sédimentologie. En effet, ces minéraux sont les témoins de certains mécanismes importants tels que :

- L'héritage : l'argile reste inchangée minéralogiquement et constitue un marqueur des provinces d'alimentation des bassins;
- La dégradation : les argiles perdent une partie de leur propriétés cristallines au cours du transport ou de la pédogénèse;
- La transformation : dans la plupart des cas c'est une aggradation, c'est à dire un phénomène de "cicatrisation";
- La néoformation : c'est l'étape de croissance dans certaines conditions d'environnement;

Le laboratoire s'est équipé d'un diffractomètre et j'ai été chargé, d'une part de sa gestion et de son entretien, d'autre part de sa programmation pour l'analyse des échantillons. Le programme inclus dans la mémoire de l'ordinateur qui lui est associé ne peut travailler graphiquement les échantillons qu'un par un. Avec le passeur automatique de 35 compartiments, il me parut nécessaire de créer un programme adaptable à tous les types de diagrammes qui permettrait de traiter en continu toute la série d'échantillons et en calculerait les surfaces, pourcentages et rapports des différents minéraux entre eux. Il ne pouvait s'agir que d'un traitement de routine, les cas spéciaux devant être traités au coup par coup. La maquette du travail a été commencée par François Casteilla (INSA de Toulouse, génie électrique) au cours d'un stage effectué sous ma responsabilité.

1^{ière} PARTIE

**Les pièges à particules :
la technique des pièges et
le traitement des échantillons**

Chapitre I

Conception et mise en oeuvre des pièges à particules

I - LA CONCEPTION DES PIEGES A PARTICULES

Les modes de prélèvements traditionnels des particules par pompage ou prise par bouteilles, font subir aux flocons des contraintes énormes car la récupération de l'échantillon se fait par filtration. Ces particules ne sont représentatives que d'un instant en un lieu et leurs structures sont totalement détruites. Les chercheurs du Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines ont optés pour un nouveau mode de prélèvement que sont les pièges à particules. Ceux-ci récoltent les flocons qui chutent dans la colonne d'eau pendant un temps déterminé et les concentrent dans un godet en conservant leurs formes et leurs structures. J'ai conçu et construit pour les besoins du laboratoire des petits pièges à l'aide de tubes PVC de 10 cm de diamètre.

1) Les pièges manuels.

En fonction des études déjà effectuées (Kirchner W.B., 1975 ; Gardner, 1980) sur les différentes formes de pièges, il s'avère que la forme la plus adaptée au piégeage des particules est le cylindre. Des travaux en laboratoire (Gardner, 1985 ; Butman, 1986), les expériences in situ (Blomqvist et Kofoed, 1981 ; Lorenzen et al., 1981) ainsi que les comparaisons sur les différentes formes de pièges (Bruland et al., 1981 ; Dymond et al., 1981) ont abouti à la même conclusion; afin de limiter les turbulences intérieures qui feraient ressortir les flocons déposés, il est nécessaire que la hauteur soit deux à trois fois la dimension du diamètre.

Les petits pièges à particules (PPP) doivent être petits et légers pour être manipulables sur de petites embarcations et donc éviter

les gros mouillages. J'ai vérifié que la forme cylindrique était la mieux adaptée et que le comportement des pièges soit acceptable dans les fonds de 10 m à 30 m où les conditions dynamiques sont très importantes. Pour cela j'ai confectionné une ligne de mouillage simple (fig. 1) avec, à la même profondeur, quatre pièges de formes différentes et positionnés de telle façon que toutes les ouvertures soient face au courant, à l'aide d'une dérive :

- Forme A (fig. 2 A) : tube horizontal avec ouverture face au courant, récolte moins abondante.

- Forme B (fig. 2 B) : ouverture oblique ; récolte moyenne

- Forme C (fig. 2 C) : tube vertical, fermé sur sa partie supérieure, deux fentes face à face permettent au courant laminaire de le traverser ; récolte médiocre.

- Forme D (fig. 2 D) : piège identique au PPS avec une ouverture de 75 cm². C'est le modèle qui a le taux de collecte le plus élevé.

La version définitive restera la forme cylindrique ; les pièges sont montés par deux avec une dérive pour assurer l'équilibre de la ligne et augmenter la surface de prélèvement (fig. 3). Compte tenu des profondeurs d'immersion où ces pièges sont utilisés, un plongeur peut intervenir pour obturer le piège avant la récupération et ainsi peut le manipuler sans risque de perdre une partie de l'échantillon. Un bouchon vissant est monté à cet effet sur l'ouverture.

Il nous fallait, pour prélever dans les milieux moins turbides que les zones côtières, des pièges avec une surface de collecte plus importante. De par sa taille et l'importance des techniques à mettre en oeuvre et avec l'aide de l'Agence Internationale pour Energie Atomique nous avons donné la construction à un professionnel.

Nous avons donc établi un cahier des charges où ressortaient les caractéristiques suivantes : pour éviter la pollution par les métaux ainsi que pour assurer sa légèreté, l'engin doit être réalisé en résine armée de fibres de verre ; les parties métalliques indispensables seront en inox marine 316Ti et le godet récepteur en téflon pour conserver les échantillons sans trop de contamination. L'appareil doit être maniable sur un petit navire donc le plus compact possible, ne doit pas rompre la résistance de la ligne de mouillage et doit être capable de descendre à de

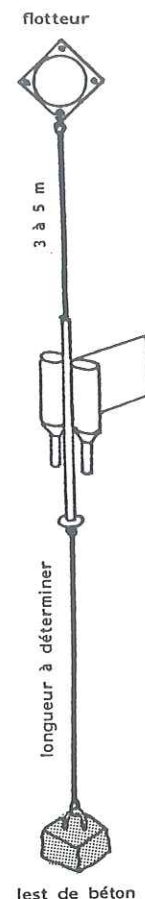


Fig. 1 Ligne de mouillage simple.

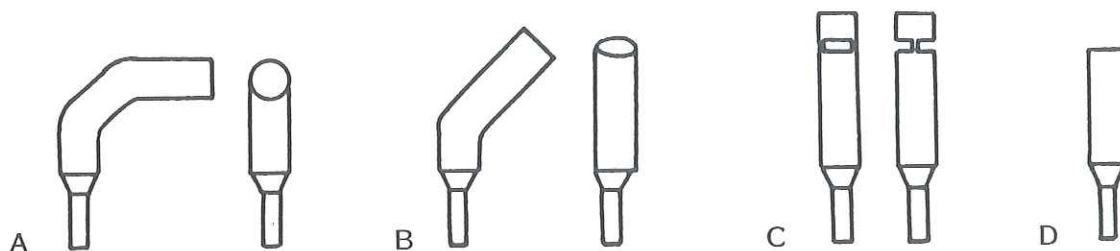


Fig. 2 Les différentes formes d'essai des petits pièges.

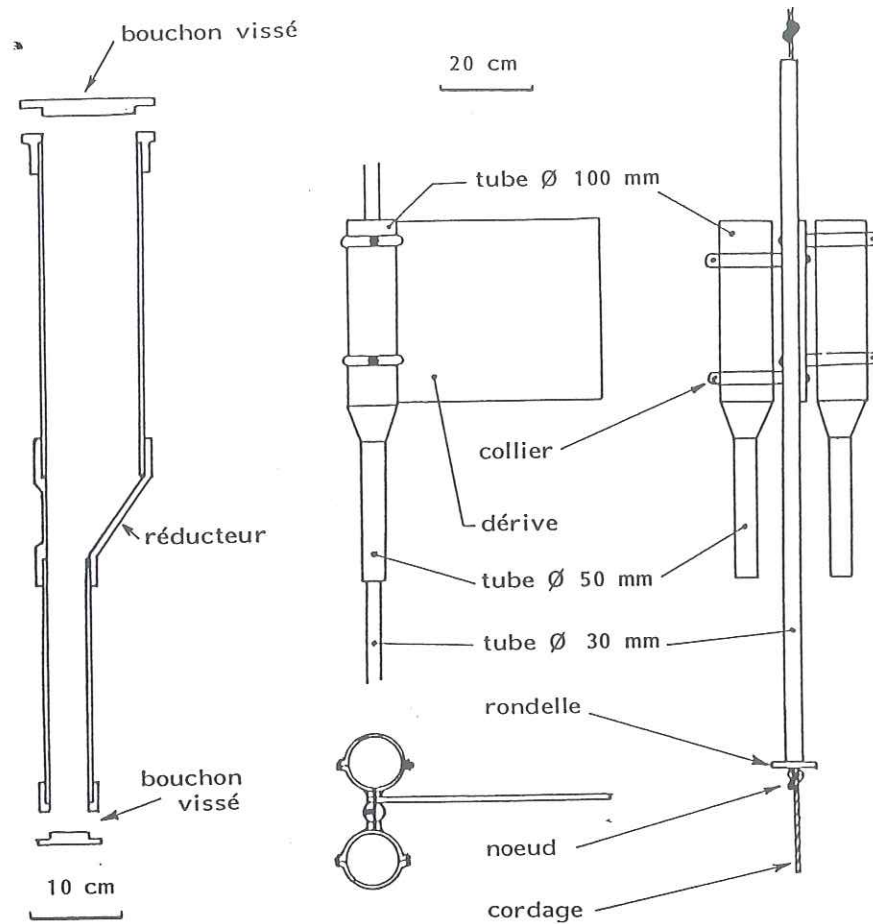


Fig. 3 Les petits pièges à particules (PPP).

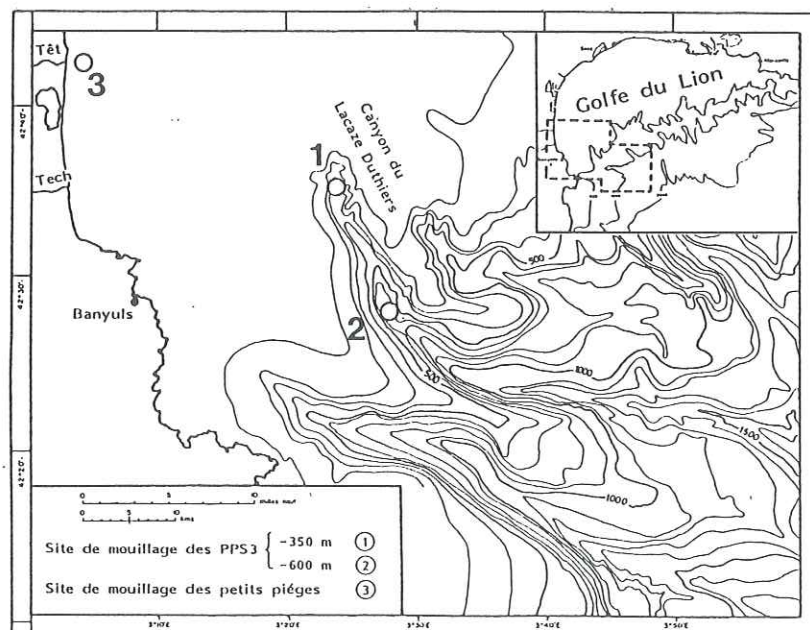


Fig. 4 Site expérimental pour le mouillage des pièges à particules.

Le matériel	Défauts et qualités
* Période d'essai du 19-9-83 au 6-10-83 sur un fond de 350 mètres. - Le PP1 (piège à particules première génération) est monocoque, d'une hauteur de deux mètres et d'une ouverture de 0,125 m². Un flotteur sur sa partie haute assure la verticalité et une poussée positive. Un godet téflon est placé sous l'entonnoir de concentration et peut être fermé à son arrivée en surface par déplacement à l'aide d'un cordage, ce qui évite de perdre l'échantillon pendant la manoeuvre de récupération.	- Le piègeage des particules est bon mais le godet unique limite l'appareil et oblige à de fréquentes missions à la mer, coûteuses et dangereuses pour le matériel. Les microbilles du flotteurs supportent mal la profondeur (défaut de fabrication ou de conception ?)
* Période d'essai du 19-4-84 au 28-5-84 sur le même site de 350 mètres. - Le PPS2 (piège à particules séquentiel de la seconde génération) ce prototype a la même coque que dans l'expérience précédente avec l'ajout d'une grille sur l'orifice. Celle-ci a pour but d'éviter les turbulences et aux gros poissons de pénétrer. Le godet unique a été remplacé par un barillet de six godets, mu par un moteur central autonome.	- Le moteur n'a pas fonctionné et sa mise en place n'est pas aisée sur un bateau. Sa conception est à reprendre. Le flotteur à microbilles n'est pas adapté aux grandes profondeurs. La grille ne paraît pas utile.
* Période du 11-7-85 au 20-9-85 sur un fond de 600 mètres. - Le PPS3 automatique a une double coque. Suppression du flotteur de microbilles. Le barillet de six godets est très facile à placer à l'aide d'une grosse vis. Un moteur électronique extérieur les fait tourner par engrenages. Protection des barres d'amarrages par une coque polyester	- Le piège à particules a fonctionné correctement. Légère corrosion du boîtier moteur.
* Période du 26-9-85 au 16-12-85 sur le même site de 600 mètres. - Coque identique à l'expérience précédente. Le boîtier moteur est recouvert d'aluminium anodisé. Ajout d'anodes sur le bloc moteur et au bas de la barre d'amarrage.	- Bon fonctionnement de l'ensemble.
* Période du 22-1-86 au 14-4-86 sur le même site de 600 mètres. - Identique aux expériences précédentes.	- Bon fonctionnement de l'ensemble, mais légère déformation du plateau porte-godets : l'étanchéité n'est pas parfaite au terme de l'expérience.

Tableau 1 Essais des prototypes de pièges à particules

grandes profondeurs (> 2000 m). Le modèle doit donner des flux reproductibles, se rapprochant au maximum de la réalité, dans le plus large environnement océanique, dans des conditions normales de courants. L'instrument fut donc dessiné par la société Technicap qui en a assuré la construction.

Nous avons choisi pour faire les essais le site du canyon du Lacaze-Duthiers au large des côtes catalanes (fig. 4) car sa morphologie et sa couverture sédimentaire (Canals M. et Got H., 1986) sont bien connues ainsi que le milieu benthique et pélagique. Ce canyon fait partie de la zone d'étude du programme Ecomarge. De plus le site est proche du laboratoire et nous avons la possibilité d'utiliser le Georges Petit, navire océanographique côtier du C.N.R.S., basé à Banyuls sur mer.

Avant d'obtenir l'appareil définitif, nous avons dû procéder à plusieurs essais et modifications de l'engin. Je participais donc à tous les essais en mer pour le tester et donner au constructeur toutes les remarques nécessaires pour l'améliorer (tableau 1). La première ligne comportait un PP1 (piège à particules) monocoque (fig. 5A), avec une surface de prélèvement de $1/8$ de m^2 . Nous lui avons intégré une flottaison pour qu'il ait une poussée positive et qu'il puisse garder sa verticalité. Après 15 jours de collecte, l'unique godet était fermé manuellement à l'arrivée du piège en surface (fig. 5B).

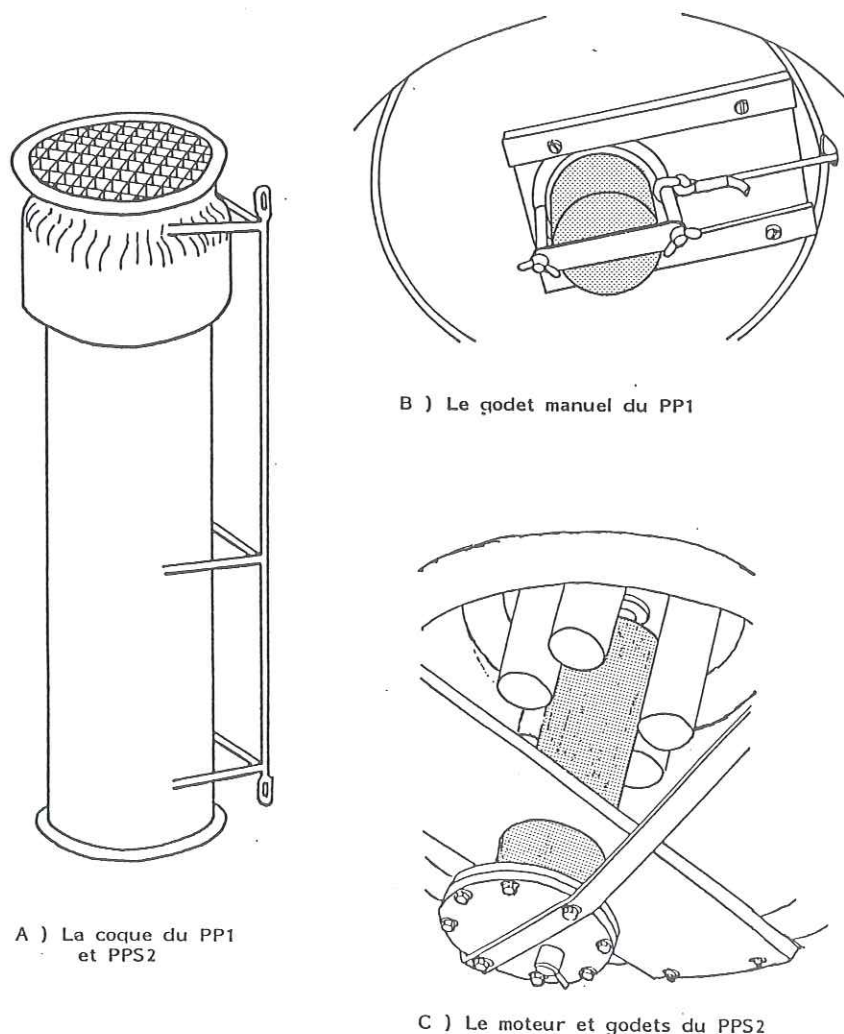


Fig. 5 Les premières générations des pièges à particules.

L'appareil limité en nombre d'échantillons, implique de nombreuses sorties en mer et le risque de perte de l'échantillon à sa récupération est grand. Il fut donc décidé de motoriser les engins pour les rendre autonomes.

2) Les pièges automatiques

Le passage du piège manuel au piège séquentiel nous a obligés à empoisonner les godets à l'aide d'un poison compatible avec le type d'analyse à effectuer (azide de sodium, chlorure mercurique, formol...), afin que la matière organique soit stabilisée et que la réduction n'intervienne pas.

Les PPS2 (Piège à particules séquentiel) et PPS3 ont été grées respectivement sur la 2^{ème} et 3^{ème} ligne de mouillage. Le PPS2 ne fut qu'un prototype de transition. Nous lui avons mis un moteur central (fig. 5C) qui fut un echec. Sa reconception a permis d'aboutir à la version définitive du PPS3 (caractéristiques générales : tableau 2).

TYPE	Piège cylindrique
SURFACE DE COLLECTE	0,125 m ²
DIMENSIONS	
hauteur totale	190 cm
diamètre frontal	45 cm
cylindre de collecte	100 cm
diamètre du cylindre de collecte	40 cm
rapport hauteur/diamètre	2,5
hauteur du cône	54 cm
angle du cône	34 °
hauteur du cylindre recepneur	5 cm
CARACTERISTIQUE DU COLLECTEUR	
nombre d'échantillon	6
volume des godets	250 ml
temps d'attente	1 heure à 45 jours
temps de récolte	1 heure à 45 jours
MATERIAUX	
coque	Gel coat armé de fibre de verre
ensemble collecteur	P.E.T.P.
godets	téflon
boitier moteur	alliage d'aluminium (AG 5086)
barre d'amarrage	inox 316 TI
POIDS	
dans l'air	50 kg
dans l'eau	20 kg
PROFONDEUR D'UTILISATION	3500 m

Tableau 2 CARACTERISTIQUES GENERALES DU PIEGE A PARTICULES SEQUENTIEL : le PPS3.

Le piège est constitué de trois parties : le collecteur, le plateau porte-godets et le moteur.

Le collecteur est constitué d'une double coque en polyester armé de 50 % de fibres de verre sur gel coat marine de couleur jaune (fig. 6). La coque extérieure de protection a une hauteur de 1,90 m et 62 cm de large pour une épaisseur de 6 mm. Sa géométrie améliore la pénétration de 30 à 40% aux courants marins par rapport au PPS2 et permet d'atteindre un coefficient de 0,35 ce qui est très correct. La barre d'amarrage est de 16 mm en inox 316TI. La coque intérieure est moulée d'une seule pièce de 5 mm comprenant un cylindre de 100 cm pour un diamètre de 40 cm ($H/D = 2,5$) continué d'un cône de 54 cm à 34° qui concentre les particules, prolongé par un petit cylindre de 10 cm et 5 cm de diamètre qui conduit le sédiment dans le godet de stockage.

L'ensemble porte-godets (fig. 7A) est composé de six récipients de 250 ml en PTFE (téflon) pris entre deux plateaux en PETP, plastique dur moins sensible aux déformations. Le plateau supérieur, usiné au 1/100 mm, assure l'étanchéité. Le plateau inférieur, percé de sept alvéoles, cranté sur sa périphérie, reçoit l'engrenage du moteur et permet la rotation des six godets. Une grosse vis fixe l'ensemble à la coque.

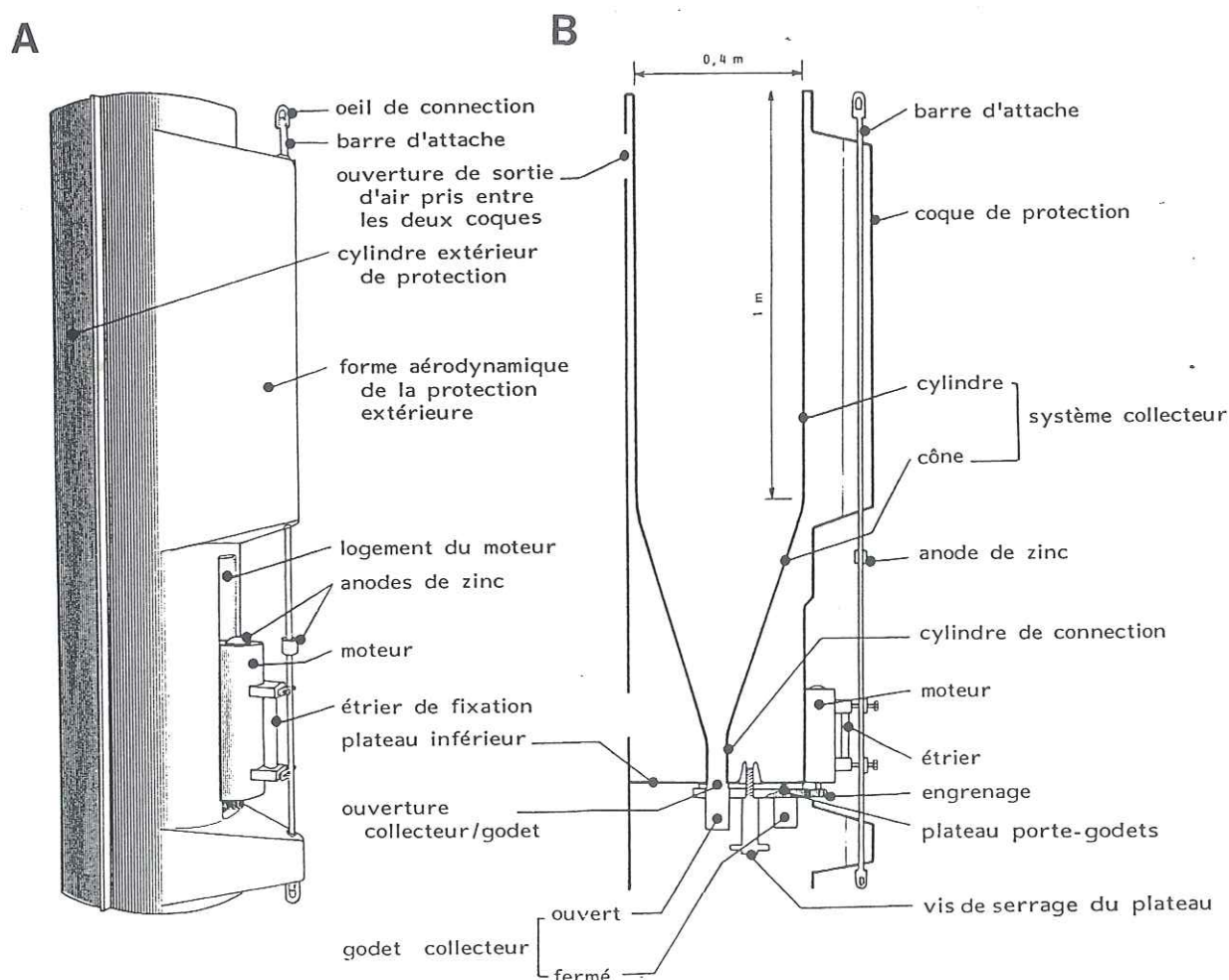


Fig. 6 Vue générale (A) et coupe (B) du piège à particules PPS3.

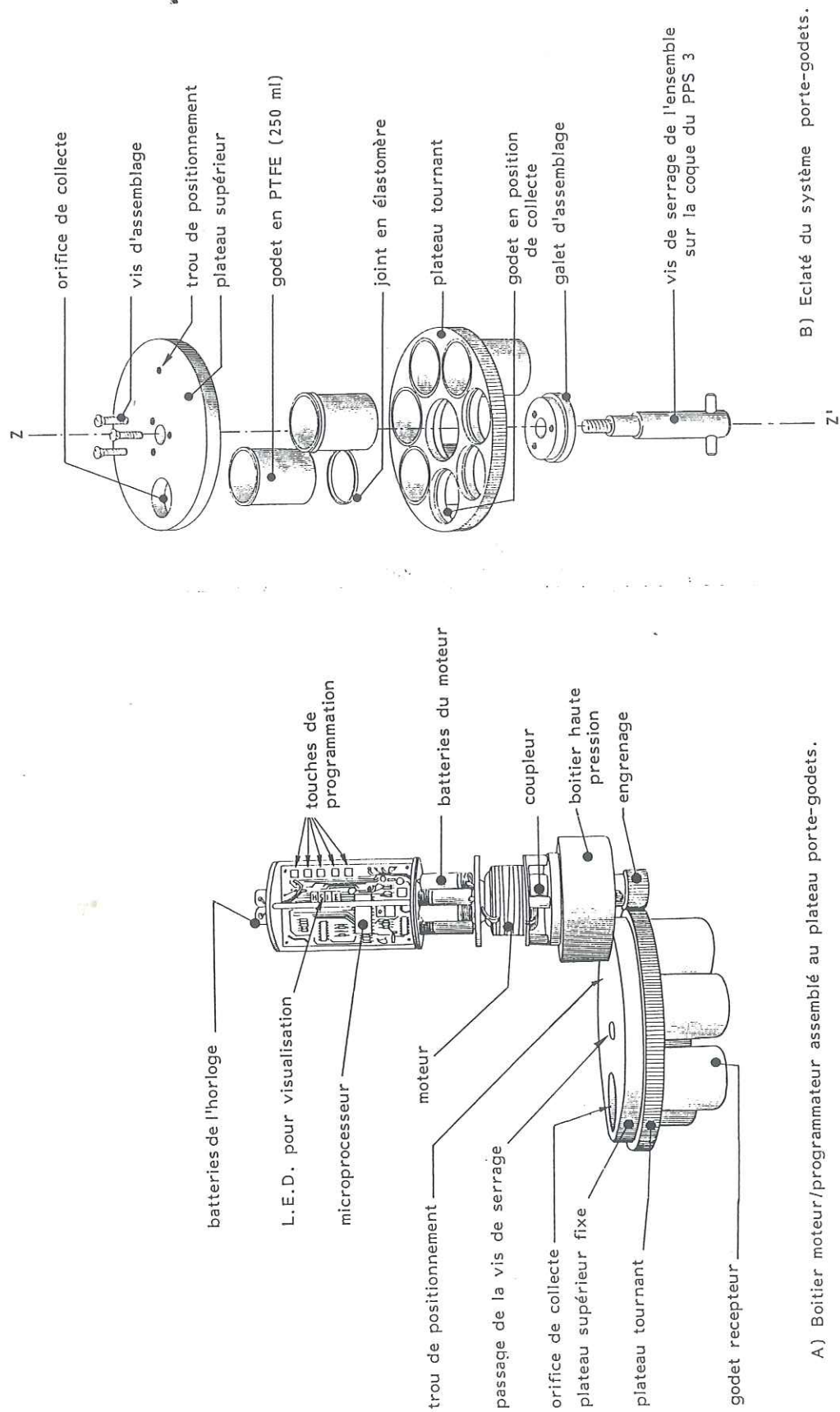


Fig. 7 Détail du moteur (A) et du porte-godets (B) du PPS3.

Le bloc moteur (fig. 7A) est un boîtier en aluminium AG 5086 pouvant résister aux pressions des profondeurs de 6000 m. Pour éviter la corrosion, il est anodisé (épaisseur 20 microns) et pourvu d'une anode en zinc. Le moteur, un Buhler 12 VDC, alimenté par quatre piles au lithium de 3,5 V avec une consommation de 200 mA, est géré par une carte électronique placée sous deux piles au lithium de 2,5 v contrôlées par une horloge (consommation de 120 μ A). Cinq boutons poussoirs permettent la programmation de 24 godets et du temps d'attente de 1 heure à 45 jours.

Le pourcentage de réussite, par rapport au nombre de godets sortis de l'eau, est supérieur à 90 %, ce qui en fait un engin fiable.

Dans le même temps, s'est posé le problème des pièges pour petits fonds. Les PPS3, d'une ouverture de 0,125 m², de par leurs grandes tailles, nécessitent une ligne de mouillage importante qui exclut leurs utilisations dans des fonds inférieurs à 100 m. Il a été élaboré des pièges ayant une surface de collecte de 0,05 m², les PPS4, aux mêmes rapports que le PPS3 mais d'une hauteur de 1,2 m pour un diamètre de 35 cm, qui permettent son utilisation dans des fonds à partir de 20 m. La coque est plus petite mais les moteurs et les porte-godets sont interchangeables avec les PPS3.

A l'opposé, dans les grands fonds océaniques où la quantité des particules dans la colonne d'eau est très faible, il est nécessaire d'avoir une surface de collecte plus importante. Dernier sorti des ateliers Technicap, le PPS5, piège de forme conique (fig. 8), a une surface de un m² et un plateau de 24 godets. Son cône est en réalité la partie qui concentre les particules vers les flacons récepteurs. Le piège lui-même est formé par la grille supérieure dont l'épaisseur est trois fois plus grande que le diamètre des alvéoles

II - LA LIGNE DE MOUILLAGE.

Par leur taille, 190 cm de haut et 50 cm de diamètre, les trois premières générations de pièges à particules ont nécessité une ligne de mouillage adaptée (fig. 9). Le mouillage est construit de la façon suivante :

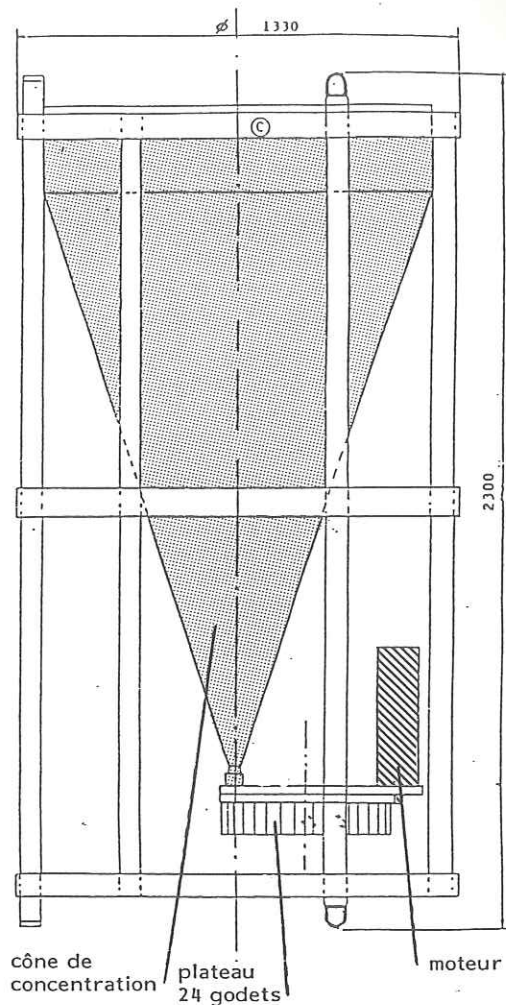


Fig. 8 Le piège à particules conique : le PPS5

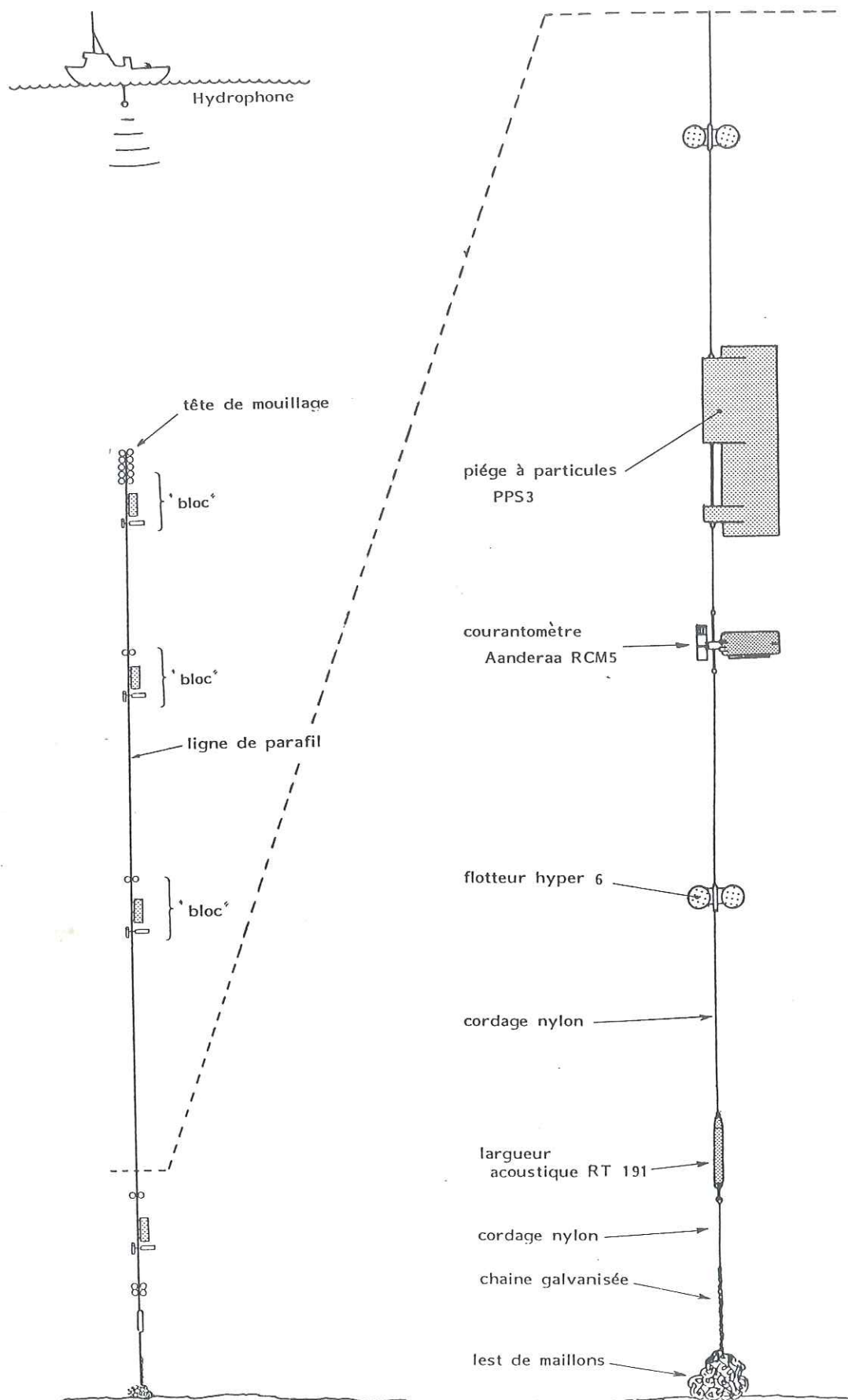


Fig. 9 La ligne de mouillage "grand fond" pour les PPS3.

* chaque piège avec ses flotteurs et ses appareils supplémentaires tels que courantomètre ou transmissomètre, sera considéré comme un bloc ;

* une flottabilité est montée au niveau de chaque bloc, leur assurant une poussée positive de sorte que, si l'un des points quelconques de la ligne était défectueux, tout pourrait être récupéré ;

* une flottabilité supplémentaire tendra la ligne. Elle ne sera pas à moins de 40 mètres de la surface, afin que les navires ne puissent la toucher ;

* Un lest largable permettra de maintenir l'ensemble sur le fond.

1) Les instruments employés.

A) Appareils de récolte :

* Les pièges PPS3 de la société Technicap : poids immergé d'environ 20 kg négatifs, 6 godets de 250 ml ;

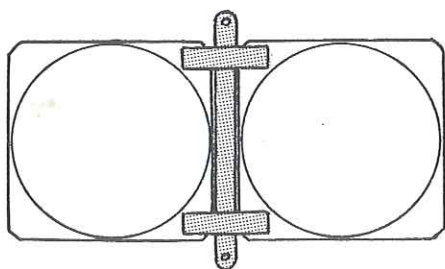
* Les pièges PPS5 de la société Technicap : 42 kg négatifs, 24 flacons de 200 ml (programme ECOFER) ;

* Les pièges "Lamont" du Lamont Doherty Geological Observatory, USA : 14 kg négatifs, 10 godets programmables de 160 ml (programme ECOFER) ;

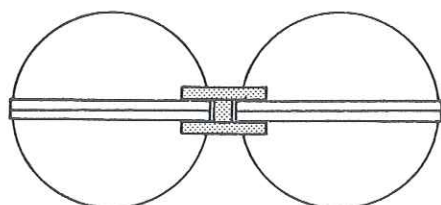
B) Appareils de mesures :

* Les courantomètres RCM4, RCM5, RCM7 et RCM8 d'Aanderaa Instruments : 19 à 22 kg négatifs ;

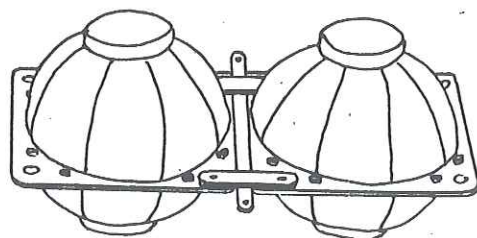
* Transmissomètres Sea Tech montés sur des boîtiers de courantomètres Aanderaa : 24 kg négatifs ;



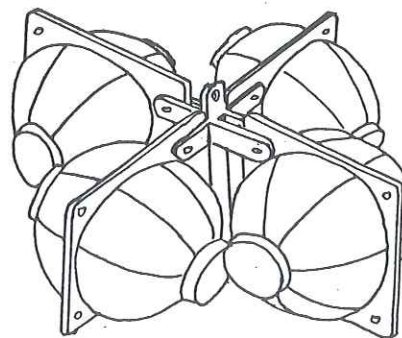
a) Vue de face



b) Vue de dessus



c) Groupe par deux



d) Groupe par quatre

Fig. 10 Croisillons servant à maintenir les flotteurs "Hyper6".
a et b : Schéma d'un croisillon simple,
c et d : Les deux formes de croisillons.

C) Appareils de repérage :

- * Flash Suber "Sub 7000" : émet un flash de nuit toutes les deux secondes, 0,7 kg négatif ;
- * Balise radio Novatech "RF 700" : émet un signal radio toutes les deux secondes, 1 kg négatif ;
- * Balise SMM 2000 d'Argos : transmet toutes les 2 minutes un signal si l'appareil est hors de l'eau ; 12 passages de satellites par jour permettent son repérage et donnent sa position (programme ECOFER), 5 kg négatifs ;

D) Appareils de soutien :

- * Le largueur acoustique RT 161 d'Océano Instrument commandé par une télécommande TT201 : 27 kg négatifs. Cet appareillage permet de décrocher l'ensemble de la ligne de mouillage, du lest perdu, à l'aide d'un système de fréquences codées et assure l'interrogation de la distance hydrophone/largueur ;
- * Les flotteurs "Hyper 6" d'Océano Instrument : 25 kg positifs dans l'eau garantis jusqu'à 6500 m de profondeur. Pour les maintenir par deux ou quatre et les intégrer à la ligne de mouillage, j'ai fait usiner des croisillons en inox 316 Ti (fig. 10) ;
- * Les flotteurs dit "SNPE" de la société S.N.P.E. : cylindre d'environ 50 cm de diamètre constitué de microbille coulées dans de la résine, percé en son centre d'un trou. Deux flottabilités courantes : 80 ou 160 kg positif dans l'eau. Profondeur limitée à 600 m, mais moins fragile et plus compact que les "Hyper 6". Idéal pour les têtes de mouillages.

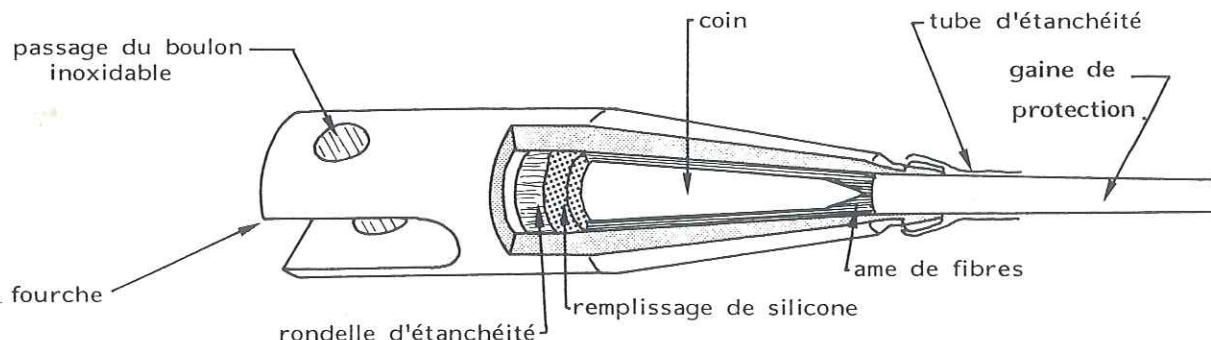


Fig. 11 Terminaison pour câble "Parafil"

* Le Parafil de Linear Composites Limited, composé d'une âme de fils synthétiques parallèles continus, enveloppés d'une gaine résistante, remplace le cordage traditionnel. Son avantage principal est son poids : 6 grammes par mètre dans l'eau. Il peut avoir un poids positif si, neuf, ses deux extrémités sont obturées. Il est résistant (2 tonnes pour 11 mm) et insensible à la corrosion donc ne pollue pas. L'allongement est pratiquement nul une fois qu'il a été étiré. Des embouts en inox 316 Ti, à boulons goupillés, basés sur le principe du coin conique, permettent d'assurer les liaisons du Parafil (fig. 11) ;

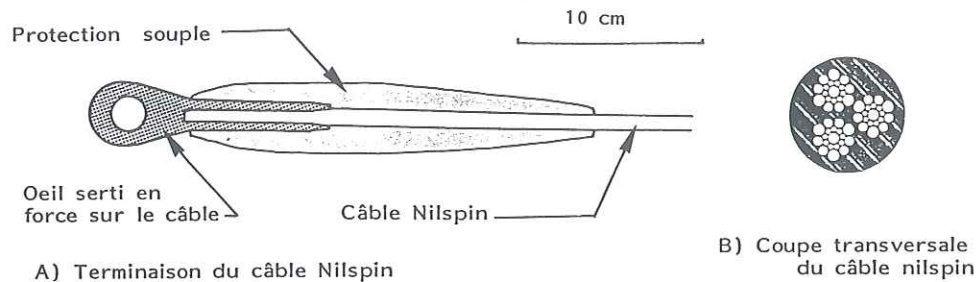


Fig. 12 Section du câble "Nislpin" (A) et sa terminaison (B).

* Le câble NILSPIN : trois câbles de 19 brins en acier galvanisé coulés dans un plastique souple, isolés entre eux pour un diamètre de 5 mm. Son avantage : si la protection laisse passer l'eau de mer par une entaille, seul l'un des trois brins est corrodé. Les extrémités sont fermées par des terminaisons spéciales de la Woods Hole Oceanographic Institution, USA. (fig. 12) ; résistance 1800 kg, 7,7 kg au 100 m négatifs (programme ECOFER) ;

* Le lest est constitué de chaîne réemploi à maillons moyens, par morceaux de 6 à 8 anneaux représentant 80 à 120 kg, reliés entre eux par une chaîne galvanisée neuve de 10 mm, résistante à 4 tonnes, placée en double.

* L'accastillage, manilles et visseries essentiellement, doit être en inox de qualité marine (exemple de marque : Wichard) :

2) Constitution d'une ligne de mouillage

- Le flash, la balise radio et la balise Argos sont montés à l'extrémité d'une perche de trois mètres. Un mètre plus bas, deux flotteurs Hyper 6 assurent la flottabilité du système. Un poids de 5 kg est placé à l'autre bout de la perche et permettra de maintenir les instruments hors de l'eau. L'ensemble de ce système est appelé "Croix de Lorraine". Un cordage le reliera à la tête de mouillage.

- La tête de mouillage est constituée soit de flotteurs "Hyper 6", montés par quatre sur des croisillons inox soit de flotteurs "SNPE", et reliés entre eux par deux mètres de polyamide (nylon) de 12 mm de diamètre et d'une résistance de 3t.

- Une ganse équipe chaque croisillon et appareil et permet, à la récupération, d'accrocher le croc de la grue. Des anodes sont fixées aux différentes parties métalliques évitant une corrosion trop rapide des métaux (Prévoir la méthode de récupération, et en fonction du navire, adapter les prises sur la ligne en conséquence).

- Deux "bouts" ou cordages de 16 mm en polyamide et d'une résistance à 5 tonnes relient :

a) le largueur à sa flottaison. Chaque extrémité est terminée par un oeil épissé garni d'une cosse nylon. Rappelons qu'un noeud plat sur un cordage nylon en réduit de 50 % sa résistance alors qu'une épissure conserve la totalité de la force (tableau 3).

b) le lest à l'anneau de largage. L'une des extrémités sera formée d'un oeil emprisonnant l'anneau de largage. La corde est passée

Nature du cordage	nylon	polyester	polypropylène
Noeud plat	50	67	65
Demi-noeud	54	64	59
Noeud de chaise	78	85	98
Noeud d'écoute	71	74	62
Noeud d'écoute double	77	63	69
Demi-clé à capeler	74	78	78
Oeil épissé	100	100	100
Noeud de bois	75	98	86
Valeurs : $\frac{\text{charge de rupture moyenne au noeud} \times 100}{\text{charge de rupture nominale}}$			

Tableau 3 : RESISTANCE RESIDUELLE DES CORDAGES (en pourcentage).

au travers d'un tube de PVC de 30 mm de diamètre et 4 m de long, avant de confectionner le second oeil. Ce tube, coincé au niveau de l'anneau de largage, évite au cordage de former une boucle autour du largueur à l'arrivée au fond, qui retiendrait captive la ligne de mouillage sur le lest. L'utilisation du cordage permet de consolider la partie soumise aux plus fortes sollicitations. En cas de mauvais fonctionnement du largueur, ce lien pourra être éventuellement sectionné par un submersible type "Cyana". Pour les lignes de mouillage qui comportent un grand nombre d'appareil, un système de double largueur est installé (prog. ECOFER).

- Dans les zones à risque d'attaque par les poissons, le parafil sera remplacé par le cable "Nilspin". En Méditerranée, ces risques sont faibles. Nous avons eu des problèmes en Atlantique, dans le cadre des missions ECOFER, avec les Aphanopus appelés communément sabres noirs (fig. 13). Ces poissons qui prolifèrent entre le 40^{ième} parallèle sud et le 40^{ième} parallèle nord, mesurent plus de 110 cm et vivent à des profondeurs bathymétriques de -200 à -1600 m.

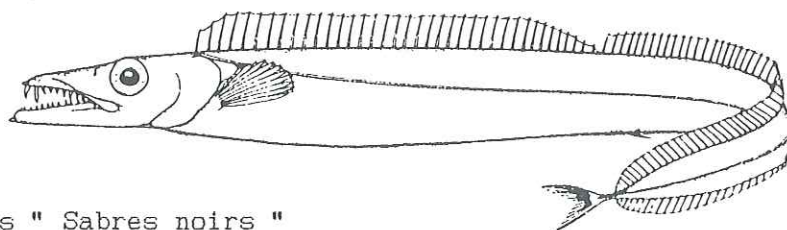


Fig. 13 Les " Sabres noirs " poissons de plus de 1 m de long.

3) Le calcul de la flottabilité

Le calcul de la flottabilité (fig. 14) dépend en premier lieu de la longueur de la ligne et de l'intensité des courants. Si la tête de mouillage est immergée, seule intervient la résistance aux courants des câbles et des blocs qui, par leur formes adaptées, ont un coefficient de trainée moindre. Le poids des blocs qui ont une poussée positive, n'intervient plus. Plus la ligne sera longue, plus la flottaison de subsurface devra être conséquente pour pouvoir tendre la ligne. Dans le cas qui nous concerne (piège à 80 m de la surface), vu les forces et la direction des courants, nous avons placé 200 kg de flotteurs. Sur des fonds

plats, avec des courants moyens (aux alentours de 5 à 10 cm/s), le poids du lest est le double de la poussée positive. Dans le site des essais du canyon Lacaze-Duthiers, les pentes étant fortes, par sécurité nous le multiplierons par trois, soit 600 kg.

Une fois le schéma de la ligne établi, il faut reprendre plusieurs fois le calcul en simulant des contraintes anormales ou des incidents.

Un programme informatique basé sur les calculs de Merat P. (1980) et Girardot J.P. et al (1985) nous permet de calculer l'inclinaison des pièges et leur enfoncement en fonction du courant.

Son principe est basé sur la décomposition de la ligne en élément de base qui subissent individuellement les forces dues aux courants marins et à leurs poids, positifs ou négatifs. Les hypothèses de départ sont :

- la solution du problème n'est considérée que dans le plan vertical,
- le courant est permanent et uniforme pour une couche d'eau déterminée,
- le câble est parfaitement souple et ne fait apparaître aucune force interne,
- l'angle de l'élément avec la direction du courant est constant,
- le calcul des composantes des forces relatives à un élément, n'est pas affecté par les éléments voisins.

Les calculs sont basés sur, d'une part, la formule qui permet d'obtenir la force de trainée sur l'élément :

$$F = 0,5 \cdot R \cdot C \cdot S \cdot V^2 \cdot \cos^2 A$$

F = force de trainée sur l'élément

R = masse volumique de l'eau de mer : 1029

C = coefficient de trainée de l'élément

S = section en m²

V = vitesse du courant en m/s

A = angle que forme l'élément précédent par rapport à la verticale.

et, d'autre part, sur la formule qui donne l'angle d'inclinaison de l'élément :

$$\text{arc tg } B = (T \cdot \sin A) + (F \cdot \cos A) / (T \cdot \cos A) + (F \cdot \sin A) + N$$

T = tension normale sur l'élément

B = angle de l'élément considéré

A = angle de l'élément précédent

N = poids de l'élément en kg.m/sec²

L'allure du profil de la ligne sera établie par l'étude de chaque élément de base, successivement depuis la tête de mouillage jusqu'au lest. J'ai déterminé la longueur de l'élément à 2 m, ce qui correspond à la longueur du plus long appareil, le piège à particules. Cette valeur est suffisamment faible pour avoir une grande précision dans le graphique.

III - MISE EN OEUVRE DU MATERIEL.

1) La mise à l'eau

La ligne de mouillage devant être préparée avant le départ du bateau, il convient de choisir avec précision l'emplacement et la profondeur du site pour fixer la position de chaque bloc sur la ligne, les longueurs des tronçons de parafil, le poids du lest et la flottaison. Il faut prévoir que le montage du matériel est long. Le travail de préparation est long et délicat.

a) A quai :

- mesurer toutes les longueurs de parafil et monter à leurs extrémités des terminaisons inox,

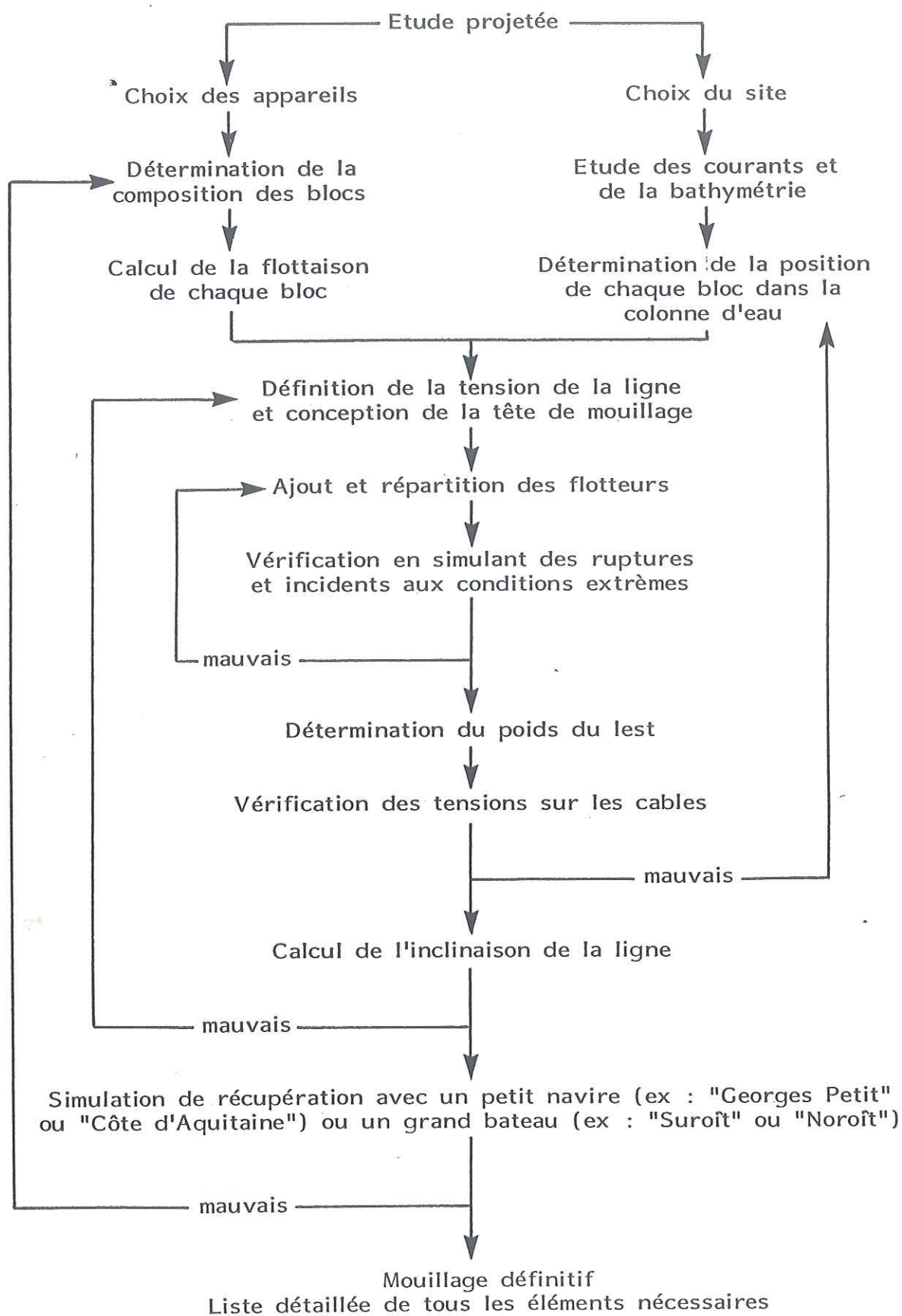


Fig. 14 Organigramme pour la conception d'une ligne de mouillage

- visser par des boulons inox les flotteurs par deux ou quatre sur les croisillons,
- gréer la tête de mouillage par du "bout" nylon,
- monter les dérives des courantomètres,
- assembler le lest par de la chaîne galvanisée,
- préparer les deux élingues nylon de 15 m,
- noter sur chaque bloc une adresse et un téléphone,
- nettoyer l'ensemble porte-godets au détergent. Le mettre plusieurs heures dans HCl 0,5 N, le passer à l'eau distillée et effectuer un dernier rinçage à l'eau Milli-Q. Remplir les godets par une solution formolée pour que, d'une part le formol conserve l'échantillon, d'autre part, éviter que le godet ne subisse les effets de la pression. Le choix du formol et sa dilution sont basés sur les travaux de Gardner et al., 1983 ; Knauer et al., 1984. La préparation de la solution formolée est donnée dans la deuxième partie de ce travail.

b) Sur le bateau :

- assembler tous les éléments entre eux : pièges, dérives des courantomètres, flotteurs, parafils et largueur acoustique. Toutes les manilles sont mouchetées soit avec du fil à voile, soit à l'aide de colliers plastiques type "Rilsan", les boulons et axes sont goupillés.

- placer des ganses sur le haut des pièges et sur les flotteurs afin de faciliter le retrait de l'eau par la grue du bord.

- préparer les courantomètres : mise en place des bandes et piles neuves, nettoyage à l'alcool et graissage modéré du joint à la graisse silicone, réglage de l'horloge à une mesure par demi heure, démarrage et fermeture de l'appareil en s'assurant qu'aucun élément n'est pris sur la graisse du joint. Pour tout appareil à joint torique, avant la fermeture définitive, faire tourner, lorsque cela est possible, les deux parties l'une par rapport à l'autre de plusieurs tours. Si par exemple un cheveu était pris verticalement sur le joint, ce qui permet l'entrée de l'eau, il se positionnerait horizontalement et l'étanchéité serait assurée. Les courantomètres sont grésés sur la ligne et goupillés. S'il fait soleil, à défaut de les mettre à l'ombre, il convient de placer un linge humide sur le capteur de température.

- programmer les moteurs des pièges : afficher un temps d'attente de façon à ce que le premier godet ne se place sous l'entonnoir récepteur que 24 heures après la mise à l'eau du matériel (réglable de 1 à 45 jours), ceci pour éviter que le sédiment mis en suspension par le lest ne pénètre dans le premier godet du piège du fond. Régler le temps d'exposition de chaque godet de 18 à 20 jours. Les moteurs sont réglables de 1 heures à 45 jours ; 18 à 20 jours permettent de couvrir l'année en trois fois six godets). A la fin du sixième godet, le piège sera ouvert sur la position sans godet du plateau, pour arrêter la collecte et pouvoir se vider de son eau à sa remontée sur le bateau. Les joints sont nettoyés, graissés en veillant à ce qu'ils ne soient pas souillés et les moteurs sont fermés.

- armer le largueur acoustique en verrouillant l'anneau dans la mâchoire. cela permet aussi de contrôler son bon fonctionnement.

- monter les plateaux porte-godets ainsi que les moteurs des pièges. Si possible stocker les pièges verticalement.

- monter des anodes sur tous les blocs qui comportent soit des métaux de nature différente, soit un mécanisme électrique, afin d'éviter l'électrolyse.

Il ne faut pas hésiter à vérifier et revérifier que tout soit conforme ; une seule goupille oubliée et le travail de plusieurs mois est anéanti.

Au-dessus de force quatre de l'échelle de Beaufort, il est dangereux pour les hommes et le matériel de travailler sur un petit navire, surtout

si les gens n'en ont pas l'habitude. Sur des bateaux de 50 à 60 m nous pouvons travailler jusqu'à force six au maximum. Ne pas commencer la manoeuvre en fin de journée, le soleil au ras de l'eau ne permet pas de voir les flotteurs et donc de veiller au bon déroulement de la manipulation.

c) Sur le site,

Après une reconnaissance des fonds par sondeur acoustique, le navire s'écarte du point théorique de largage d'au minimum une longueur égale à la ligne à mouillée et remonte, face au vent, vers le lieu de mise à l'eau à vitesse réduite. Durant ce trajet, tout le matériel est mis à la mer en commençant par la tête de mouillage. Les pièges sont déposés par la grue, et lâchés par le croc largable dès qu'ils sont remplis d'eau. Le lest, qui a été mis en pendant à l'arrière du navire, est maintenu par un bout nylon suffisamment solide. La ligne de mouillage est trainée à l'arrière (le moins longtemps possible). Le navire, toujours à vitesse lente, dépasse le point de mouillage d'une longueur égale à 1/3 de la longueur de la ligne. Au moment du largage, on libère le lest en coupant le nylon. Cette valeur de 30% a été déterminée par expérience : la ligne une fois posée sur le fond est toujours en arrière du point de lâcher du mouillage, le lest revenant en arrière freiné par les flotteurs et les pièges.

Avant de quitter le site, faire au moins trois interrogations de distance à des positions différentes, à l'aide de la télécommande du largueur. Ceci afin de vérifier que le matériel est bien posé sur le fond, mais aussi, par triangulation, savoir exactement la position de la ligne par rapport au point prévu.

2) La récupération du matériel.

Le retrait de la ligne est une opération toute aussi délicate que sa mise à l'eau. Il convient :

- d'effectuer l'opération avec une météorologie correcte,
- de ne pas récupérer en fin de journée, ou avec une mauvaise visibilité, la détection des flotteurs en surface peut alors être difficile,
- de positionner le navire à une distance correcte du point de mouillage, généralement au minimum de la longueur de la ligne en fonction des directions des courants locaux. En effet, le courant de surface peut être de direction différente des courants de fond, et, au lieu d'éloigner les flotteurs, il les ramène sous le bateau.
- commencer la récupération par la tête de mouillage, le bateau étant à l'arrêt, la manoeuvre s'effectue à la main, dans le cas qui nous intéresse, les longueurs de parafil étant inférieures à 400 m.
- les pièges sont crochetés par la ganse et, à l'aide de la grue du bord, sont sortis lentement de l'eau, afin qu'ils puissent se vider par le fond (pleins, ils atteignent un poids de 200 kg). Il faut veiller à ce qu'ils ne cognent pas contre l'arrière du navire et suspendus au dessus du pont, les plateaux porte-godets seront enlevés et rangés. Si le matériel est remis à la mer, il est obligatoire de :
 - nettoyer l'intérieur des pièges,
 - vérifier l'état des manilles et boulons,
 - changer toutes les anodes,
 - regarder l'usure du parafil et des cordages,
 - inspecter tout le matériel en recherchant les traces de corrosion,
 - avoir un jeu de plateau porte-godets complet pour ne pas toucher aux échantillons que l'on vient de récupérer,
 - dans un lieu sec, réarmer les courantmètres avec des bandes et piles neuves et reprogrammer les moteurs des pièges.

Chapitre II

Méthode de traitement des échantillons en laboratoire

La thématique ECOMARGE est mise en application dans plusieurs unités de recherches pluridisciplinaires, particulièrement dans les deux programmes suivants : ECORHONE situé en Méditerranée et dont je vais vous parler dans la suite de ce travail et ECOFER qui est son volet atlantique dont la zone d'étude se situe au large du Cap-Ferret, dans le Golfe de Gascogne.

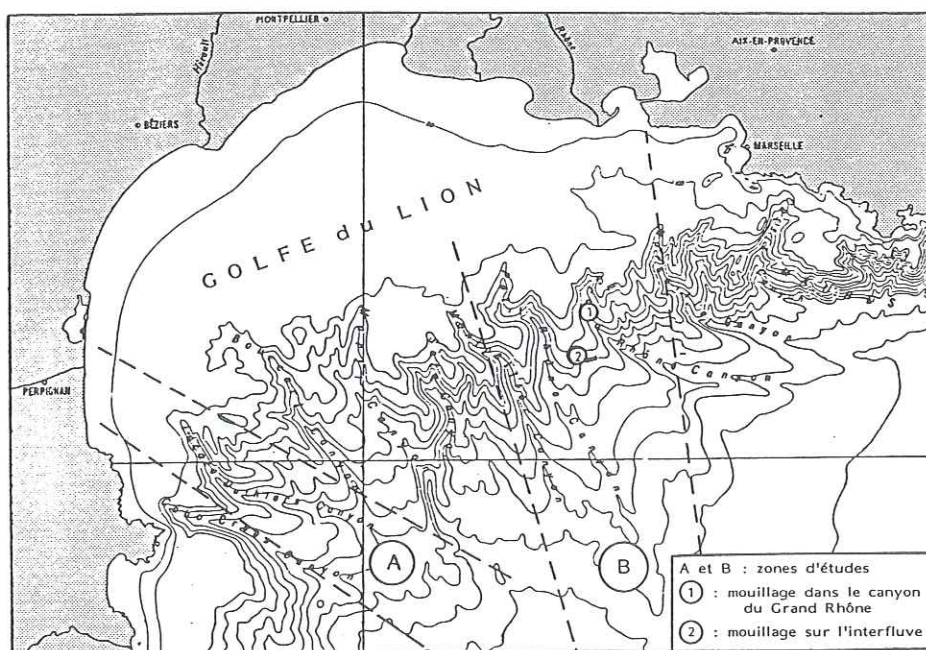


Fig. 15 Site d'étude du Golfe du Lion en Méditerranée.

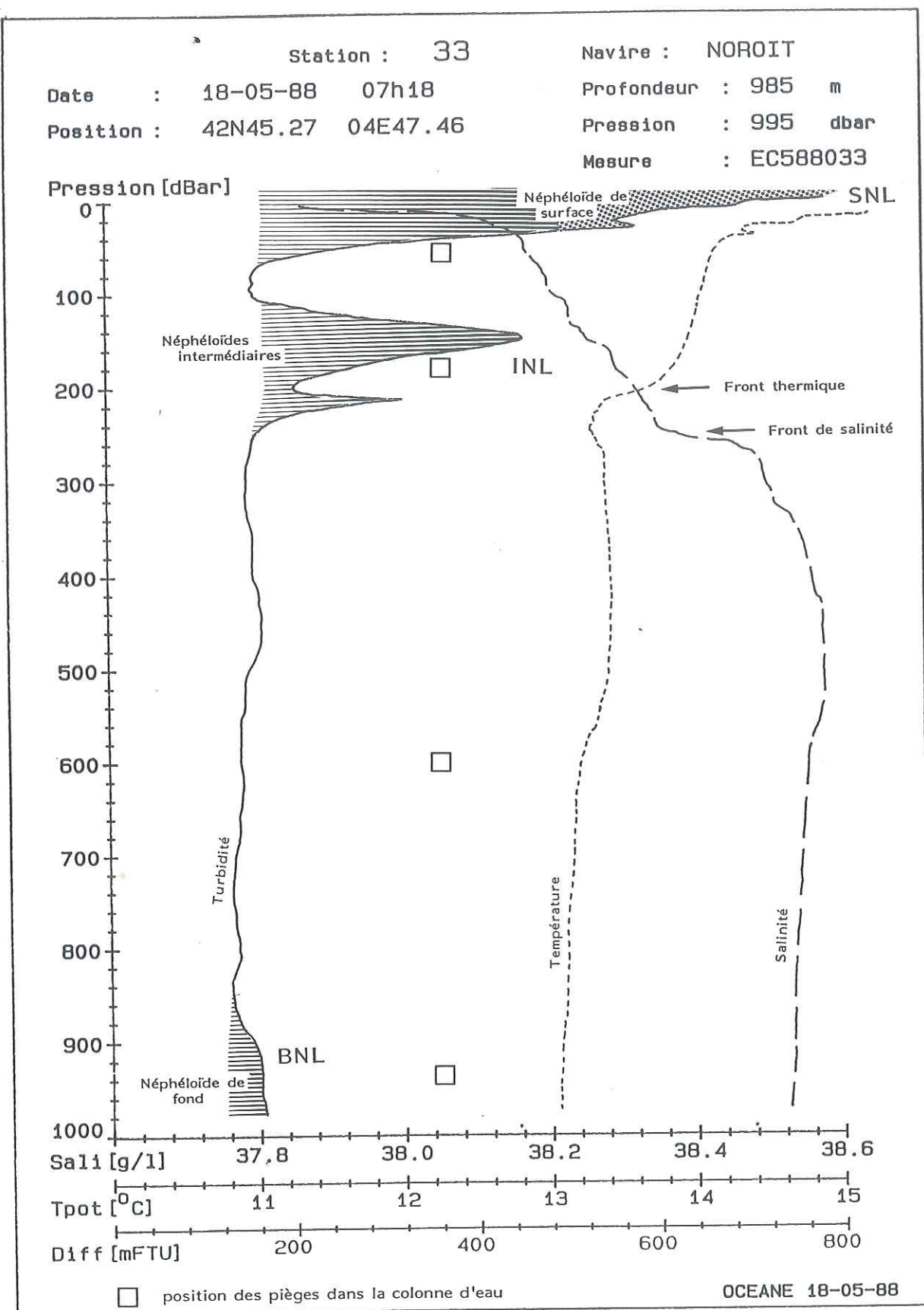


Fig. 16 Exemple d'étude hydrologique de la colonne d'eau sur le site du Grand Rhône. Les positions des pièges sont déterminées en fonctions des népheloïdes détectés.

I - STRATEGIE DES RECHERCHES

La zone d'étude du programme ECTORHONE est le Golfe du Lion (fig. 15). Le site a été bien cartographié aussi bien bathymétriquement qu'au niveau de la géologie (Aloisi, 1986), de l'hydrographie générale (Millot, 1982) et du transport des particules et des néphéloïdes (Monaco et al, 1987).

Les résultats obtenus avec les lignes de pièges autonomes placées dans le canyon Lacaze-Duthiers et à l'embouchure de la rivière Têt, ont permis d'avoir annuellement les flux en sortie du Golfe du Lion (Heussner et al. 1988). En effet, le courant Liguro-provençal le balaie d'Est en Ouest et transporte les particules rejetées par le Rhône sur les côtes roussillonnaises (Millot et Monaco, 1984). Il restait à comprendre les processus de transport des particules et les quantifier.

Il y eu tout d'abord en 1986-87 des campagnes à la mer axées sur l'hydrologie de la marge du Rhône aux Pyrénées, principalement au niveau des canyons de Marseille, du Petit Rhône, du Grand Rhône, de l'Aude et du Lacaze-Duthiers. Le groupe Océane de l'Université de Neuchatel se chargera de l'étude avec une sonde multiparamètres. Des mesures de salinité (résolution du capteur : 0,001 mmhos), température (r. du c. : 0,0005°) et de turbidimétrie (r. du c. : 1 à 2 microgrammes par litre) matérialisent les différentes masses d'eau et la concentration des particules (fig. 16). L'existence de couches néphéloïdes de surface, intermédiaires et de fond, permettront de déterminer la position des pièges dans la colonne d'eau.

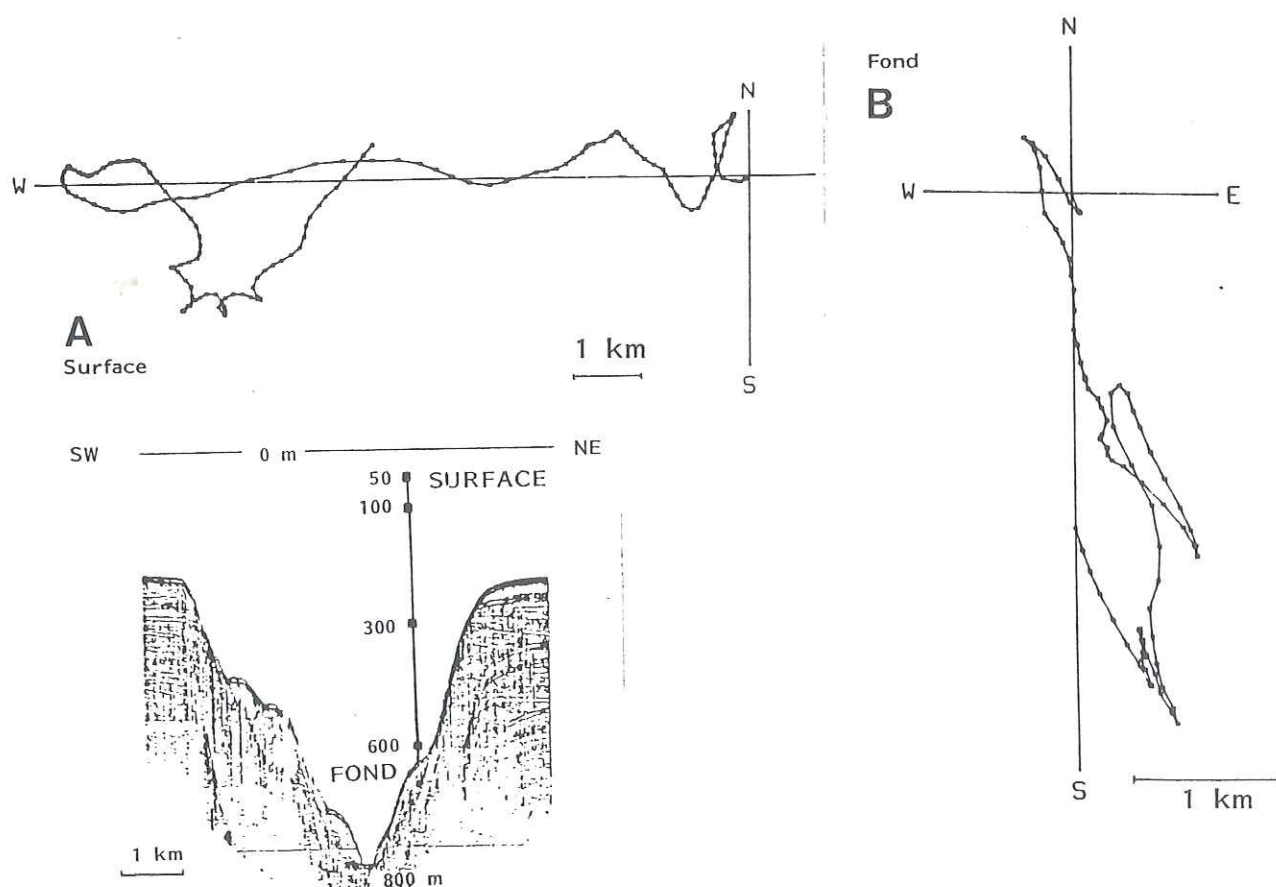


Fig. 17 Exemple de courantométrie au niveau du canyon du Grand Rhône.

A : Le courant de surface est celui du Liguro-provençal,

B : Le courant au fond est engendré par la morphologie de canyon.

DATES	SITES	NAVIRES	TRAVAUX EXECUTES
1e 19-09-83 1e 06-10-83	Lacaze Duthiers	Georges Petit	mise à l'eau de trois PP1 sortie des pièges
1e 19-04-84 1e 28-05-84	Lacaze Duthiers	Georges Petit	mise à l'eau d'un PPS2 sortie du piège
1e 19-05-85 1e 11-07-85 1e 20-09-85	Lacaze Duthiers	Georges Petit	mise à l'eau ratée de 4 PPS3 mise à l'eau de 4 PPS3 sortie des 4 pièges
1e 26-09-85 1e 16-12-85	Lacaze Duthiers	Georges Petit	remise à l'eau des même pièges sortie des pièges
1e 22-01-86 1e 14-04-86	Lacaze Duthiers	Georges Petit	remise à l'eau des même pièges sortie des pièges
du 25-08-86 au 06-09-86	Petit Rhône ECORHONE I	Noroît	mise à l'eau de 4 PPS3 étude hydrologique et carottages
du 25-11-86 au 05-11-86	Petit Rhône ECORHONE II	Suroît	perte de la ligne étude hydrologique et carottages
du 22-02-87 au 25-02-87	Petit Rhône	Georges Petit	recherche de la ligne
du 16-05-87 au 22-05-87	Grand Rhône ECORHONE III	AEGAIO	mise à l'eau de 3 courantomètres pour 7 jours, 8 carottages Usnel et 36 stations d'étude hydrologique
du 19-01-88 au 30-01-88	Grand Rhône ECORHONE IV	Noroît	mise à l'eau de 5 PPS3 et de 4 courantomètres. 41 stations d'étude hydrologique et 14 carottages Usnel
du 14-05-88 au 25-05-88	Grand Rhône ECORHONE V	Noroît	sortie et remise à l'eau des même 5 pièges et de 4 courantomètres; immersion pour 10 jours d'une ligne de 4 courantomètres. 132 stations hydrologiques et 21 carottages Usnel
1e 17-09-88	Grand Rhône	Noroît	sortie des 4 pièges du canyon
1e 23-09-88	Grand Rhône	Georges Petit	sortie du 5 ^{ème} piège et remise à l'eau des 5 PPS3 avec leur 5 courantomètres
1e 14-01-89	Grand Rhône	Noroît	récupération des 5 pièges et des 5 courantomètres

Tableau 4 A Les missions "Ecomarge" dans le Golfe du Lion (Méditerranée).

DATES	SITES	NAVIRES	TRAVAUX EXECUTES
du 19-06-89 au 28-06-89	Cap-Ferret ECOFR I	Noroît	mise à l'eau de 2 lignes avec 6 PPS3, 2 PPS5, 3 Lamont, 1 Ifremer (12 pièges) 2 transmissomètres et 6 courantomètres carottages : 40 Usnells, 12 Kullebergs 48 stations hydrologiques 5 traineaux suprabenthiques 2 chaluts à perche, 7 filets à plancton
du 09-11-89 au 11-11-89	Cap-Ferret	Côte d'Aquitaine	récupération de la première ligne de mouillage
du 10-12-89 au 11-12-89	Cap-Ferret	Côte d'Aquitaine	récupération de la seconde ligne de mouillage
du 02-05-90 au 17-05-90	Cap-Ferret ECOFR II	Suroît	mise à l'eau de 2 lignes avec 6 PPS3, 2 PPS5, 3 Lamont, 7 courantomètres et 2 transmissomètres 70 stations hydrologiques 22 pompes autonomes CEA/ECOMARGE 12 Usnells, 4 traineaux suprabenthiques 14 pompes pour la production primaire
le 29-06-90	Cap-Ferret	Côte d'Aquitaine	récupération d'une ligne de mouillage accidentée
le 08-07-90 et 09-07-90	Cap-Ferret	Côte d'Aquitaine	remise à l'eau de la ligne accidentée après réparation
du 11-10-90 au 26-10-90	Cap-Ferret ECOFR III	Noroît	récupération des 2 lignes de mouillage mise à l'eau de 2 lignes avec 6 PPS3 2 PPS5, 5 Lamont, 2 transmissomètres et 7 courantomètres 27 stations hydrologiques, 10 Usnells 8 pompes CEA/ECOMARGE 20 pompes Bishop/Lamont USA 1 traineau suprabenthique 5 pompes production primaire

Tableau 4 B Les missions "Ecomarge" dans le Golfe de Gascogne (Atlantique).

Un courantomètre sera immergé sous chaque piège ; les courants sont très importants car, bien que le courant général du Liguro-provençal soit est-ouest (fig. 17 A), l'eau s'écoule dans les canyons suivant une direction nord-sud (fig. 17 B). Ils indiquent aussi si les pièges ont fonctionné correctement. Sous des courants trop forts, supérieurs à 15 cm/s, les pièges collectent les particules de façon anormale à cause des courants advectifs à l'entrée de l'appareil.

Des prélèvements seront effectués à la bouteille de type Niskin de 30 litres dans les différents néphéloïdes afin de vérifier la calibration de la sonde et d'établir une relation qualitative entre la qualité du matériel et la mesure. Ces bouteilles sont grées sur la rosette de prélèvement à commande électronique qui est couplée avec la CTD et le néphélomètre. L'ensemble est géré directement du bateau en temps réel.

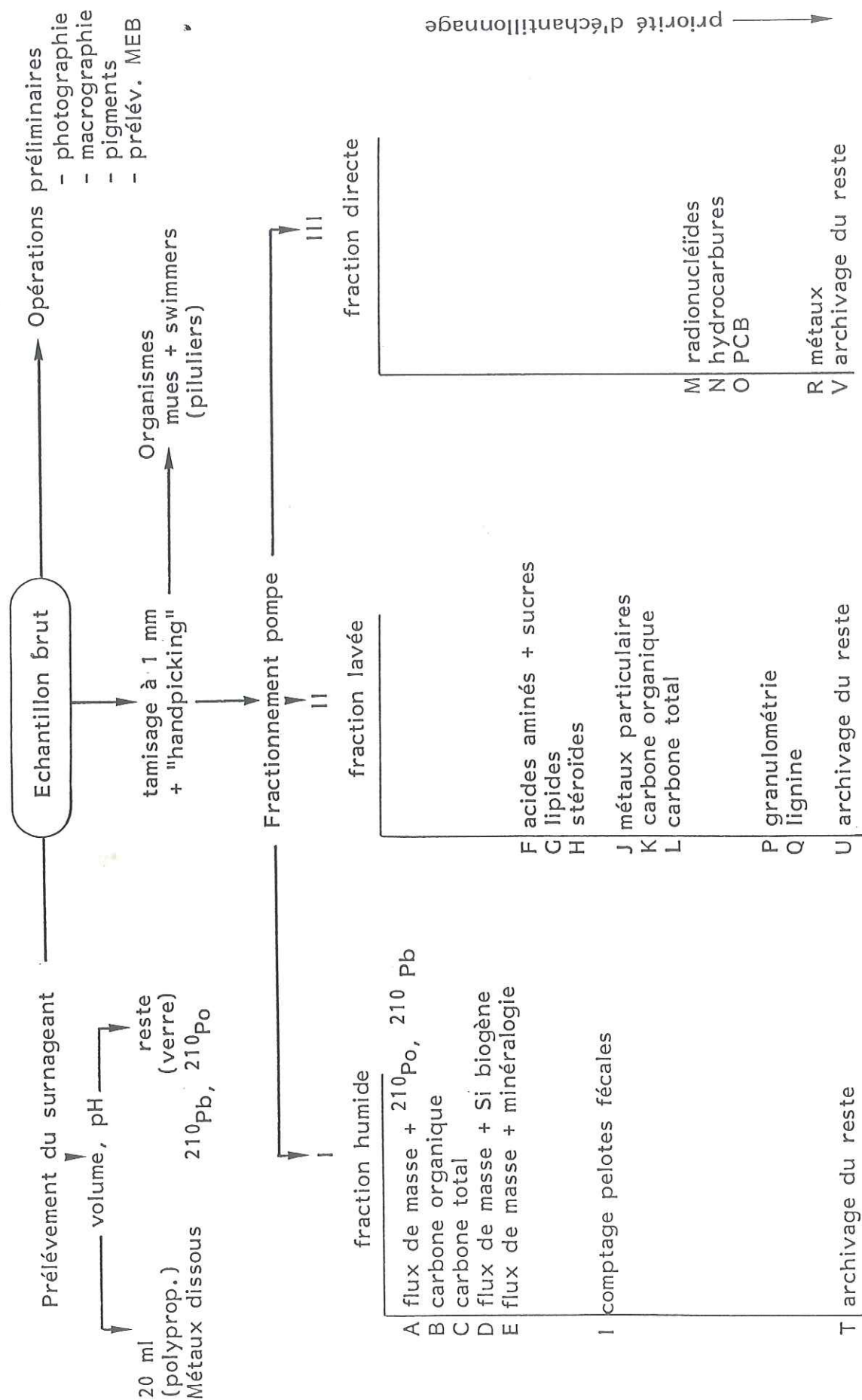


Tableau 5 Protocole des opérations à effectuer sur les échantillons de pièges ECOMARGE

Les stations de prélèvements seront aussi exécutées au lieu des immersions, avant et après le travail des pièges, ainsi que pendant la période de collecte, éloignées d'un mille de ceux-ci par sécurité et ceci afin de comparer les particules recueillies par les deux systèmes en connaissance des autres paramètres.

Dans l'exemple qui nous concerne, nous nous proposons, au vu des résultats obtenus durant les missions d'août et de novembre 1986, ainsi qu'en mai 1987, de couvrir la période de l'année 1988 dans le canyon du Grand Rhône (fig. 15), par l'immersion de quatre pièges PPS3, munis de leur courantomètre aux quatre profondeurs déterminées suivant l'étude hydrologique de la fig. 16 : sous la zone de production à -60 m, dans les néphéloïdes intermédiaires à -180 m, dans la colonne d'eau claire à -600 m et dans le néphéloïde de fond à -920 m. Nous en placerons aussi un sur l'interfluve à -920 m dans les mêmes conditions que le piège de fond du canyon. J'ai calculé la ligne de mouillage (longueur et flottabilité) choisi le petit matériel, monté les divers éléments et effectué toutes les missions à la mer de mise à l'eau et de récupération, sans exception (tableau 4A et 4B).

II - TRAITEMENTS PRELIMINAIRES DES ECHANTILLONS

Préparation des échantillons

A la récupération des pièges, sur le navire, les plateaux portegodets sont emballés sans les ouvrir, dans des poches plastiques opaques afin de les protéger de la lumière et mis au froid à environ 2°C dans le réfrigérateur du bateau. Transportés dans des glacières, ils sont entreposés dans la chambre froide du laboratoire.

Il est indispensable de déterminer :

- a) les analyses à effectuer,
- b) les quantités minimales mais suffisantes et nécessaires aux études,
- c) la priorité des prélèvements, sachant que dans certains godets, la matière risque d'être insuffisante pour toutes les analyses prévues.

Un protocole dont j'ai eu la lourde responsabilité est mis en place (tableau 5) spécialement pour ECORHONE . Avant toute manipulation, le matériel de collecte est photographié. Cela restera la seule trace du matériel vierge de toutes manipulations. La photographie à la binoculaire donnera une idée très nette de l'échantillon. La personne qui devra interpréter un type d'analyse bien spécialisé et qui n'aura pas forcément vu le matériel frais, doit en avoir la meilleure représentation possible.

Préparation au travail d'ouverture.

Avant d'ouvrir les plateaux, toute une série de préparations est à effectuer impérativement :

* Adopter une numérotation pour repérer les échantillons : date, lieu, période, temps...

Ainsi, pour les échantillons ECORHONE, le numéro α I C 5 est un prélèvement à -600 m dans le canyon du Grand Rhône. C'est le 5^{ème} godet de la première période, donc du 7 au 25 mai 1988.

* Créer des feuilles de travail où tout doit être consigné. J'ai donc mis en forme des feuilles de travail (fig. 18), découpées en cinq zones donnant les informations :

MISSION du au		n° de l'échantillon	
Profondeur théorique : Profondeur réelle : Pas d'échantillonnage : Date d'ouverture :		vitesse pression température conductivité	
SURNAGEANT couleur odeur volume : cc pH : observation :		métaux pigment pH archive 250 cc	
SEDIMENT hauteur : mm volume : observation :		pigment M E B filtre M E B p.critique	
zone 3		PHOTOS zone 5 ouverture : bino :	
ECHANTILLONNAGE date :		A Po - Pb - Flux B Carbone Org. C Carbone Total D Flux - Si biog. E Flux - miméralo. F Acide A. - Sucre G Lipide H Stéroïde I Comptage pelotes J Métaux n°1 K Carbone Org. n°2 L Carbone Total n°2 M Radionucléide N Hydrocarb. O P C B P Granulométrie Q Lignine R Métaux n°2 S T U V W Archive III X Archive II Y Archive I Z Refus > 1 mm	
Estimation totale A= mg E= mg D= mg B= mg C= mg			

Fig. 18 La feuille de travail.

- 1) générales, en haut de page : le nom de la mission, la date de collecte du godet, la profondeur, date d'ouverture du plateau, n° de l'échantillon, etc...
- 2) sur le surnageant (couleur, odeur ...) ;
- 3) sur le sédiment avec la description du supérieur à 1 mm ;
- 4) sur l'échantillonnage (détails sur le fractionnement) ;
- 5) sur l'ensemble des interventions : nombre de photographies prises, direction et vitesse des courants, pression, température et conductivité, échantillons archivés et disponibles...

* Nettoyer le petit matériel tel que pinces, spatules, pipettes de 10 ml graduées au dixième et de 25 ml, ainsi que toute la série des récipients qui contiendront à un moment ou à un autre divers échantillons : cristallisoirs, ballons, béchers, verres de montre etc... Tous les flacons où seront stockés les différentes parties d'échantillons, devront être lavés au détergent, rincés à l'eau distillée, mis un minimum de 24 heures à l'acide chlorydrique 5 % et rincés trois fois avec de l'eau distillée, puis milliQ.

* Préparation du plan de travail : le plan de travail est recouvert de papier Benchkote 46 x 57 cm de chez Whatman. Une place sera recouverte de papier industriel pour la pose du matériel sale. Tout le petit matériel sera à portée de main.

Elaboration des produits :

- L'eau de mer : les échantillons sont manipulés avec de l'eau de mer, afin de ne pas détériorer les structures internes de certains organismes ou de créer un déséquilibre chimique. L'eau de mer sera filtrée successivement sur un préfiltre, puis à 0,45 et 0,22 micron.

- Formol stabilisé pour bloquer des échantillons : Formol 40 % (formaldéhyde stabilisé avec Calcium) et neutralisé au borate de sodium à pH 7,5 à 8.

- Solution formolée 5% : 1/8 de formol 40 % pour 7/8 d'eau de mer filtrée à 0,22 micron. Neutralisation au borate de sodium à pH 7,5 à 8. Solution servant au remplissage des godets des pièges et à la conservation des organismes après ouverture des plateaux.

- Les filtres GF/F 47 mm de chez Whatman, en fibres de verre pour l'analyse du carbone, seront mis au four à 490 °C toute une nuit, entreposés au dessiccateur deux heures et prépesés.

- Les filtres millipore 0,45 micron type HA de 47 mm sont un mélange d'esters de cellulose. Ils serviront aux calculs des flux et devront donc être préparés de la façon suivante : le filtre neuf est lavé à l'acide et rincé pour pouvoir analyser les métaux (Fe, Mn, Cu...). Il est ensuite mis à tremper dans de l'eau milliQ, séché 24 heures à l'étuve bloquée à 35°C, mis au dessiccateur dont le desséchant est de bonne qualité pendant une demi heure. Il est pesé sur une balance au dixième, voire centième de milligramme. La même procédure sera suivie avec le filtre chargé et ceci afin de limiter les erreurs dues à la différence d'humidité.

- Les filtres millipore 0,45 micron de type HA 25 mm pour l'observation au MEB, ne subiront pas de traitement si ce n'est qu'une prépesée.

III - LES DIFFERENTS ECHANTILLONAGES.

Avant de procéder au fractionnement des aliquotes devant servir aux différentes analyses, certains prélèvements sont effectués préalablement à toute manipulation ; dans l'ordre, les prélèvements sont :

LES PIGMENTS pour le dosage de la chlorophylle. La lumière ne sera pas trop forte car la chlorophylle est sensible à la lumière. Prélever rapidement dans les six godets, l'un après l'autre, à l'aide de pipettes pasteur stériles montées sur un doseur, 50 micro-litres du sédiment que l'on dépose dans un flacon opaque, numéroté et mis au réfrigérateur.

LES METAUX : Une aliquote de 20 ml est prise dans l'eau surnageante et mise dans un flacon en polypropylène. Stabilisé avec 20 microlitres d'acide nitrique supra pur, ce prélèvement servira à doser les métaux éventuellement passés dans la phase dissoute durant les semaines écoulées entre la fermeture du godet et l'ouverture du plateau.

LE SURNAGEANT est transvasé à l'aide, soit d'une pipette de 25 ou 50 ml, soit avec un seringue de 60 ml, dans un flacon de verre numéroté de 250 ml. Sa couleur, son volume, son odeur sont notés ainsi que la hauteur de sédiment restant dans le godet.

LA PHOTOGRAPHIE du godet : J'utilise un objectif 80-200 macro, monté sur un boîtier 24x36 konica automatisé et motorisé, l'ensemble vissé sur un pied. La pellicule utilisée est une ektachrome de 100 asa. Un éclairage indirect est fourni par une lampe torche de 1000 W vissée sur un second pied.

Les godets sont ensuite recouverts d'un verre de montre et mis au froid. Ils seront traités un par un.

LA MACROPHOTOGRAPHIE : l'échantillon ou partie de l'échantillon (jusqu'à un gramme maximum) est déposé dans un cristalliseur de grande taille, diamètre 18 cm avec un demi centimètre d'eau de mer, ce qui permet une bonne dilution des flocons afin de pouvoir les individualiser sous l'objectif de la binoculaire Wild M400. Le grossissement variant à l'aide d'un macrozoom, permet de multiplier de 63 à 320 fois. J'utilise des films 24x36 pour diapositives, ektachrome lumière artificielle de 160 asa, montés dans un boîtier entièrement automatisé par le système Wild MPS 55.

M.E.B. : Un échantillon pour l'observation au Microscope Électronique à Balayage est prélevé dans le cristalliseur à l'aide d'un compte-gouttes, dont l'extrémité a été élargie, et déposé dans la tulipe pleine d'eau distillée du système de filtration. La chute des particules dans un liquide permet une bonne répartition sur le filtre millipore 0,45 micron et 25 mm de diamètre . Lavés du sel avec de l'eau milliQ, les filtres sont lyophilisés. Une pesée permettra la correction du flux de masse. Pour les échantillons suffisants en quantité, une autre aliquote, plus importante, est prélevée et mise dans un conteneur de téflon poreux pour le séchage par le point critique. L'eau de mer est remplacée par de l'alcool de moins en moins dilué pour finir par de l'absolu. Dans un appareil spécialisé, l'alcool est remplacé par du CO₂. Les échantillons, ainsi débarassés de leur eau, sont mis en petit piluliers et pesés. Les filtres et suspensions seront stockés à l'abri de l'humidité. Noter sur la feuille de travail le numéro des filtres et des piluliers utilisés ainsi que les observations éventuelles.

TAMISAGE : l'ensemble de l'échantillon est passé sur un tamis nylon de 1 mm de maille, taille idéale pour ôter les organismes vivants en conservant la totalité du particulaire. Le tri s'effectue avec deux

pinces et une pissette d'eau de mer. Tous les organismes tels que crevettes, salpes, méduses, etc... sont rincés et mis dans un flacon de solution formolée. Noter sur la feuille de travail la couleur, la texture et l'aspect du sédiment, les différents organismes, leurs grosseurs et leur nombre, les tailles des pelotes de salpes et leur quantité. Des éléments pourront être prélevés et montés sur un filtre prépesé afin de les étudier individuellement au MEB. Il est évident que leurs poids seront rajoutés au flux de masse. Les filaments impossibles à saisir, et les pelotes fécales de salpes qui, bien que volumineuses, sont considérées comme faisant partie du flux, restent dans l'échantillon. Je passe ensuite celui-ci sous la binoculaire et à la pince fine (n°5), j'ôte les derniers organismes ("swimmers") qui sont inférieurs à la maille du tamis (Knauer et al., 1979, 1984). Le reste est mis dans un ballon de deux litres.

IV - LE FRACTIONNEMENT.

1) L'appareillage et le principe.

J'utilise la pompe péristaltique Perifill IQ 2000 de chez Jencons (fig. 19) pour le sous-échantillonnage. Le ballon est placé sur un agitateur orbital dont le but est d'éviter la décantation. La pompe fait tourner l'échantillon en continu dans un tuyau en silicone et une double vanne, commandée par un tableau électronique, prélève dans un temps déterminé un volume bien précis que je déverse dans une série de béchers de 250 cc. Le principe du fractionnement est de créer des sous-échantillons identiques représentatifs du total. Il est donc indispensable qu'ils comprennent un maximum de doses références. La gradation verticale du fin vers le grossier dans le ballon est compensée par le petit volume des doses que j'ai réglé à un millilitre, avec entre les ponctions, une seconde de circulation. Rythme suffisant qui limite le temps de manipulation.

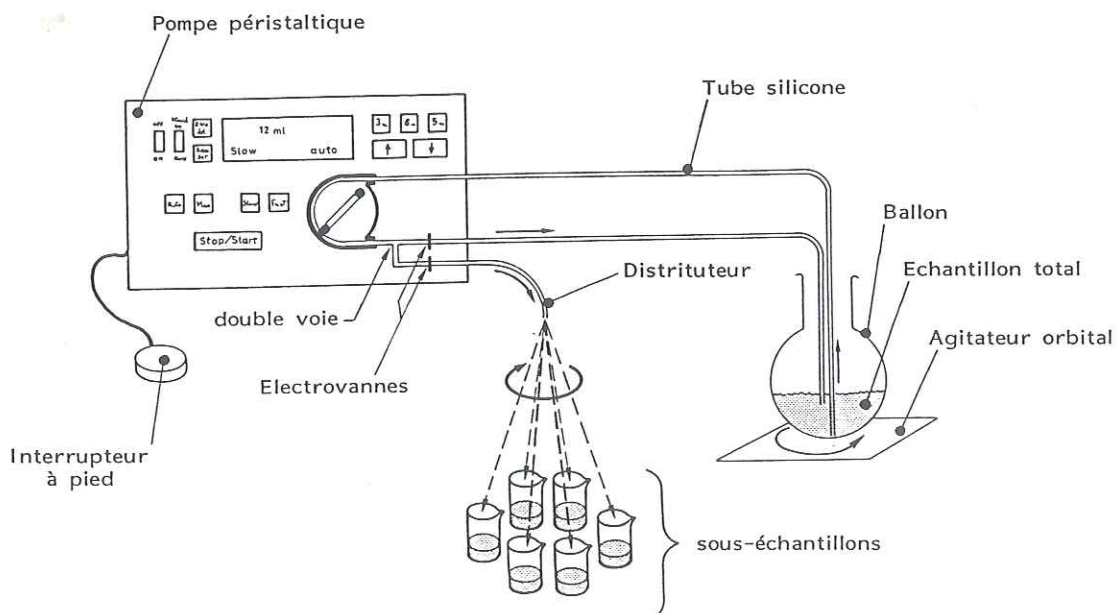


Fig. 19 Système de sous-échantillonnage par pompe péristaltique.

Tests effectués	quartage	profondeur des pièges	Nbre de tests	Nbre de mesures	Coefficient de variation (en %)	Ecart en %	
						mini	maxi
Précision sur le volume	1/10		2	10	0,25	0,21	0,28
Sédiment fin	1/4		2	4	0,21	0,11	0,31
	1/6		2	6	0,93	0,40	1,45
	1/10		2	10	0,94	0,57	1,31
Sédiment récolté dans les pièges à particules	1/4	50 m	30	2	4,4	0	14,1
	1/4	100 m	24	2	6,4	1,2	17,7
	1/4	300 m	30	2	2,9	0	10,0
	1/4	600 m	26	2	3,2	0,5	12,3
	total		110	2	4,1	0	17,7

Tableau 6 - Variation de la précision du sous-échantillonnage, exprimée par le coefficient de variation.

Des essais ont été effectués pour vérifier l'efficacité du système (tableau 6) :

- sur la précision du volume délivré, le coefficient de variation est de 0,3 %

- sur la méthode : nous avons utilisé un sédiment détritique, homogène, tamisé à 40 microns ; le coefficient de variation est compris entre 0,11 et 1,45 %, avec une moyenne à 0,7 % ce qui est très satisfaisant.

- sur les échantillons des pièges, la moyenne du coefficient de variation est 4,1 %, allant de 3 % dans les échantillons de fond, plus détritiques, jusqu'à 6,4 % dans ceux de surface, plus hétérogènes.

Cette méthode de quartage est très correcte si nous la comparons aux 4,5 % obtenus avec un "splitter Folsom" de très loin beaucoup plus long en temps travail (Gardner et al., 1985) ou aux 7 % de Dymond et al (1981) avec la version modifiée de Mac Manus et al. (1966)

Une des conditions à observer pour un bon quartage est la dilution de l'échantillon dans le ballon par une quantité d'eau de mer suffisante pour permettre un nombre de doses correct : un minimum de 15 doses par sous-échantillon est nécessaire. Exemple : pour un sous-échantillonnage au 24^{ième}, 500 ml de solution donneront 20 doses.

Pour que les aliquotes soient identiques, au cours du quartage, toutes les séries commencées doivent être finies. Les béciers doivent contenir le même nombre de doses pour des dilutions identiques. Le reste est repris par de l'eau de mer et repartagé, ceci trois fois. Après les quatre dilutions, les particules restantes dans le ballon sont extrêmement faibles et sont réparties manuellement dans les fractions. Ne pas oublier de noter sur la feuille de travail les différents quartages effectués, ainsi que toutes les pertes ou incidents survenus pendant la répartition ; ils pourront peut être expliquer plus tard des différences.

En suivant le protocole (tableau 5) établi dans le cadre "Ecomarge", l'échantion doit être divisé en trois parties aux traitements différents.

* La fraction I d'un minimum de 150 mg, qui nous intéressera plus particulièrement, sera immédiatement divisée en six aliquotes décomposées comme suit :
 30 mg pour le dosage du plomb-polonium 210 + flux,
 30 mg pour effectuer la minéralogie + flux,
 30 mg pour la détermination des pelotes fécales,
 30 mg pour l'évaluation de la silice biogène + flux,
 15 mg pour le carbone total,
 15 mg pour le carbone organique.

* La fraction II de 600 mg minimum, sera lavée du sel à la centrifugeuse avec de l'eau milliQ, lyophilisée et entreposée dans des flacons de verre.

* La fraction III de 800 mg, sera lyophilisée sans traitement et mise en flacons de verre.

Depuis plusieurs années que je traite des échantillons de pièges, j'ai noté pour chacun d'eux la hauteur de sédiment dans les godets, donc le volume, avant toute manipulation. Avec le poids sec obtenu après traitement, j'ai fait une estimation approximative du nombre de fractions qu'il est possible d'obtenir par échantillon, pour avoir 30 à 50 mg sur les filtres de la fraction I (tableau 7).

hauteur en mm	poids secs en g	volume en ml	fractionnements	
			n° 1	n° 2
1	< 0,2	< 1	fractions à définir	
	0,3-0,5	3	1 / 24	
2	0,6-0,8	6		
3	0,9-1,5	12		
4	1,6-2,4	18	1 / 6	1 / 24
7	2,5-3,5	25		
12	3,6-5	50	1 / 24	1 / 24
18	> 5	> 60	fractions à définir	

Tableau 7 Estimation approximative du poids d'échantillon en fonction de la hauteur de sédiment dans les godets collecteurs et fractionnement des échantillons "ECOMARGE".

Par expérience, et pour les échantillons ECORHONE, j'ai considéré deux fractionnements : au 6^{ième} et 24^{ième}.

- Lorsque la quantité de matière est suffisante pour toutes les analyses prévues, au moins 1,5 g, le quartage au 6^{ième} (fig. 20.A) s'impose en premier lieu à cause de la concentration. Six béchers sont utilisés et l'on dépose des doses de 1 ml dans chacun d'eux en tournant jusqu'à épuisement de l'échantillon. Je forme ensuite les fractions :

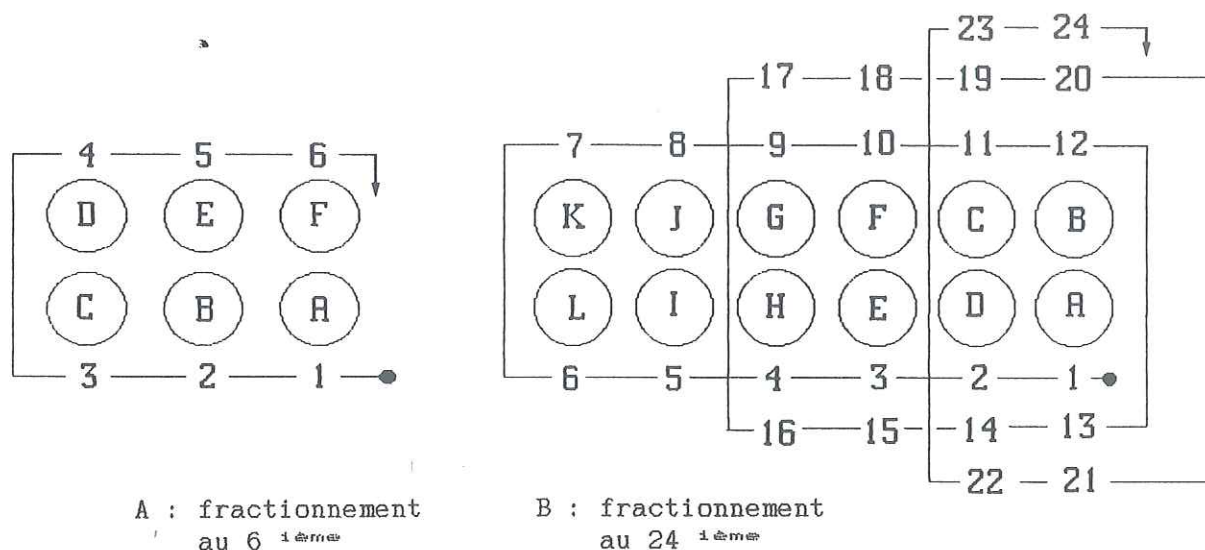


Fig. 20 Répartition des doses pendant le sous-échantillonnage.

I = béccher A qui sera partagé au 24^{ième}, II = bécchers C et E, III = bécchers B, D et F.

- Le quartage au 24^{ième} (fig. 20 B) : je dispose de 12 bécchers et je dépose des doses de 1 ml en trois étapes :

dans les 12 contenants,	prises de 1 à 12,
dans les bécchers de A à H,	prises de 13 à 20,
dans les bécchers de A à D,	prises de 21 à 24,

et ainsi de suite jusqu'à l'épuisement de l'échantillon. Ce partage permet suivant la quantité de matière dans les godets, d'obtenir plusieurs combinaisons par ajout pour obtenir la quantité nécessaire :

béccher L = 24^{ième}, béccher H = 12^{ième}, béccher D = 8^{ième},
 $L + D = 6$ ^{ième}, $H + D = 5$ ^{ième} ($5/24$), $L + H + D = 4$ ^{ième},
 etc...

2) Le conditionnement des fractions.

a) La fraction I

Une fois le partage effectué, je passe sur un filtre millipore le contenu d'un béccher, généralement au 12^{ième} ou 24^{ième}. Les autres sont recouverts d'un verre de montre et mis au réfrigérateur jusqu'au lendemain. Ce filtre, une fois séché et pesé, va nous renseigner sur la quantité de matière disponible dans chaque aliquote. Je pourrais donc maintenant, filtrer les autres parties de façon à avoir la quantité nécessaire mais suffisante de matière pour chaque étude. Il vaut mieux avoir un maximum d'échantillon en archive qui permettra par la suite de faire soit d'autres analyses, soit d'en vérifier certaines, que d'avoir des grosses quantités de matière sur les filtres qui, au cours des études, seront détruites.

* Le flux de masse sera calculé à partir de trois filtres millipore qui serviront ensuite à la minéralogie, aux dosages du plomb/polonium ²¹⁰ et de la silice biogène. Pour cette dernière je prendrai le premier filtre effectué. Si un ajout d'aliquote est nécessaire, alors la seconde partie de l'échantillon sera stockée dans un flacon de verre avec un ml de formol stabilisé ; en effet, pour l'étude de la silice biogène, le matériel devra être décollé du filtre, l'ajout se fera à ce moment.

* Les échantillons servant au dosage du carbone et déposés sur deux filtres de fibres de verre serviront de contrôle au flux de masse. Ils auront un poids supérieur, ceci étant dû à la différence de qualité des

filtres. La fibre de verre retient mieux les particules, mais il est ensuite impossible de les récupérer totalement.

* Le comptage et détermination des pelotes fécales : l'échantillon sera concentré par décantation et mis dans un pilulier auquel j'ajoute 1 ml de formol stabilisé. La décantation, contrairement aux autres moyens tel que la centrifugation plus rapide, n'écrase pas les pelotes fécales. Elles conservent ainsi leurs structures et dimensions.

* Le reste de la fraction sera entreposé dans un flacon de verre de 125 ml, après concentration par décantation, et ajout d'un ml de formol stabilisé.

b) Les fractions II et III

A part les filtres dont le matériel est sec, les fractions II (lavées par centrifugation) et III (brutes) sont gardées au congélateur, couvertes de "parafilm". Une fois lyophilisées, les fractions sont détaillées en différentes aliquotes permettant les analyses prévues, pesées avec le maximum de précision et entreposées dans des flacons compatibles avec la mesure envisagée. Les aliquotes humides, ainsi que le surnageant et organismes, bien que formolées, seront conservées en chambre froide.

2^{ième} PARTIE

Analyse spécifique : la minéralogie

**mise au point de programmes
informatiques**

Analyse spécifique : la minéralogie

mise au point de programmes informatiques

L'étude diffractométrique permet de déterminer la nature des éléments cristallisés d'un sédiment, c'est à dire qui ont les atomes organisés sous forme de plans comme le sont les quartz, feldspaths, carbonates etc., et les argiles. Eléments importants de la sédimentologie, les argiles ont une structure en feuillets qui résultent d'un empilement de couches tétraédriques et de couches octaédriques (fig. 21). Ce sont sur ces plans que vont diffracter les rayons X émis par une lampe et analysés par un détecteur (fig. 22).

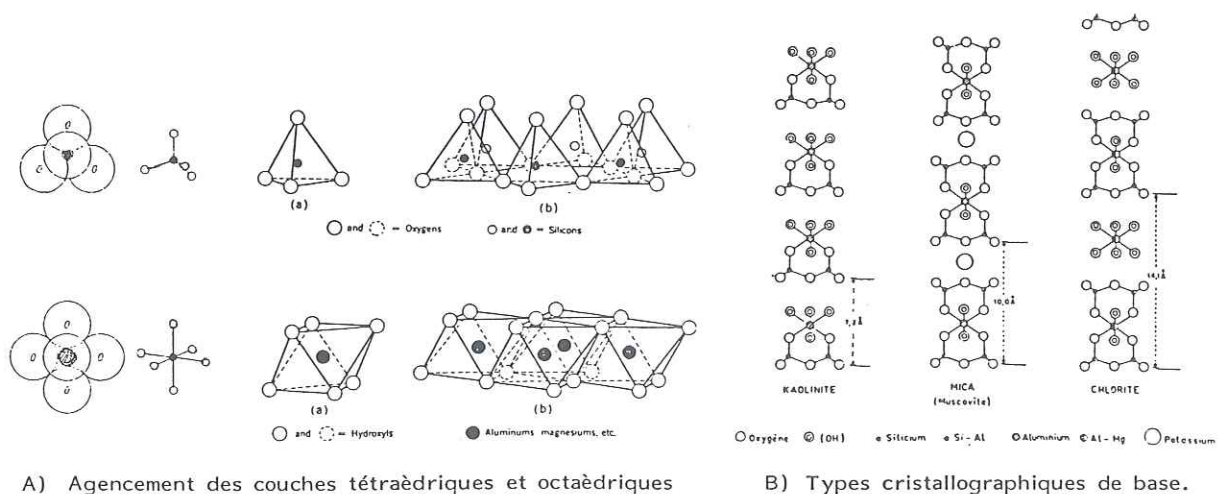


Fig. 21 Agencement des couches cristallographiques.

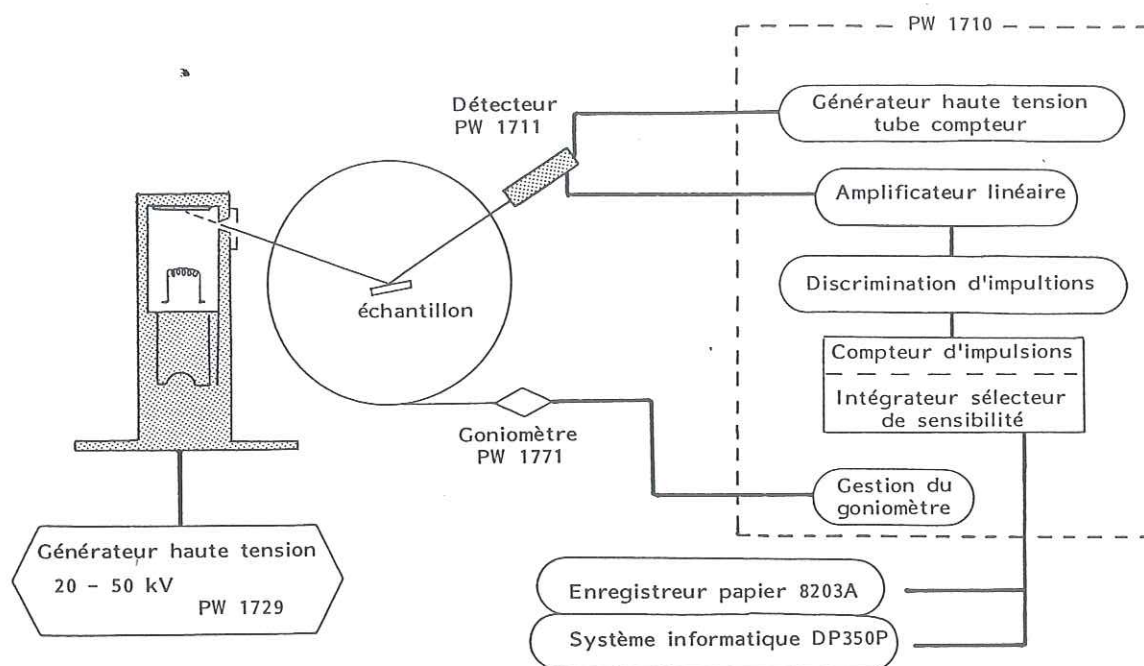


Fig. 22 Schéma de principe du diffractomètre Philips.

I - L'APPAREILLAGE

L'appareil se décompose en trois parties formant un tout homogène :

- un diffractomètre Philips PW 1729 doté d'un tube long à anticathode au cobalt à foyer fin (dimension de la fente de sortie $0,4 \times 8$ mm). La longueur d'onde du cobalt est de $1,78892 \text{ \AA}$ pour la raie K 1 . Le générateur fournit une tension de 40 000 volts et l'intensité de la lampe est de 30 mA, ce qui donne une puissance de 1200 w. Un goniomètre vertical permet des mesures tous les 5 millièmes de degré. Un détecteur à monochromateur graphique analyse le faisceau après son passage dans plusieurs fentes : 1° à l'entrée, $0,2 \text{ mm}$ et 1° à la sortie (fig 23) et le calibre.

- Un automate programmable Philips PW 1710 à microprocesseur sert à manipuler le goniomètre à partir d'un clavier, ceci afin de ne pas intervenir manuellement sur un appareil de haute précision et de dérégler l'alignement du faisceau de rayon X. Il permet, en outre, de réaliser

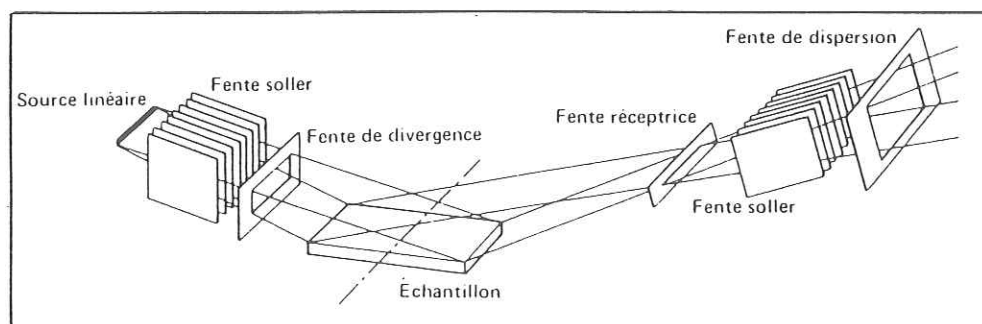


Fig. 23 Optique d'un dispositif de diffractomètre par rayon X.

toutes les programmations possibles concernant non seulement la gestion, la mise en place et la sortie des échantillons à partir d'un passeur automatique, le contrôle du temps de comptage, du pas de mesure et de la zone à balayer, mais aussi de la gestion de l'imprimante Philips 8203 A, qui délivre la courbe sur papier. Le langage de l'automate n'est pas assez évolué pour éliminer le bruit de fond important dans les petits angles (de 3 à 12° 2θ), partie intéressante de la courbe où se trouvent la smectite, l'illite et les interstratifiés. Il ne permet pas en outre de conserver en mémoire les valeurs d'analyses. Pour palier cela, nous lui avons adjoint de l'informatique.

- Un micro ordinateur modèle "Professionnal 350 Digital" assure le stockage des différentes courbes dans des fichiers, classés dans un disque dur de 20 Mo. C'est le logiciel que j'ai écrit en pro/basic, et que je vous présente ci-dessous, qui en assure leur exploitation.

II - PRELIMINAIRE A LA PROGRAMMATION

a) Il faut avant toute chose déterminer le glossaire :

Angström : unité de mesure indépendante de la source de rayon X, noté symboliquement Å, donné par la formule de Bragg $2.d(hkl). \sin \alpha = n.\lambda$ ou λ est la longueur d'onde et α est l'angle de réflexion

Balayer : zone angulaire exposée au faisceau.

Bruit de fond ou ligne de base : quantité de rayon X détectée sur une zone ne présentant pas de plan cristallin. C'est une partie du faisceau direct qui est analysée dans les petits angles (jusqu'au 12^{ème} degré 2θ environ) et des réflexions parasites au delà.

Degré : le goniomètre oriente l'échantillon par rapport au faisceau émis suivant un angle θ (θ). Le détecteur pour se trouver face au rayon réfléchi, doit aller deux fois plus vite (fig. 24), soit un angle deux θ s, noté dans le texte 2θ.

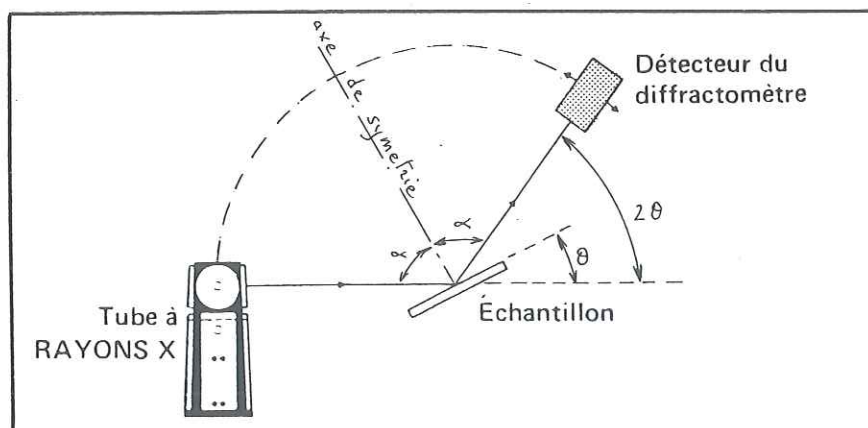


Fig. 24 Les principaux angles du diffractomètre.

Lame : l'échantillon à analyser est déposé, après traitement, par décantation sur une lamelle de verre carrée de 18 mm de côté, montée sur un support qui la maintiendra dans l'appareil.

Orientation des courbes : tous les programmes informatiques dont nous allons parler, dessinent les courbes avec les petits angles à gauche et les grands angles à droite, contrairement aux enregistreurs à encre tel le 8203A de philips.

Pic : augmentation consécutive de l'intensité du rayon diffracté sur un plan cristallin jusqu'à un maximum qui sera en degré la position du pic.

Spectre : courbe issue de l'analyse avec l'intensité du rayon diffracté en ordonnée et l'angle que fait l'échantillon par rapport au faisceau initial en abscisse.

b) Préparation de l'échantillon

Une méthode rapide de préparation pour des sédiments marins à teneur en matière organique normale a été mise au point au laboratoire :

- prise de 1 gr de sédiment ;
- ajout d'hexamétaphosphate de sodium à 2 gr / litre ;
- passage à la sonde ultrasonique en 2 fois 2 minutes pour éviter la chauffe qui endommagerait les argiles ;
- décantation pendant 50 minutes et prélèvement dans le premier centimètre pour isoler les particules < 5 μ m ;

nature des plans cristallisés	distance en Å	plan d(hkl)	angles en degré de à		intensité 0-10
smectite	17	001	5,5	7	10
chlorite	14	001	6,8	7,6	6
illite	10	002	9,7	10,5	10
talc	9,3	002	10,8	12,2	7
chlorite	7,1	002	13,5	14,5	10
kaolinite	7,0	001	13,5	14,5	10
illite	5,0	003	21,2	21,8	2
chlorite	4,7	003	21,5	22,2	3
talc	4,7	111	21,5	22,2	8
quartz	4,26	100	24,2	24,4	2
feldspath K	4,22	130	31,5	32,0	10
feldspath Na, Ca	4,02	201	32,3	32,7	9
calcite	3,86	102	26,2	27,4	1
kaolinite	3,6	002	28,5	29,2	10
chlorite	3,5	004	29,3	29,8	6
illite	3,33	006	30,5	31,7	9
quartz	3,33	101	30,5	31,7	10
feldspath K	3,21	002	31,7	32,2	9
feldspath Na, Ca	3,18	002	32,7	32,8	10
talc	3,10	006	33,0	33,9	10
calcite	3,03	104	34,2	34,3	10
calcite Mg	2,99	104	34,6	35,2	10

Tableau 8 Minéraux courants rencontrés entre 3 et 38° 20 dans les sédiments marins de Méditerranée.

- prélèvement et dépôt sur une lame ;
- montage de la lame après séchage, sur un support permettant sa mise en place sur le portoir automatique.

Pour les faibles quantités de certains échantillons récoltés dans les pièges, les particules sont déposées sur des filtres d'argent de 25 mm de diamètre. Ces filtres sont directement passés au diffractomètre. Les raies de l'argent n'apparaissent qu'à partir de 2,35Å soit un angle de $44,56^\circ 2\theta$; elles ne gênent en rien l'analyse des échantillons.

La bosse créée par la matière organique ou l'hexamétaphosphate de sodium entre 15° et $35^\circ 2\theta$ sera supprimée par le programme de calcul des surfaces. La qualité de l'appareillage donne une bonne discrimination des pics de kaolinite et de chlorite. La smectite sera différenciée des interstratifiés en mettant la lame sous vide au-dessus d'éthylène glycol pendant 17 heures. Il suffira donc d'un seul passage de la lame glycolée pour obtenir un spectre complet.

Quelques impératifs vont déterminer la programmation :

- Le choix des minéraux à étudier dans la liste des pics régulièrement rencontrés dans les échantillons de sédiment d'origine marine (tableau 8).

- Je prendrai la référence du quartz à 4,26Å car le pic principal à 3,33Å est superposé à celui de l'illite. La chlorite et la kaolinite, confondues à 7Å peuvent être différenciées à 3,5Å et 3,6Å.

- Il faut balayer l'échantillon de 3° à $38^\circ 2\theta$, zone où se trouve la majorité des minéraux composants les sédiments. De plus, pour avoir un spectre avec un nombre de points suffisants, sans que le temps de passage ne soit trop long, un compromis de une mesure par deux secondes tous les 4 centièmes de degré donne de bons résultats. Nous aurons 865 points durant environ 30 minutes de comptage par échantillon.

- Le spectre est numérisé pour pouvoir être enregistré dans un fichier contenant les valeurs de type chaîne ; elles seront à leur tour transformées et mises dans un fichier de type binaire à l'aide du programme V17 de Philips, appelé " traitement des fichiers ".

- Les pics seront analysés en surfaces pour plus de représentativité. Informatiquement, après avoir ôté le bruit de fond, je ferai l'intégration des mesures en cps/s déterminant le pic.

III - L'ORGANIGRAMME DU PROGRAMME

Afin d'éviter que le programme n'atteigne une longueur excessive, il est articulé en plusieurs sous-programmes chaînés entre eux. Je vais donner les caractéristiques principales de chacune des étapes, (fig. 25 et 25 bis) le détail étant sous forme de listing joint en annexe.

1) Sélection, à partir du menu principal, du portoir concerné. L'ordinateur ne prenant que dix caractères, par commodité et pour connaître à tout instant les références de l'échantillon, j'ai appliqué la nomenclature suivante :

- une lettre désignant la personne ou le programme de recherche,
- un chiffre pour l'année en cours (9 = 1989, 0 = 1990 ...),
- un nombre de trois chiffres indiquant le jour de l'année,
- une lettre caractérisant l'échantillon (L=lame, P=poudre,...),
- un nombre de deux chiffres donnant la position de l'échantillon

dans le portoir.

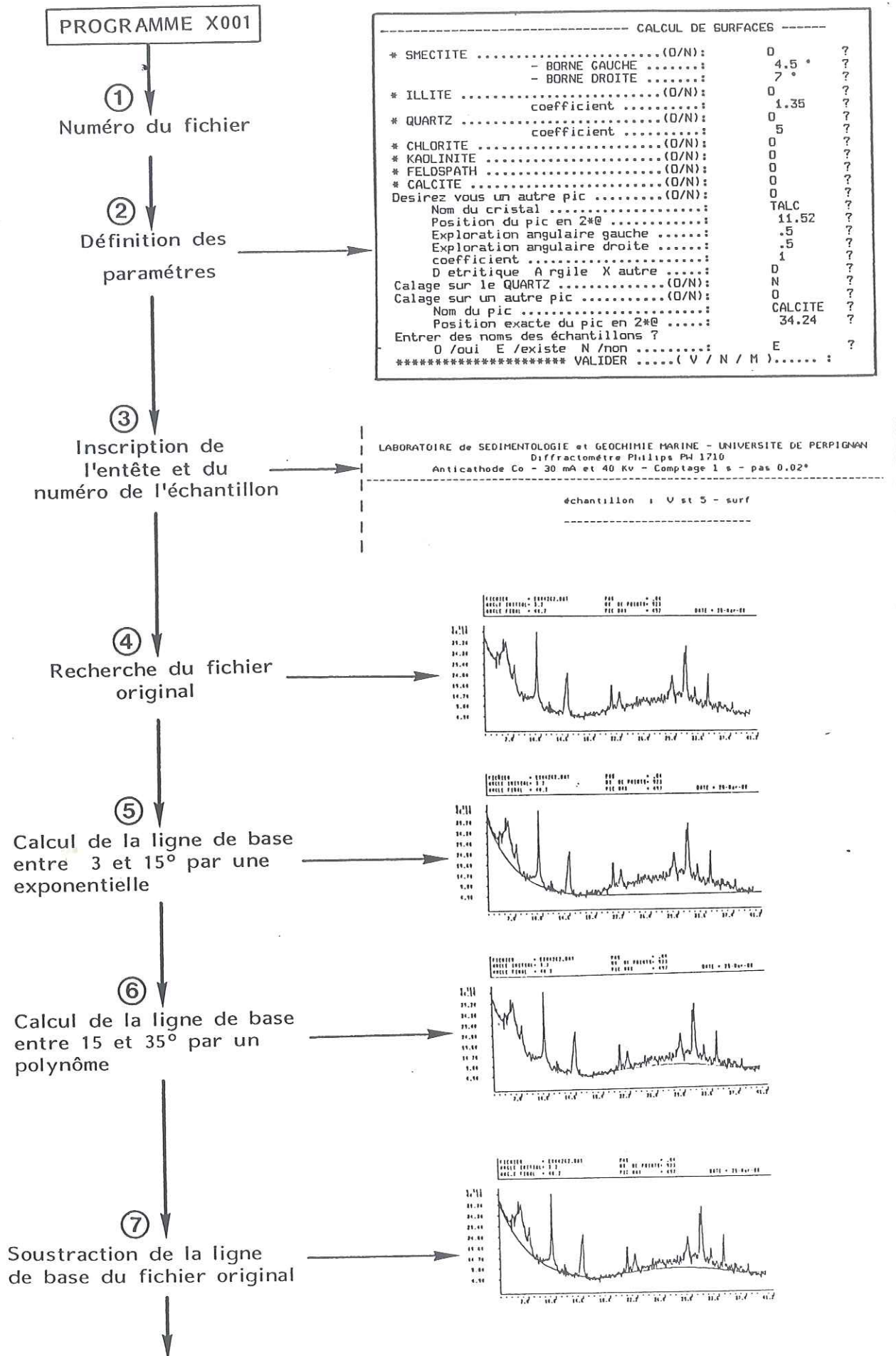


Fig. 25 Schéma du programme "calcul des surfaces".

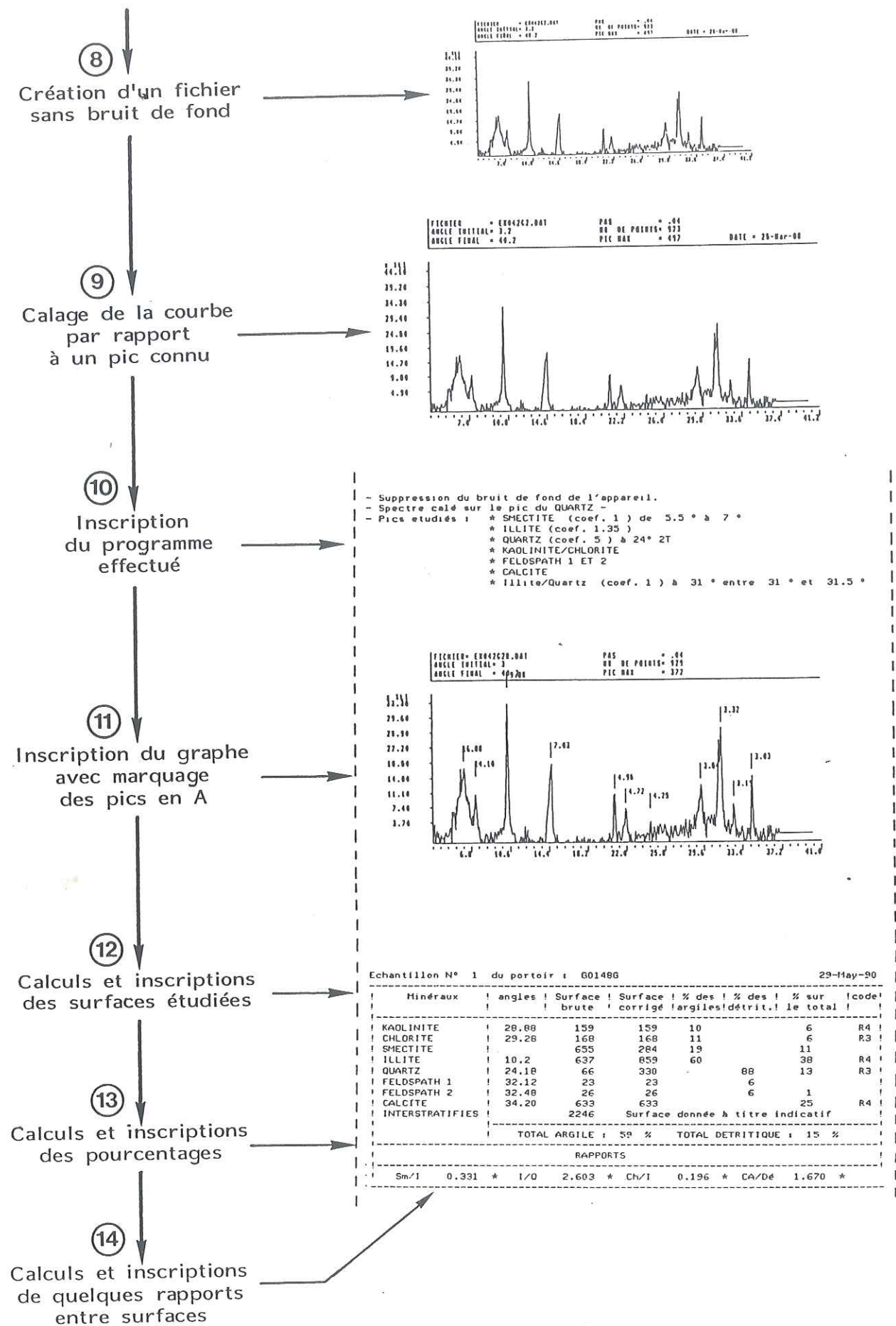


Fig. 25 bis Schéma du programme "calcul des surfaces".

E9152L12, par exemple, signifie qu'il s'agit du 12^{ème} échantillon d'un portoir de lames d'argile (L), appartenant à une personne extérieure au laboratoire (E) et analysé le 152^{ème} jour (6 juin) de l'année 1989.

2) La programmation, nécessitant des choix, oblige à définir les paramètres dans une série de questions en début de travail (fig. 26). A partir de maintenant, le programme a toutes les données nécessaires pour travailler seul.

3) L'en-tête du laboratoire et les principales caractéristiques du diffractomètre sont inscrites sur le haut de la feuille de résultats, accompagnées du nom de l'échantillon mis en mémoire.

4) Recherche dans la mémoire de l'informatique du fichier correspondant, de type binaire.

5) L'analyse diffractométrique des argiles s'effectuant dans les petits angles (3° à 38° 20) subit deux phénomènes parasites. Un bruit de fond élevé dans la partie inférieure à 12° 20, due à une exposition directe aux rayons X, se stabilise au delà en laissant place à une perturbation due aux matières amorphes tel que le verre qui porte l'échantillon, un peu de matière organique, etc.... En effet, plus la quantité de matière est faible, plus une partie des rayons X qui diffracte sur la lamelle de verre crée un bombement de la courbe entre 17° et 37° 20.

L'un des objectifs du programme est de modéliser ces phénomènes afin de les supprimer.

----- CALCUL DE SURFACES -----		
* SMECTITE	0	
borne gauche et droite	4.5 ° à 7 °	
coefficient	.5	
* INTERSTRATIFIES	0	
* borne gauche et droite	7 ° à 10 °	
* ILLITE	0	
coefficient	1.35	
* QUARTZ	0	
coefficient	5	
* CHLORITE	0	
* KAOLINITE	0	
* FELDSPATH	0	
* CALCITE	0	
* Calcul d'un autre pic	0	
Nom du cristal	TALC	
Position du pic en 2*θ	11.52	
borne gauche et droite	.5 ° à .5 °	
coefficient	1	
D étritique A rgile X autre		
N on calculé dans les surfaces	D	
Calage sur un autre pic	0	
Nom du pic	CALCITE	
Position exacte du pic en 2*θ	34.24	
Entrer les noms des echant. ? (O/N/E)....	E	
----- (V) alider ----- (C) orrection ----- (M) enu ----- :		

Fig. 26 Liste des paramètres du programme "calcul des surfaces".

La ligne de base dans les petits angles est de la forme

$$Y = (A-C)e^{-cst} \times x \times (db-da) + B$$

avec $cst = (1/A-C) \times (A-B) / (db-da)$ pour $x=0$

A = moyenne sur 5 valeurs autour de $3^{\circ} 20'$, da est la position moyenne,

B = moyenne sur 5 valeurs autour de $4^{\circ} 20'$, db est la position moyenne,

C = valeur minimum lue autour de $17^{\circ} 20'$, dc est la position du minimum

J'ai fait calculer au programme la valeur de la dérivée au point zéro qui est approchée par la pente de la courbe entre les valeurs A et B, et passant par la valeur minimum entre $16,5^{\circ}$ et $17,5^{\circ} 20'$, zone où le bruit de fond stabilisé n'est pas affecté par un pic.

6) Pour ôter le bruit du verre, j'utilise comme modèle mathématique un polynôme de Newtown du second degré, construit autour de trois valeurs d'angles (D,E,F) et les trois intensités correspondantes.

$$D + (E-D) * X + (F-2 * E + D) * ((X-1) * X) / 2$$

avec D = valeur moyenne lue aux alentours de $16^{\circ} 20'$

E = valeur moyenne lue aux alentours de $26^{\circ} 20'$

F = valeur moyenne lue aux alentours de $36^{\circ} 20'$

7) et 8) La ligne de base modélisée est calculée et soustraite au spectre initial en créant un nouveau fichier "calculs" qui sera détruit automatiquement lorsqu'il n'aura plus d'utilité. Le fichier original n'est pas modifié et est conservé comme témoin.

9) L'appareillage traite les échantillons en série. La lame peut être montée sur son portoir de façon imprécise et créer une erreur angulaire. Le quartz étant dans la quasi totalité des échantillons, il est possible de recalculer à posteriori tout le fichier en fonction de la valeur théorique du pic de quartz à $24^{\circ} 28' 20''$ exactement. Avec un pas standard de mesure de $0,04^{\circ}$ et en démarrant à $3^{\circ} 20'$, nous le retrouvons à l'enregistrement n° 534. Il suffira de vérifier la position du pic du quartz de chaque échantillon et de déplacer le diagramme du même nombre de mesure que lui même est décalé, pour qu'il soit à la 534^{ème} valeur. Le calage de la courbe peut s'effectuer sur un pic quelconque à condition qu'il ait une position connue et invariable.

10) Inscription sur la feuille de résultats des paramètres déterminés à l'écran pour le développement de l'analyse.

11) L'affichage graphique à l'écran utilise le programme " Fenêtre " du logiciel V17 de Philips. Cependant, il a été nécessaire de le modifier afin qu'il affiche au-dessus des pics les distances interréticulaires correspondantes des plans qui leur ont donné naissance. La reconnaissance d'un pic s'effectue de la façon suivante : test de supériorité du point courant sur 5 mesures de part et d'autre ; il doit avoir une intensité supérieure de 50 coups/s à l'intensité des points se situant dans une zone d'un demi degré. Des tests de proximité entre pics sont effectués afin de décaler l'affichage des distances pour éviter les superpositions.

12) Le programme va ensuite évaluer les surfaces dont j'ai déterminé le calcul de la façon suivante :

ILLITE : recherche du pic maximum à $10\text{\AA}$, calcul de la demi surface, du sommet du pic sur $0,5^{\circ}$ à droite, multipliée par deux. Vérification par le pic à $5\text{\AA}$.

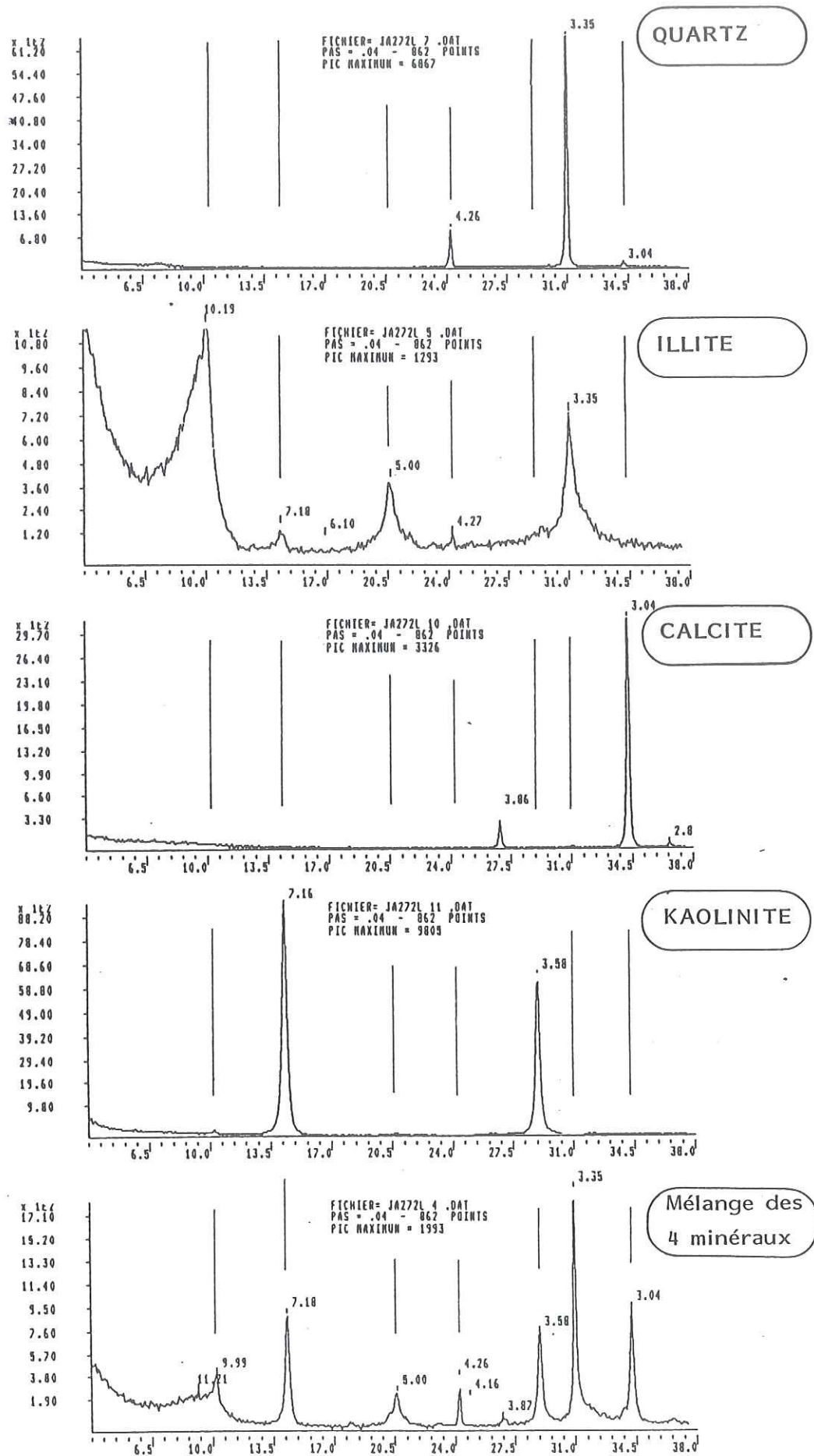


Fig. 27 Diffractogrammes des minéraux de base pour l'étalonnage.

SMECTITE : minéral gonflant. Avec le glycol le pic est déplacé à 17Å ; je calcule la surface de 5,5° 2θ au pic de chlorite à 14Å et j'ôte la demi surface de ce dernier.

MINÉRAUX GONFLANTS : Ensemble de minéraux indéterminés qui peuvent varier de position. Ces pics peuvent être en dôme, en épaulement ou en palier avec d'autres pics, notamment l'illite et la chlorite. La surface est comptabilisée du pic de chlorite à 14Å au sommet du pic de l'illite à 10Å auquel sont soustraites les deux demi-surfaces correspondantes à ces derniers minéraux. Si la chlorite à 14Å est masquée, j'utilise la surface de la chlorite à 4,7Å qui est pratiquement de la même intensité, à la condition qu'il n'y ait pas de talc.

KAOLINITE, CHLORITE : recherche des deux pics à 3,6 et 3,5Å et je retrace la ligne de base. Je calcule la surface de la kaolinite par balayage de un demi-degré à gauche et la chlorite d'un demi-degré à droite à partir de leur pic respectif. Les deux valeurs seront multipliées par deux et vérifiées d'une part, par les pics de chlorite à 4,7Å et 14Å, d'autre part, par le pic de kaolinite à 7Å auquel j'ai soustrait la chlorite.

QUARTZ : recherche du maximum du pic à 4,26Å et balayage sur un demi-degré de part et d'autre.

FELDSPATHS : les deux pics, sodique et potassique, se trouvent côte à côte sur le flanc du pic du quartz. La ligne de base est recalculée et le minimum entre les deux pics trouvé. Les surfaces sont obtenues en balayant séparément les deux zones juxtaposées.

CALCITE : recherche du maximum à 3,03Å et balayage d'un demi degré de part et d'autre. Contrôle avec le pic à 3,8Å

AUTRE PIC : sa position et sa zone de balayage sont connues, la surface est calculée.

13) L'application des coefficients est effective dans le calcul des pourcentages et des rapports. Pour les déterminer avec précision, j'ai confectionné des échantillons étalons contenant de l'illite de l'Illinois purifiée, du quartz obtenu par broyage d'un cristal, de la kaolinite de Chine et de la calcite pure. J'ai analysé chaque élément séparément pour vérifier qu'il n'y avait pas de pics parasites (fig. 27). La raie utilisée pour le Quartz est celle à 4,26Å, sa valeur doit être modifiée par un coefficient 5 car elle représente le 1/5^{ième} de la valeur de la raie principale. Avant de les mélanger à parts égales, je les ai tamisés à 5 microns sur une toile nylon. Le quartz, la kaolinite et la calcite ont donné la même surface ; un coefficient de 1,35 doit être appliqué à l'illite pour que les quatre surfaces soient égales. D'autres mélanges ont confirmé le bien fondé de ces deux coefficients. La surface des minéraux gonflants bloquée contre l'illite, est calculée mais n'entre pas dans les calculs. L'inscription sur la feuille, des résultats obtenus se fait dans un tableau comprenant :

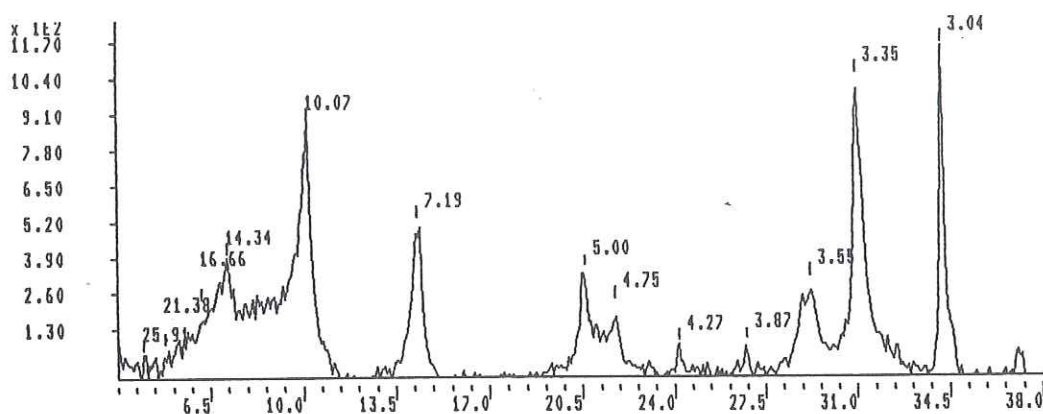
- les surfaces brutes,
- les surfaces corrigées,
- la position angulaire des pics,
- les pourcentages des minéraux étudiés entre eux, total à 100%
- les pourcentages minéraux étudiés par catégories :
 - argileux à 100%
 - détritiques (quartz, feldspaths) à 100%

ECHANTILLON : 88 RT 263

- Suppression du bruit de fond de l'appareil.
- Spectre non calé
- Pics étudiés :
 - * INTERSTRATIFIES de 7 ° à 10 °
 - * SMECTITE (coef. .5) de 4.5 ° à 7 °
 - * ILLITE (coef. 1.35)
 - * QUARTZ (coef. 5) à 24° 2 θ
 - * CHLORITE - KAOLINITE - CALCITE - FELDSPATH

FICHER= G0148G1.DAT
 ANGLE INITIAL= 3
 ANGLE FINAL = 37.9

PAS = .04
 NB DE POINTS= 874
 PIC MAX = 1300



Echantillon N° 1 du portoir : G0148G

29-May-90

Minéraux	angles	Surface brute	Surface corrigé	% des argiles	% des détrit.	% sur le total	code				
KAOLINITE	28.88	159	159	10		6	R4				
CHLORITE	29.28	168	168	11		6	R3				
SMECTITE		655	284	19		11					
ILLITE	10.2	637	859	60		38	R4				
QUARTZ	24.18	66	330		88	13	R3				
FELDSPATH 1	32.12	23	23		6						
FELDSPATH 2	32.48	26	26		6	1					
CALCITE	34.20	633	633			25	R4				
INTERSTRATIFIES		2246	Surface donnée à titre indicatif								
TOTAL ARGILE :		59	%	TOTAL DETRITIQUE :		15	%				
RAPPORTS											
Sm/I	0.331	*	I/Q	2.603	*	Ch/I	0.196	*	CA/Dé	1.670	*

Fig. 28 Présentation d'une feuille de résultats d'une étude diffractométrique.

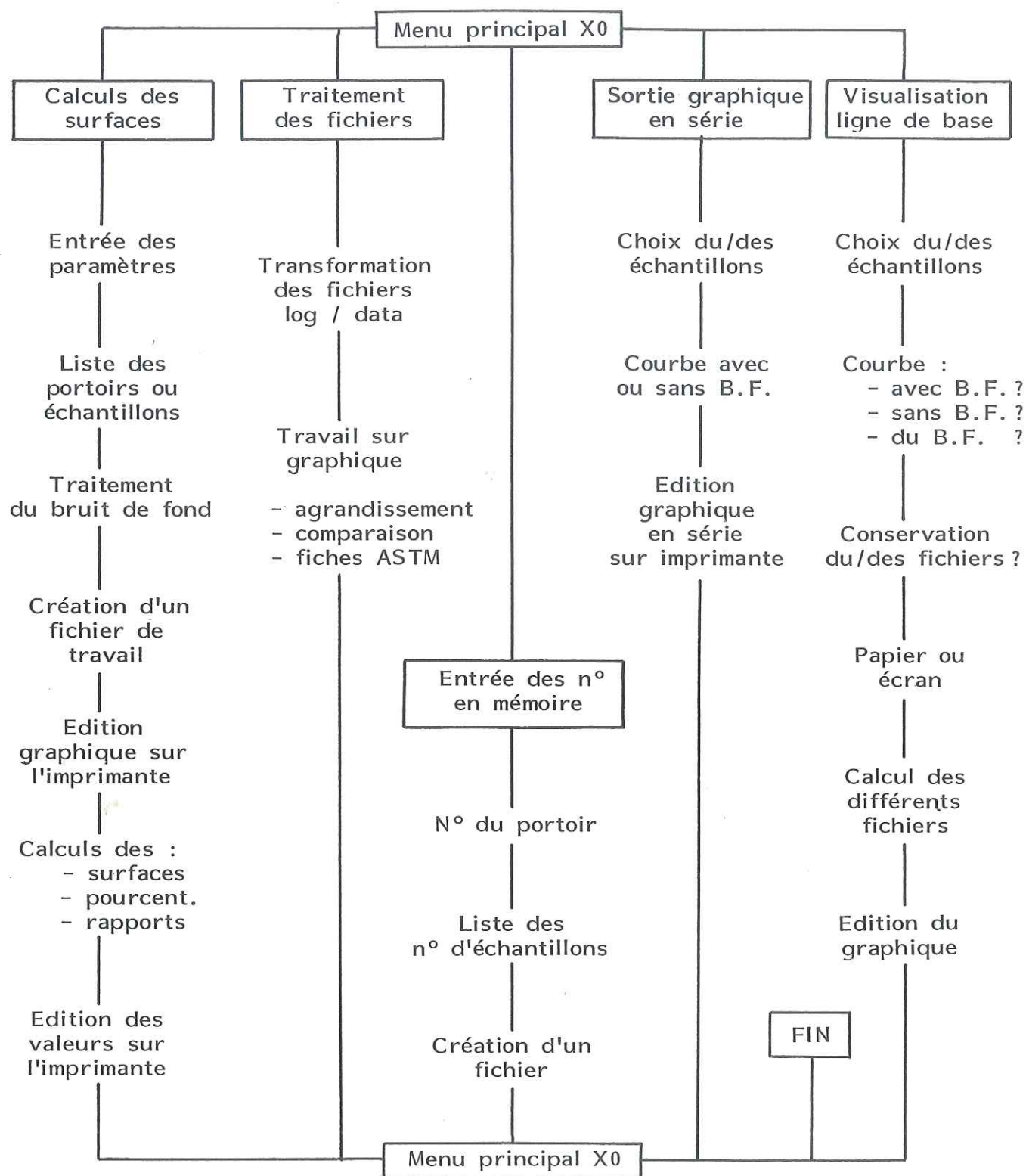


Fig. 29 Schéma de la programmation générale.

un code indiquant une incertitude : il conviendra de vérifier soi-même le bien fondé de la valeur en cause.
Sont aussi rappelés le numéro de l'échantillon et la date d'édition du tableau.

14) J'ai ensuite calculé et inscrit sur la feuille de résultats (fig.28) une liste de rapports entre les pics étudiés. Ceci permet de détecter rapidement des variations significatives ; chacun choisira dans cette série de rapports, les plus adaptés à l'interprétation de son travail, ou en ajoutera.

IV - LES PROGRAMMES ANNEXES :

Ce programme de calcul de surfaces a été complété par des programmes annexes permettant soit de vérifier certains sous-programmes tels que le calcul de la ligne base, soit de travailler directement sur les graphiques, le tout géré par le menu principal appelé X0 (fig. 29) et comprenant :

- 1) Traitement des enregistrements : transformation des fichiers log. en data ;
- 2) Travail sur les graphiques originaux : changement d'échelle, agrandissement de zones choisies, possibilité de comparer le diagramme à la fiche ASTM caractéristique d'un minéral ;
- 3) Visualisation de la ligne de base : ce qui permet de voir à l'écran la courbe originale avec la ligne calculée du bruit de fond ;
- 4) Sortie en série sur papier des graphiques seuls. Vision rapide des échantillons pour définir les paramètres servant aux calculs des surfaces ;
- 5) Entrer des noms des échantillons en mémoire pour l'inscription automatique sur la feuille de travail, lors des calculs de surfaces.

Enfin, tout programme de calcul pouvant faciliter le dépouillement des résultats ou faisant intervenir d'autres paramètres, peut être adjoint au programme de base. La modification de la présentation du texte ou du graphique est rapidement assurée. Les fichiers originaux d'enregistrement des diffractogrammes ne sont à aucune étape modifiés et sont classés dans des disquettes où, éventuellement, ils pourront être repris ultérieurement pour d'autres calculs.

BIBLIOGRAPHIE

- ALOISI J.C. (1986) Sur un modèle de sédimentation deltaïque : contribution à la connaissance des marges passives. Thèse d'état, Université de Perpignan : 162 p.
- ALOISI J.C., J.P.CAMBON, J.CARBONNE, G.CAUWET, C.MILLOT, A.MONACO, H.PAUC (1982) Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*, 5, 4, 481-491.
- BLOMQUIST S. & C. KOFOED (1981) Sediment trapping - A subaquatic *in situ* experiment. *Limnology and Oceanography*, 26, 585-590.
- BRULAND K.W., R.P.FRANKS, W.M.LANDING & A.SOUTAR (1981) Southern California inner basin sediment trap calibration. *Earth and Planetary Science Letters*, 53, 400-408.
- BUTMAN C.A. (1986) Sediment trap biases in turbulent flows : results from a laboratory flume study. *Journal of Marine Research*, 44, 645-693.
- CANALS M. and GOT H. (1986) La morphologie de la pente continentale du Golfe du Lion : Une résultante structuro-sédimentaire. *Vie et Milieu*, 36, 153-163.
- DYMOND J., K.FISCHER, M.CLAUSON, R.COBLER, W.GARDNER, M.J.RICHARDSON, W.BERGER, A.SOUTAR & R.DUNBAR (1981) A sediment trap intercomparison study in the Santa Barbara Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 53, 409-418.
- GARDNER W.D. (1980) Sediment trap dynamics and calibration : a laboratory evaluation. *Journal of Marine Research*, 38, 17-39.
- GARDNER W.D. (1980) Field assessment of sediment traps. *Journal of Marine Research*, 38, 41-52.
- GARDNER W.D. (1985) The effect of tilt on sediment trap efficiency. *Deep-Sea Research*, 32, 349-361.
- GARDNER W.D., K.R.HINGA & J.MARRA (1983) Observations on the degradation of biogenic material in the deep ocean with implications on accuracy of sediment trap fluxes. *Journal of Marine Research*, 41, 195-214.
- GARDNER W.D., J.B.SOUTHARD & C.D.HOLLISTER (1985) Sedimentation, resuspension and chemistry of particles in the Northwest Atlantic. *Marine Geology*, 65, 199-242.
- GIRARDOT J.P., LANGLOIS G., MARIETTE V. et MORIZUR P. (1985). Réalisation de lignes de mouillage au laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Bretagne Occidentale. L.O.P. Brest.
- GOT H. and STANLEY D.J. (1984) Sedimentation in two Catalanian canyons, northwestern Mediterranean. *Marine Geology*, 16, 91-100
- HESLOIN G. (1977), Réalisation d'un mouillage subsurface de longue durée. Rapport scientifique, L.O.P.- M.N.H.N. Paris

HEUSSNER S., MONACO A., FOWLER S.W., BUSCAIL R., MILLOT C. and BOJANOWSKI R. (1988) ECOMARGE : Flux of particulate matter in the northwestern Mediterranean. Océanographie pélagique méditerranéenne. Oceanologica Acta, Special Issue n° 9, 149-154.

HARBISON G.R. & R.W.GILMER (1986) Effects of animal behaviour on sediment trap collections : implications for the calculation of aragonite fluxes. Deep-Sea Research, 33, 1017-1024.

KIRCHNER W.B. (1975) An evaluation of sediment trap methodology. Limnology and Oceanography, 20, 657-660.

KNAUER G.A., J.H.MARTIN & K.W.BRULAND (1979) Fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific. Deep-Sea Research, 26, 97-108.

KNAUER G.A., D.M.KARL, J.H.MARTIN & C.N.HUNTER (1984) In situ effects of selected preservatives on total carbon, nitrogen and metals collected in sediment traps. Journal of Marine Research, 42, 445-462.

LORENZEN C.J., F.R.SHUMAN & J.T.BENNETT (1981) *In situ* calibration of a sediment trap. Limnology and Oceanography, 26, 580-585.

Mc MANUS D.A., L.G.HANSON & J.V.BAKER (1966) A sample splitter for moist, saturated, or suspended sediment. Journal of Sedimentology and Petrology, 36, 632-635.

MERAT P. (1980), Etude et développement d'un programme de calcul ordinateur de profils de mouillages complexes. Rapport de D.E.A., L.O.P. - U.B.O. Brest

MILLOT C. (1982) La dynamique marine du plateau continental du Golfe du Lion en été. Thèse d'Etat Paris VI, 52 p

MILLOT C. and MONACO A. (1984) Deep strong current and sediment transport in the Northwestern Mediterranean sea. Marine Geology, 4, 13-17.

MONACO A., HEUSSNER S., COURP T., BUSCAIL R., FOWLER S.W., MILLOT C. and NEFFELER (1987) Particles supply by nepheloid layers on the northwestern Mediterranean Margin. In : Particle flux in the ocean, E.T.DEGENS, editor. Mitt. Geol. Palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband, 62, 109-125.

NEFFELER F. and GODET C.H. (1986) The structural parameters of the benthic nepheloid layer in the northeast Atlantic. Deep-Sea Research, 33, 195-207.

Rapport du Colloque international d'océanologie de Perpignan sur l'ECOsystèmes de MARGEs continentales (1987)
C.I.E.S.M. (ed.) V. spécial, 96 p.

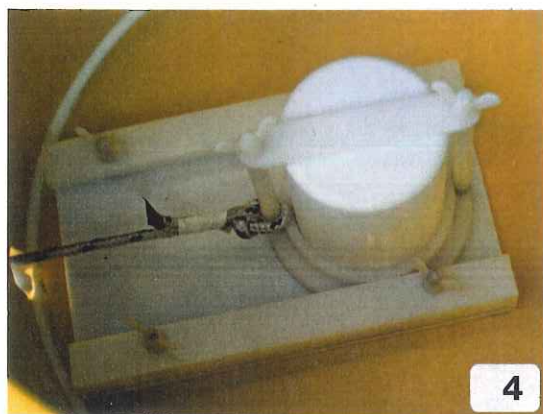
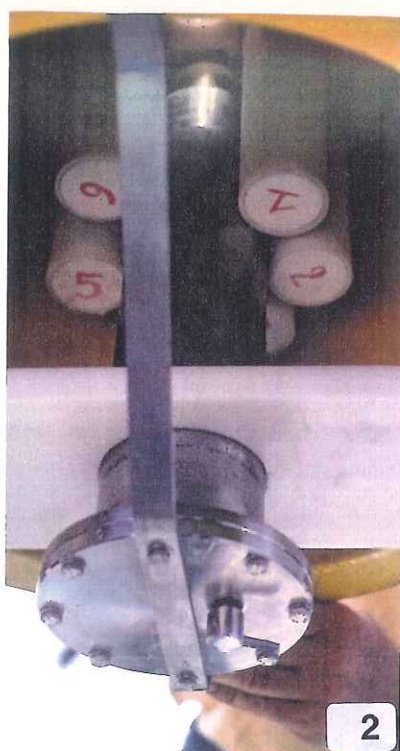
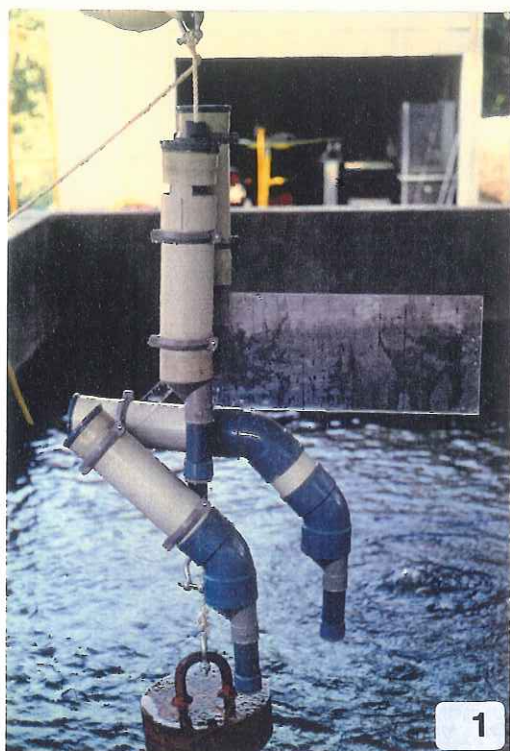
ANNEXES

- A : planches photographiques**
- B : listing du programme " flotabilité"**
- C : logiciel de traitement des diffractogrammes**

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

- Ph. 1 Montage avec dérive des différentes formes de petits pièges à particules (PPP).
- Ph. 2 Godets et moteur central du prototype PPS2.
- Ph. 3 Rosette de bouteilles Niskin 12 litres montées avec la CTD et le néphélomètre.
- Ph. 4 Godet manuel du PP1, se fermant avec un cordage.
- Ph. 5 Mise à l'eau du PPS2 avec sa grille à l'ouverture.
- Ph. 6 Tête de mouillage formée d'un flotteur SNPE, surmontée d'une balise Argos, d'un flash et d'une balise radio.
- Ph. 7 Le PPS3 : sa forme facilite sa pénétration aux courants et limite la traction.
- Ph. 8 Ensemble transmissomètre - courantomètre Aanderaa (six paramètres sont enregistrés) et les flotteurs Hyper6 montés par quatre sur croisillons.
- Ph. 9 Mise à l'eau d'une ligne de mouillage à bord du navire océanographique "Le Noroit". Les pièges "Lamont" sont déposés à la main, les PPS3 sont descendus par la grue.
- Ph.10 Grille équipant les PPS5 à l'ouverture du piège.
- Ph.11 Lest d'une ligne de mouillage après utilisation (photographie prise par le submersible "Cyana" à -1000 m de profondeur. Les morceaux de chaîne formés de 5 maillons donnent une idée de l'enfoncement après six mois passés sur un fond légèrement sableux.
- Ph.12 Grille équipant les pièges "Lamont".

- Ph.13 Navire océanographique "Georges Petit" du C.N.R.S. travaillant sur la façade méditerranéenne.
- Ph.14 Navire océanographique "Côte d'Aquitaine" du C.N.R.S. travaillant sur la façade atlantique.
- Ph.15 Navire océanographique "Le suroît" de l'IFREMER. "Le Noroit", qui a pratiquement la même taille, est son frère jumeau.
- Ph.16 Navire océanographique "AEGAIO" du Centre National des Recherches Marines d'Athènes (Grèce).
- Ph.17 Le PPS5 ; de forme conique, il a une surface de collecte de un m².
- Ph.18 Détail du PPS5 : embase du cône aboutissant sur le plateau porte-bouteilles et son bloc moteur.
- Ph.19 Le piège américain "Lamont" de petite section gréé sur son câble Nilspin.
- Ph.20 Le diffractomètre "Philips" avec de gauche à droite : le générateur surmonté du goniomètre, l'imprimante, le clavier et son écran avec au-dessus l'unité de stockage des données, l'automate PW1710 avec l'imprimante intégrée.
- Ph.21 Le système de quartage comprenant la pompe péristaltique et l'agitateur orbital.





13



14



15



16



17



18



19



20



21

ANNEXE B : Listing du programme de calcul de la flottabilité.

```

SET NO DOUBLE
10 PROGRAM MOUILLAGE
15 REM ----- Menu -----
18 ON ERROR GOTO 5000
20 DIM #1,E(50,7)\ DIM #3,P(10000,2)
50 PRINT "Nom du mouillage ..... : "; \ INPUT NOM$
60 L=2\ PRINT \ PRINT
62 PRINT "La longueur de l'élément est toujours de ";L;" m ( 0 / N ) ";
64 CALL INKEY (X$)\ IF LEN(X$)=0 THEN 64
66 PRINT X$\ IF X$<>"N" THEN 120
80 PRINT \ PRINT
82 PRINT "Nouvelle valeur de l'élément ..... : "; \ INPUT L
120 PRINT \ PRINT
121 PRINT "parametres, Calculs, Graphique, autre Mouillage, Vérification, Fin"
122 PRINT " ( P / C / G / M / V / F ) ..... : ";
125 CALL INKEY (X$)\ IF LEN(X$)=0 THEN 125
128 PRINT X$\ PRINT \ PRINT
130 IF X$="P" THEN 3000
132 IF X$="C" THEN 300
140 IF X$="G" THEN 2300
145 IF X$="M" THEN 50
148 IF X$="V" THEN GOSUB 4400
149 IF X$="F" THEN 5900
150 GOTO 120
200 REM ----- Calculs -----
300 OPEN NOM$ FOR INPUT AS FILE #1, VIRTUAL \R=E(0,1)
320 PRINT "Profondeur max : ";E(0,0);" Nombre d'élément : ";E(0,1)
325 PRINT \ PRINT
330 PRINT "Prof.Théor.- Poids - Section - ";
331 PRINT "Coef.Tr. - V.courant - élément"
340 FOR I=1 TO R
345 PRINT E(I,1),E(I,2),E(I,3),E(I,4),E(I,5),E(I,7)\ NEXT I
347 PRINT \ FOR I=1 TO 79\ PRINT "-"; \ NEXT I
348 PRINT \ PRINT
350 PRINT " ATTENTE ..... calculs ..... ."
410 PRINT \ PRINT
500 OPEN "PT"+NOM$ FOR OUTPUT AS FILE #3, VIRTUAL
1000 F=.5*1029*E(1,4)*E(1,3)*E(1,5)^2
1005 T=E(1,2)
1010 A=ATN(F/T)\T=T/COS(A)
1030 P(1,1)=0\P(1,2)=0\P(1,0)=E(1,7)\B=2\E(1,6)=A
2000 FOR I=2 TO 10000
2010 C=.35\N=-.006\S=.022\U=E(B-1,5)
2020 IF E(B,1)>(I*L)+E(1,1) THEN 2050
2030 M=E(B,2)\S=E(B,3)\C=E(B,4)\U=E(B,5)
2040 B=B+1
2050 F=.5*1029*C*U^2*COS(A)^2*S
2100 X=F*COS(A)
2110 Y=-(F*SIN(A))
2120 P(I,1)=P(I-1,1)-(L*SIN(A))
2130 P(I,2)=P(I-1,2)-(L*COS(A))
2135 P(I,0)=E(B-1,7)
2140 IF E(B-1,2)<-300 THEN 2262
2145 TN=(T*COS(A))+Y+M
2150 A=ATN(((T*SIN(A))+X)/TN)
2152 T=T/COS(A)
2155 IF E(B-1,1)=(I*L)+E(1,1) THEN E(B-1,6)=A\E(B-1,0)=P(I,2)
2160 NEXT I
2262 D=-E(0,0)-P(I,2)\P(0,0)=D\P(0,1)=E(1,1)\P(0,2)=E(0,0)\E(0,2)=D
2263 OPEN "LP:" FOR INPUT AS FILE #2
2264 PRINT \ PRINT
2265 PRINT "Sortie des valeurs sur papier ..... ( 0 / N ) ..... : ";
2266 CALL INKEY (X$)\ IF LEN(X$)=0 THEN 2266
2268 PRINT X$\ IF X$<>"Q" THEN 2280
2270 PRINT #2,"Mouillage ";NOM$\ PRINT #2\ PRINT #2
2271 PRINT #2,"Profondeur max : ";E(0,0);" Nombre d'élément : ";E(0,1)
2272 PRINT #2\ PRINT #2
2274 PRINT #2,"Prof.théor. Prof.réelle Angle(radian) Section ";
2275 PRINT #2,"Poids V.courant"
2276 FOR I=1 TO R
2278 PRINT #2,E(I,1),E(I,0)+D,E(I,6),E(I,3),E(I,2),E(I,5)\ NEXT I
2280 CLOSE \ GOTO 120
2290 REM ----- Graphique -----
2300 CLEAR \NC=0
2302 OPEN "PT"+NOM$ FOR INPUT AS FILE #3, VIRTUAL
2310 SET VIEWPORT .375,1,0,.625
2315 H=INT(N/100)+1\F=H*100\FB=0\FA=-F\FC=-F
2320 SET WINDOW FC,0,FA,FB
2330 PLOT (FC,FB),(0,FB),(0,FA)
2335 CT=0\ FOR I=FB TO FA STEP -100
2338 X=10\ IF CT=5 THEN X=20\CT=0
2340 PLOT (-X,I),(0,I)\CT=CT+1
2350 NEXT I\CT=0
2351 FOR I=0 TO FC STEP -100
2355 X=10\ IF CT=5 THEN X=20\CT=0
2359 PLOT (I,FB),(I,FB-X)\CT=CT+1
2360 NEXT I

```

```

2361 PRINT "      de 0 à ";-FC;" m ----->"
2372 IF NC<>1 THEN NB=(N-P(0,1))/L\NA=1\N=P(0,0)
2374 PRINT "^^\ PRINT "!\ PRINT "!\ PRINT "!"
2378 PRINT \ PRINT "de ";FB;" à ";FA;" m"
2380 PRINT \ PRINT
2381 PRINT "      unité = 100 m"
2383 PRINT \ PRINT \ PRINT " Tête à ";FIX(P(0,0));" m"
2384 FOR I=NA TO NB-1
2385 C=INT(P(I,0))\ IF C<1 OR C>7 THEN C=7
2388 SET COLOR C
2389 X1=P(I,1)\Y1=P(I,2)+D\X2=P(I+1,1)\Y2=P(I+1,2)+D
2390 PLOT (X1,Y1),(X2,Y2)
2400 NEXT I
2410 ASK POSITION (X,Y)\ PLOT (X-50,Y),(X+50,Y)\ PLOT (X,Y),(X,Y-10)
2460 PRINT \ PRINT \ PRINT " ZOOM (0/N) ";
2461 CALL INKEY (X$)\ IF LEN(X$)=0 THEN 2461
2465 PRINT X$\ IF X$<>"0" THEN 2485
2468 PRINT \ PRINT
2470 PRINT "Prof. Haute :";\ INPUT FB
2471 NA=(FB-P(0,1))/L\FB=-FB\ IF NA<1 THEN NA=1
2472 PRINT \ PRINT "Prof. Basse :";\ INPUT FA\NB=(FA-P(0,1))/L\FA=-FA
2473 PRINT \ PRINT "Echelle des X ... :";
2474 PRINT "( Return = idem )";\ INPUT X$
2475 IF X$<>" " THEN FC=VAL(X$)\FC=-FC
2478 NC=1\ CLEAR
2480 SET COLOR 7\ GOTO 2320
2485 CLOSE \NC=0\ SET COLOR 7\ GOTO 120
2990 REM ----- Parametres -----
3000 PRINT \ PRINT
3002 PRINT "Fichier Existant ou Nouveau ( E / N ) ..... : ";
3004 CALL INKEY (X$)\ IF LEN(X$)=0 THEN 3004
3006 PRINT X$
3010 IF X$="N" THEN OPEN NOM$ FOR OUTPUT AS FILE #1, VIRTUAL \ GOTO 3014
3012 OPEN NOM$ FOR INPUT AS FILE #1, VIRTUAL
3014 GOSUB 4000
3016 FOR I=1 TO 50
3018 PRINT "Elément n° ";I;" ( STOP = S FIN = F )"
3020 PRINT "Profondeur ( m ) ..... : ";E(I,1);TAB(55%);
3025 INPUT X$\ IF X$="F" THEN 3150
3028 IF X$="S" THEN 3160
3030 IF X$<>" " THEN E(I,1)=VAL(X$)
3040 PRINT "Poids ( +/- en kg ) ..... : ";E(I,2);TAB(55%);
3050 INPUT X$\ IF X$<>" " THEN E(I,2)=VAL(X$)
3060 PRINT "Section ( m2 ) ..... : ";E(I,3);TAB(55%);
3070 INPUT X$\ IF X$<>" " THEN E(I,3)=VAL(X$)
3080 PRINT "Coef. de traînée ..... : ";E(I,4);TAB(55%);
3090 INPUT X$\ IF X$<>" " THEN E(I,4)=VAL(X$)
3100 PRINT "Vitesse du courant (m/s)..... : ";E(I,5);TAB(55%);
3110 INPUT X$\ IF X$<>" " THEN E(I,5)=VAL(X$)
3120 PRINT "Elément du bloc ..... : ";E(I,7);TAB(55%);
3130 INPUT X$\ IF X$<>" " THEN E(I,7)=VAL(X$)
3135 PRINT \ PRINT \E(I,0)=0\E(I,6)=0
3138 IF E(I,1)<>0 THEN Z1=E(I,1)\Z2=I
3140 NEXT I
3150 FOR J=1 TO 50\ FOR K=0 TO 7\E(J,K)=0\ NEXT K\ NEXT J
3155 FOR J=2 TO 7\E(0,J)=0\ NEXT J
3158 E(0,0)=Z1\E(0,1)=Z2
3160 PRINT \ PRINT
3165 N=E(0,0)\R=E(0,1)
3170 PRINT "Voulez-vous faire des corrections ? ( 0 / N ) ";
3175 CALL INKEY (X$)\ IF LEN(X$)=0 THEN 3175
3180 PRINT X$\ IF X$="0" THEN 3014
3185 CLOSE #1
3190 GOTO 120
4000 PRINT \ PRINT
4010 PRINT "      A T T E N T I O N !!!!!"
4020 PRINT \ PRINT "      == le F efface la suite =="
4030 PRINT \ PRINT \ RETURN
4390 REM ----- Sortie papier -----
4400 OPEN "LP:" FOR INPUT AS FILE #2
4406 PRINT #2,"MOUILLAGE ";NOM$\ PRINT #2\ PRINT #2
4408 OPEN NOM$ FOR INPUT AS FILE #1, VIRTUAL \R=E(0,1)
4410 FOR I=0 TO R
4415 PRINT #2,E(I,0),E(I,1),E(I,2);"-";E(I,3);"-";E(I,4);"-";E(I,5),E(I,6),
4420 PRINT #2,E(I,7)\ NEXT I\ CLOSE #1\ PRINT #2\ PRINT #2
4430 OPEN "PT"+NOM$ FOR INPUT AS FILE #3, VIRTUAL
4435 X=(P(1,1)-P(0,1))/L
4439 FOR I=0 TO X\ PRINT #2,P(I,0),P(I,1),P(I,2)\ NEXT I
4450 CLOSE #3
4700 FOR I=1 TO 70\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ RETURN
5000 REM ----- Traitement des erreurs -----
5010 IF (ERL=3030) AND (ERR=52) THEN PRINT ERT$(52)\ RESUME 3020
5020 IF (ERL=3050) AND (ERR=52) THEN PRINT ERT$(52)\ RESUME 3040
5030 IF (ERL=3070) AND (ERR=52) THEN PRINT ERT$(52)\ RESUME 3060
5040 IF (ERL=3090) AND (ERR=52) THEN PRINT ERT$(52)\ RESUME 3080
5050 IF (ERL=3110) AND (ERR=52) THEN PRINT ERT$(52)\ RESUME 3100
5060 IF (ERL=3130) AND (ERR=52) THEN PRINT ERT$(52)\ RESUME 3120
5070 REM IF (ERL=2470) AND (ERR= ) THEN PRINT ERT$( )\RESUME 2470
5080 REM IF (ERL=2472) AND (ERR= ) THEN PRINT ERT$( )\ RESUME 2472
5100 IF (ERR=5) THEN PRINT ERT$(5)\ RESUME 120
5900 END

```

ANNEXE C : Logiciel de traitement des diffractogrammes sur digital.

- CDSECRAN : entrée des paramètres
- CDSLIGNE : calcul de la ligne de base
- CDSURFACE : calcul des différentes surfaces
- SURFGRAF : édition du graphique

a) CDSECRAN : entrée des paramètres

```

SET NO DOUBLE
10 PROGRAM CDSECRAN(A$,CH$( ),XZ( ))
20 ON ERROR GOTO 680
25 TR$="Transfert de programme en cours....."
30 CLEAR \ PRINT "----- CALCUL DE SURFACE",A$ \ PRINT
40 PRINT " * SMECTITE,ILLITE .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(0);
50 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(0)=X$
60 IF CH$(0)<>"0" THEN CH$(0)="N" \ GOTO 140
70 PRINT "          BORNE GAUCHE : ";TAB(45%);XZ(5);"°";
80 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(5)=X
90 PRINT "          BORNE DROITE : ";TAB(45%);XZ(6);"°";
100 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(6)=X
110 PRINT "          coefficient smectite ..... = ";TAB(45%);XZ(0);
120 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(0)=X
130 IF CH$(0)="0" THEN CH$(9)="N" \ GOTO 180
140 PRINT " * ILLITE .....(O/N): ";
150 PRINT TAB(45%);CH$(9);TAB(60%);\ INPUT X$
160 IF X$<>" " THEN CH$(9)=X$
170 IF CH$(9)<>"0" THEN CH$(9)="N" \ GOTO 200
180 PRINT "          coefficient illite ..... = ";TAB(45%);XZ(1);TAB(60%);
190 INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(1)=X
200 PRINT " * QUARTZ .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(1);
210 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(1)=X$
220 IF CH$(1)<>"0" THEN CH$(1)="N" \ GOTO 250
230 PRINT "          coefficient ..... = ";TAB(45%);XZ(2);TAB(60%);
240 INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(2)=X
250 PRINT " * KAOLINITE,CHLORITE .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(2);
260 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(2)=X$
265 IF X$<>"0" AND CH$(2)<>"0" THEN CH$(2)="N"
270 PRINT " * FELDSPATH .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(4);
280 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(4)=X$
285 IF X$<>"0" AND CH$(4)<>"0" THEN CH$(4)="N"
290 PRINT " * CALCITE .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(5);
300 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(5)=X$
305 IF X$<>"0" AND CH$(5)<>"0" THEN CH$(5)="N"
310 PRINT " Desirez vous un autre pic ....(O/N): ";TAB(45%);CH$(6);
320 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(6)=X$
330 IF CH$(6)<>"0" THEN CH$(6)="N" \ GOTO 490
340 PRINT "          Nom du cristal .....: ";TAB(45%);CH$(7);TAB(60%);
350 INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(7)=X$
360 XZ(7)=LEN(CH$(7))
370 PRINT "          Position du pic en 2*° .....: ";TAB(45%);XZ(4);
380 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(4)=X
390 PRINT "          Exploration angulaire gauche : ";TAB(45%);XZ(9);
400 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(9)=X
410 PRINT "          Exploration angulaire droite : ";TAB(45%);XZ(10);
420 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(10)=X
430 PRINT "          coefficient ..... = ";TAB(45%);XZ(3);TAB(60%);
440 INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(3)=X
450 PRINT "          Detritique Argile X autre : ";TAB(45%);CH$(12);
460 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$
470 IF CH$(12)<>" " AND X$=" " THEN GOTO 490
480 IF X$="D" OR X$="A" OR X$="X" THEN CH$(12)=X$ ELSE GOTO 450
490 PRINT "          Calage sur le QUARTZ .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(13);
500 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$
505 IF CH$(13)="0" THEN GOTO 590
510 IF X$="0" THEN CH$(13),CH$(14)=X$ \ CH$(3)="QUARTZ" \ XZ(8)=1 \ GOTO 590
520 PRINT "          Calage sur un autre pic .....(O/N): ";TAB(45%);CH$(14);
530 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(14)=X$
540 IF CH$(14)<>"0" THEN CH$(14)="N" \ GOTO 590
550 PRINT "          Nom du pic .....: ";TAB(45%);CH$(3);
560 PRINT TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(3)=X$
570 PRINT "          Position exacte du pic en 2*° : ";TAB(45%);XZ(8);
580 PRINT TAB(60%);\ INPUT X \ IF X<>0 THEN XZ(8)=X
590 PRINT "          Entrer des noms des échantillons ? "
600 PRINT "          O : oui E : existe N : non";
610 PRINT TAB(45%);CH$(11);TAB(60%);\ INPUT X$ \ IF X$<>" " THEN CH$(11)=X$
620 PRINT " ***** VALIDER .....( V / N )..... :";

```

```

630 PRINT TAB(60%);\ INPUT CH$(10)
640 IF CH$(10)<>"V" THEN 30
650 CH$(15)="NON"
660 IF CH$(11)="O" THEN GOSUB 690\CH$(11)="FILE"
670 PRINT TR$\ CHAIN "CDSLIGNE.BAS" WITH A$,CH$(),XZ() LINE 170
680 CLOSE #4\ REM PRINT TR$\ CHAIN "X001.BAS" LINE 30
685 END
690 NOEC$=A$+"000.DAT"\ DIM #4,ECH$(35)
700 OPEN NOEC$ FOR OUTPUT AS FILE #4, VIRTUAL
710 PRINT "NUMERO DES ECHANTILLONS : ( Stop = / )"
720 PRINT
730 FOR I=1 TO 35\ PRINT TAB(10%);"N° ";I;" : ";
740 INPUT ECH$(I)
750 IF ECH$(I)="" THEN 770
760 NEXT I
770 FOR X=I TO 35\X$=NUM$(X)\ECH$(X)="N° "+X$\ NEXT X
780 PRINT \ PRINT \ PRINT " Voulez-vous corriger (C) ou le menu (M) : ";
790 INPUT X$\ IF X$="M" THEN CLEAR \ CLOSE #4\ RETURN
800 PRINT " / = suite de la liste vide"
810 PRINT "Echantillons -----"
820 FOR I=1 TO 35
830 PRINT " N° ";I;TAB(15%);": ";ECH$(I);TAB(40%);\ INPUT X$
840 IF X$<>" " OR X$<>"/" THEN ECH$(I)=X$
850 IF X$="/" THEN 870
860 NEXT I
870 FOR X=I TO 35\X$=NUM$(X)\ECH$(X)="N° "+X$\ NEXT X\ GOTO 780

```

b) CDSLIGNE : calcul de la ligne de base

```

SET NO DOUBLE
10 PROGRAM CDSLIGNE(CH$(),XZ())
20 CH$(15)="OUI"\CH$(6)="O"\CH$(7)="INTERSTRATIFIE"\XZ(11)=7\XZ(12)=10
30 CLEAR \ IF CH$(8)="P" THEN Y$=" du fichier" ELSE Y$=" de l'échantillon"
40 A=XZ(13)\ FOR I=1 TO 5
50 PRINT " Nom ";Y$;" n° ";I;" : "; \ INPUT X$
60 Y=LEN(X$)\ IF Y=0 AND I>1 THEN 160
70 IF CH$(8)="P" AND Y=6 THEN 110
80 IF CH$(8)="E" AND Y=7 OR Y=8 THEN 110
90 PRINT \ PRINT "A T T E N T I O N "\ PRINT
100 GOTO 50
110 CH$(A)=X$\A=A+1\ NEXT I
130 GOTO 160
140 PROGRAM CDSLIGNE(N,A$,J,J$,CH$(),XZ(),S)
160 A$=CH$(XZ(13))\ GOTO 180
170 PROGRAM CDSLIGNE(A$,CH$(),XZ())
180 J=1\ CLEAR \J$=NUM$(J)\ IF CH$(8)="E" THEN J$=""
190 GOTO 200
195 PROGRAM CDSLIGNE(N,A$,J,J$,CH$(),XZ(),S)
200 FLOG$=A$+J$+".DAT"\ DIM #4,ECH$(35)\ DIM #5,W(1,2)
205 ON ERROR GOTO 1000
210 OPEN FLOG$ FOR INPUT AS FILE #5, VIRTUAL
220 N=W(1,2)\ CLOSE
230 CH$(7)=MID$(CH$(7),1%,XZ(7))
240 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #2
250 PRINT #2," LABORATOIRE de SEDIMENTOLOGIE et GEOCHIMIE MARINE - ";
260 PRINT #2,"UNIVERSITE DE PERPIGNAN"
270 PRINT #2," Diffractomètre Philips PW 1710"
280 PRINT #2," Anticathode Co - 30 mA et 40 Kv - Comptage 1 s - ";
290 PRINT #2,"pas 0.02° "
300 FOR I=1 TO 80\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ PRINT #2
310 IF CH$(11)="E" THEN CH$(11)="FILE"
320 IF CH$(8)="E" THEN CH$(11)="N"
330 IF CH$(11)<>"FILE" THEN FOR I=1 TO 4\ PRINT #2\ NEXT I\ CLOSE #2\ GOTO 380
340 PRINT #2\NOEC$=A$+"000.DAT"\ OPEN NOEC$ FOR INPUT AS FILE #4, VIRTUAL
350 X$=ECH$(J)\ PRINT #2,TAB(30%);"échantillon : ";X$
360 PRINT #2\ PRINT #2,TAB(30%);"-----";
370 FOR I=1 TO LEN(X$)\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ CLOSE
380 S=0\ PRINT FLOG$;TAB(60%);" LIGNE DE BASE"
390 FLIG$=A$+J$+"R.DAT"\FLOG$=A$+J$+".DAT"
398 DIM #1,X(N,2)
400 OPEN FLOG$ FOR INPUT AS FILE #1, VIRTUAL
410 DIM #3,Z(N,2)\ OPEN FLIG$ FOR OUTPUT AS FILE #3, VIRTUAL
420 D1=0\ FOR I=345 TO 355\D1=D1+X(I,2)\ NEXT I\D1=D1/11\A=X(350,1)-X(2,1)
425 D3=0\ FOR I=12 TO 16\D3=D3+X(I,2)\ NEXT I\D3=D3/5
430 D2=0\ FOR I=26 TO 30\D2=D2+X(I,2)\ NEXT I\D2=D2/5
435 CST=-(1/(D3-D1))*(D3-D2)/(X(28,1)-X(14,1))
445 E=(D3*EXP(CST*A)-D1)/(EXP(CST*A)-1)\F,X=0\ FOR I=2 TO 13
446 Z(I,2)=0\Z(I,1)=X(I,1)\ NEXT I
448 FOR I=14 TO N
450 IF X*CST<-5 THEN Y=0 ELSE Y=EXP(X*CST)
455 C=INT((D3-E)*Y+E)
460 Z(I,2)=INT(X(I,2))-C\Z(I,1)=X(I,1)\ IF Z(I,2)<0 THEN Z(I,2)=0
465 IF Z(I,2)>F THEN F=Z(I,2)

```

```

470 X=X+.04\ NEXT I\Z(1,2)=N\Z(1,1)=F
475 C1,C2,C3=100000\ FOR I=580 TO 590\ IF Z(1,2)<C2 THEN C2=Z(1,2)
480 NEXT I\ FOR I=820 TO 840\ IF Z(1,2)<C3 THEN C3=Z(1,2)
485 NEXT I\ FOR I=345 TO 355\ IF Z(1,2)<C1 THEN C1=Z(1,2)
490 NEXT I\ D=C2-C1\ E=C3-2*C2+C1\ I=350\ FOR X=0 TO 2 STEP .004\ F=X*(X-1)/2
495 C=INT(C1+X*D+F*E)
500 Z(1,2)=INT(Z(1,2))-C\ I=I+1
505 IF Z(1,2)<0 THEN Z(1,2)=0
510 NEXT X\ FOR I=850 TO N\Z(1,2)=Z(849,2)\ NEXT I\ CLEAR
512 GOTO 590
515 A=10000\ FOR I=135 TO 160\ IF Z(1,2)<A THEN A=Z(1,2)\ D1=I
520 NEXT I\ IF A<100 THEN 590
525 D2=(X(2,2)-X(D1,2))/(D1-1)
530 D5=D1+1\ D3=(X(D5,2)-X(235,2))/(235-D5)\ D4=X(236,2)/79
535 C=0\ FOR I=D1 TO 2 STEP -1
540 Z(1,2)=X(1,2)-X(D1,2)-(D2*C)\ IF Z(1,2)<0 THEN Z(1,2)=0
545 C=C+1\ NEXT I
550 C=0\ FOR I=236 TO D5 STEP -1
555 Z(1,2)=X(1,2)-X(236,2)-(D3*C)\ IF Z(1,2)<0 THEN Z(1,2)=0
560 C=C+1\ NEXT I
565 C=0\ FOR I=315 TO 236 STEP -1
570 Z(1,2)=X(1,2)-X(315,2)-(D4*C)\ IF Z(1,2)<0 THEN Z(1,2)=0
575 C=C+1\ NEXT I
590 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #2
600 PRINT #2," - Suppression du bruit de fond de l'appareil."
610 CLOSE #2
620 IF CH$(13)<>"0" THEN 720
630 PRINT TAB(60%); "CALAGE SUR ";CH$(3)
640 IF CH$(13)="0" THEN A=534\ GOTO 660
650 A=INT((XZ(8)-3)/.04)+2
660 B=0\ FOR I=A-5 TO A+5\ IF Z(1,2)>B THEN B=Z(1,2)\ C=I\ NEXT I
670 IF C=A THEN 720
680 IF B<100 THEN X$="NCA"\ GOTO 720
690 D=C-A\ IF D>0 THEN 700 ELSE 710
700 FOR I=2 TO (N-D)\Z(1,2)=Z(I+D,2)\ NEXT I\ GOTO 720
710 FOR I=N TO (2+D) STEP -1\Z(1,2)=Z(I+D,2)\ NEXT I
720 CLOSE
730 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #2
740 IF CH$(14)<>"0" THEN 770
750 IF X$="NCA" THEN PRINT #2," - Calage sur ";CH$(3); " impossible"\ GOTO 770
760 PRINT #2," - Spectre calé sur le pic du ";CH$(3); " -"
770 PRINT #2," - Pics étudiés :";
780 X=0\ IF CH$(0)="0" THEN GOSUB 3010\ GOSUB 3030\X=X+2
790 IF CH$(9)="0" THEN GOSUB 3030\X=X+1
800 IF CH$(1)="0" THEN GOSUB 3024\X=X+1
810 IF CH$(2)="0" THEN PRINT #2,TAB(20%); "* KAOLINITE/CHLORITE"\X=X+1
820 IF CH$(4)="0" THEN PRINT #2,TAB(20%); "* FELDSPATH 1 ET 2"\X=X+1
830 IF CH$(5)="0" THEN PRINT #2,TAB(20%); "* CALCITE"\X=X+1
840 GOSUB 3040\X=X+1
850 FOR I=1 TO (8-X)\ PRINT #2\ NEXT I
855 IF CH$(14)<>"0" THEN PRINT #2
858 CLOSE
860 CHAIN "SURFGRAB.BAS" WITH N,A$,J,J$,CH$(),XZ(),S
1000 IF (ERR=5) AND (ERL=210) THEN GOTO 1100
1010 IF (ERR=12) AND (ERL=260) THEN 1200
1015 IF (ERR=49) AND (ERL=450) THEN 3100
1020 GOTO 1500
1100 IF XZ(13)>20 THEN RESUME 1500
1110 IF CH$(8)="E" THEN RESUME 1500
1120 IF CH$(15)<>"OUI" THEN RESUME 1500
1130 XZ(13)=XZ(13)+1\ RESUME 160
1200 PRINT "L' I M P R I M A N T E n'est pas en fonction !!!!!"
1210 PRINT \ PRINT "Pour continuer : RETURN ";\ INPUT X$\ RESUME 250
1500 PRINT "FIN DU PROGRAMME SURFACE....."\ CHAIN "X001.BAS"
3010 PRINT #2,TAB(20%); "* SMECTITE (coef.";XZ(0);") de ";XZ(5);"° à ";
3020 PRINT #2,XZ(6);"°"\ RETURN
3024 PRINT #2,TAB(20%); "* QUARTZ (coef.";XZ(2);") à 24° 2T"\ RETURN
3030 PRINT #2,TAB(20%); "* ILLITE (coef.";XZ(1);")"\ RETURN
3040 PRINT #2,TAB(20%); "* "; "INTERSTRATIFIE";" (coef.1) de ";
3060 PRINT #2,"7° à 10°"\ RETURN
3100 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #2
3110 FOR I=1 TO 15\ PRINT #2\ NEXT I
3120 PRINT #2," I M P O S S I B L E D E C A L C U L E R "
3125 PRINT #2\ PRINT #2\ PRINT #2
3130 PRINT #2," L A L I G N E D E B A S E "
3140 FOR I=1 TO 45\ PRINT #2\ NEXT I\ CLOSE #2
3150 KILL FLIG$
3160 IF CH$(8)="E" THEN XZ(13)=XZ(13)+1\ RESUME 160
3170 J=J+1\J$=NUM$(J)\ RESUME 200

```

c) CDSURFACE : calcul des différentes surfaces

```

SET NO DOUBLE
870 PROGRAM CDSURFACE(A$,J,J$,CH$( ),XZ( ),N,S)
875 ON ERROR GOTO 2880
880 CLEAR \ PRINT A$+J$;TAB(60%);"CALCULS EN COURS"
885 DIM #1,X(N,2)
890 A,B,C,D=0\FLOG$=A$+J$+"R.DAT"
900 OPEN FLOG$ FOR INPUT AS FILE #1, VIRTUAL
910 IF CH$(0)<>"0" AND CH$(9)<>"0" THEN SS,SI=0\ GOTO 1110
920 FOR I=171 TO 188\ IF X(I,2)>A THEN A=X(I,2)\PL=I
930 NEXT I\ IF PL=171 OR PL=172 OR PL=173 THEN PL=183\S=4
950 E=PL\F=PL+12\ GOSUB 2950
960 SI,SS,SZ=0\ FOR I=E TO F\SI=(X(I,2)/100)+SI\ NEXT I
970 SI=(SI*2)-(X(E,2)/100)\ IF SI<0 THEN SI=0
980 IF CH$(9)="0" THEN SS=0\ GOTO 1100
985 B=INT((XZ(5)-3)/.04)+2\D=INT((XZ(6)-3)/.04)+2
990 IF XZ(6)=10 THEN D=PL\ GOTO 1000
991 X=100000\ FOR I=110 TO 170\ IF X(I,2)<X THEN X=X(I,2)\F=I
992 NEXT I\E=5\ GOSUB 2910
1000 C=0\ FOR I=B TO D\SS=(X(I,2)/100)+SS
1005 IF X(I,2)>C THEN C=X(I,2)
1010 NEXT I\ IF C>A THEN D=PL\ FOR I=B TO D\SS=(X(I,2)/100)+SS\ NEXT I
1020 IF XZ(6)=10 OR D=PL THEN SS=SS-(SI/2)
1030 IF D<105 THEN 1090
1040 C,B=0\ FOR I=465 TO 482\ IF X(I,2)>C THEN C=X(I,2)\B=I
1050 NEXT I\ IF B=465 OR B=466 THEN B=474
1060 FOR I=B TO B+12\SZ=(X(I,2)/100)+SZ\ NEXT I
1070 SZ=SZ*2\ IF SZ<0 THEN SZ=0
1080 SS=SS-SZ
1090 IF SS<0 THEN SS=0
1100 IF SI=0 THEN PL=0 ELSE PL=X(PL,1)
1105 IF S=4 THEN PL=0
1110 IF CH$(1)<>"0" THEN SQ=0\ GOTO 1180
1120 PQ,A=0\ FOR I=522 TO 542\ IF X(I,2)>A THEN A=X(I,2)\PQ=I
1130 NEXT I\B=100000\ FOR I=PQ-17 TO PQ-12\ IF X(I,2)<B THEN B=X(I,2)\E=I
1150 NEXT I\B=100000\ FOR I=PQ+12 TO PQ+17\ IF X(I,2)<B THEN B=X(I,2)\F=I
1160 NEXT I\ GOSUB 2910
1170 SQ=0\ FOR I=PQ-12 TO PQ+12\SQ=(X(I,2)/100)+SQ\ NEXT I
1175 IF SQ<0 THEN SQ=0
1180 IF SQ=0 THEN PQ=0 ELSE PQ=X(PQ,1)
1190 IF CH$(2)<>"0" THEN SCH=0\SK=0\ GOTO 1340
1200 X=100000\ FOR I=670 TO 677\ IF X(I,2)<X THEN X=X(I,2)\F=I
1210 NEXT I\X=100000\ FOR I=634 TO 640\ IF X(I,2)<X THEN X=X(I,2)\E=I
1220 NEXT I\ GOSUB 2910
1230 C,PK=0\ FOR I=E TO 655\ IF X(I,2)>C THEN C=X(I,2)\PK=I
1235 NEXT I\ IF PK>655 OR PK<E THEN SK=0\ GOTO 1280
1240 X$=""\ IF PK=654 OR PK=655 THEN X$="NON"\PK=652
1260 SK=0\ FOR I=PK-12 TO PK\SK=(X(I,2)/100)+SK\ NEXT I
1270 SK=SK*2
1280 D,PCH=0\ FOR I=656 TO F\ IF X(I,2)>D THEN D=X(I,2)\PCH=I
1290 NEXT I\Y$=""\ IF PCH=656 OR PCH=657 THEN Y$="NON"\PCH=660
1300 IF PCH<656 OR PCH>F THEN SCH=0\ GOTO 1350
1310 SCH=0\ FOR I=PCH TO PCH+12\SCH=(X(I,2)/100)+SCH\ NEXT I
1320 SCH=SCH*2\ IF SCH<0 THEN SCH=0
1330 IF SK<0 THEN SK=0
1340 IF SK=0 THEN PK=0 ELSE PK=X(PK,1)
1350 IF SCH=0 THEN PCH=0 ELSE PCH=X(PCH,1)
1360 IF X$="NON" THEN PK=0
1370 IF Y$="NON" THEN PCH=0
1380 IF CH$(4)<>"0" THEN SF1=0\SF2=0\ GOTO 1530
1390 A=100000\ FOR I=712 TO 720
1400 IF X(I,2)<A THEN A=X(I,2)\E=I
1410 NEXT I\ IF E=712 OR E=713 THEN E=720
1420 C=100000\ FOR I=748 TO 755
1430 IF X(I,2)<C THEN C=X(I,2)\F=I
1440 NEXT I\ GOSUB 2910\A=0\ FOR I=E TO 733
1450 IF X(I,2)>A THEN A=X(I,2)\PF1=I
1455 NEXT I
1460 SF1=0\ FOR I=720 TO 733\SF1=(X(I,2)/100)+SF1\ NEXT I
1480 A=0\ FOR I=734 TO F\ IF X(I,2)>A THEN A=X(I,2)\PF2=I
1485 NEXT I
1490 SF2=0\ FOR I=734 TO 747\SF2=(X(I,2)/100)+SF2\ NEXT I
1510 IF SF1<0 THEN SF1=0
1520 IF SF2<0 THEN SF2=0
1530 IF SF1=0 THEN PF1=0 ELSE PF1=X(PF1,1)
1540 IF SF2=0 THEN PF2=0 ELSE PF2=X(PF2,1)
1550 IF CH$(5)<>"0" THEN SCA=0\ GOTO 1630
1560 A=0\ FOR I=777 TO 795\ IF X(I,2)>A THEN A=X(I,2)\PCA=I
1565 NEXT I\ IF PCA>795 OR PCA<777 THEN SCA=0\ GOTO 1630
1570 B=100000\ FOR I=PCA-17 TO PCA-12\ IF X(I,2)<B THEN B=X(I,2)\E=I
1590 NEXT I\C=100000\ FOR I=PCA+12 TO PCA+17
1600 IF X(I,2)<C THEN C=X(I,2)\F=I
1610 NEXT I\ GOSUB 2910\SCA=0\ FOR I=PCA-12 TO PCA+12
1620 SCA=(X(I,2)/100)+SCA\ NEXT I\ IF SCA<0 THEN SCA=0
1630 IF SCA=0 THEN PCA=0 ELSE PCA=X(PCA,1)
1730 SX=0\ FOR I=100 TO 183\SX=(X(I,2)/100)+SX\ NEXT I
1735 PRINT SX
1740 SX=SX-(SZ/2)-(SI/2)
1750 PRINT SX,SZ,SI
1760 IF SX<0 THEN SX=0
1780 CLOSE
1790 SIC=SI*XZ(1)\SSC=SS*XZ(0)\SQC=SQ*XZ(2)\SXC=SX*XZ(3)

```

```

1810 A,B,C,D,E,F,G,H,K,L,M,N=0
1820 IF PCH=0 THEN SCH=0
1830 IF CH$(12)="D" THEN P=SXC\Q=0\R=0 GOTO 1870
1840 IF CH$(12)="A" THEN P=0\Q=SXC\R=0 GOTO 1870
1850 IF CH$(12)="X" THEN P=0\Q=0\R=SXC GOTO 1870
1860 P=0\Q=0\R=0
1870 D=SQC+SF1+SF2+P\A=SSC+SCH+SK+SIC+Q\B=D+A+SCA+R
1910 C=(D/B)*100\E=(A/B)*100\F=(SCA/B)*100
1920 IF D>0 THEN G=(SQC/D)*100\H=((SF1+SF2)/D)*100
1930 IF A>0 THEN K=(SSC/A)*100\N=(SIC/A)*100\M=(SK/A)*100
1940 IF A>0 THEN L=(SCH/A)*100
1960 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #2\ PRINT #2\ PRINT #2
1970 PRINT #2,"N° de l'échantillon sur le portoir : ";A$+J$;
1980 PRINT #2," ";DATE$(0%)
1990 FOR I=1 TO 79\ PRINT #2,"*";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2000 PRINT #2,"* valeurs sans coef. ! ANG ! SURF !";TAB(60%);
2010 PRINT #2,"! ANG ! SURF *"
2020 PRINT #2,"*";\ FOR I=1 TO 78\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2030 PRINT #2,"* SMECTITE";TAB(20%);"! ";TAB(30%);"! ";MID$(NUM$(SS),1,5);
2040 PRINT #2,TAB(40%);"! ILLITE";TAB(60%);"! ";NUM$(PL);TAB(70%);"! ";
2050 PRINT #2,MID$(NUM$(SI),1,5);TAB(79%);"*"
2060 PRINT #2,"* QUARTZ";TAB(20%);"! ";NUM$(PQ);TAB(30%);"! ";
2070 PRINT #2,MID$(NUM$(SQ),1,5);TAB(40%);"! KAOLINITE";TAB(60%);"! ";NUM$(PK);
2080 PRINT #2,TAB(70%);"! ";MID$(NUM$(SK),1,5);TAB(79%);"*"
2090 PRINT #2,"* CHLORITE";TAB(20%);"! ";NUM$(PCH);TAB(30%);"! ";
2100 PRINT #2,MID$(NUM$(SCH),1,5);TAB(40%);"! FELDSPATH 1";TAB(60%);"! ";
2110 PRINT #2,NUM$(PF1);TAB(70%);"! ";MID$(NUM$(SF1),1,5);TAB(79%);"*"
2120 PRINT #2,"* CALCITE";TAB(20%);"! ";NUM$(PCA);TAB(30%);"! ";
2130 PRINT #2,MID$(NUM$(SCA),1,5);TAB(40%);"! FELDSPATH 2";TAB(60%);"! ";
2140 PRINT #2,NUM$(PF2);TAB(70%);"! ";MID$(NUM$(SF2),1,5);TAB(79%);"*"
2160 PRINT #2,"* INTERSTRAT.";TAB(20%);"! ";XZ(4);TAB(30%);"! ";
2170 PRINT #2,MID$(NUM$(SX),1,5);TAB(40%);"! ";TAB(60%);"! ";TAB(70%);"! ";
2180 PRINT #2,TAB(79%);"*"
2190 FOR I=1 TO 79\ PRINT #2,"*";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2200 PRINT #2,"*";TAB(30%);"POURCENTAGES";TAB(79%);"*"
2210 PRINT #2,"*";\ FOR I=1 TO 78\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2220 PRINT #2,"* DETRITQUES";TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(C),1,5);TAB(79%);"*"
2230 PRINT #2,TAB(40%);"! ARGILES";TAB(60%);"! ";
2240 PRINT #2,MID$(NUM$(E),1,5);TAB(79%);"*"
2250 PRINT #2,"* CALCITES";TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(F),1,5);TAB(79%);"*"
2260 PRINT #2,TAB(40%);"! ";TAB(60%);"! ";
2280 PRINT #2,TAB(79%);"*"
2290 PRINT #2,"*";\ FOR I=1 TO 78\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2300 PRINT #2,"* QUARTZ";TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(G),1,5);TAB(79%);"*"
2310 PRINT #2,TAB(40%);"! FELDSPATH";TAB(60%);"! ";
2320 PRINT #2,MID$(NUM$(H),1,5);TAB(79%);"*"
2330 IF CH$(12)<>"D" THEN 2360 ELSE P=(P/D)*100
2340 PRINT #2,"* ";CH$(7);TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(P),1,5);TAB(79%);"*"
2350 PRINT #2,TAB(40%);"! ";TAB(60%);"! ";TAB(79%);"*"
2360 PRINT #2,"*";\ FOR I=1 TO 78\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2370 PRINT #2,"* SMECTITE";TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(K),1,5);TAB(79%);"*"
2380 PRINT #2,TAB(40%);"! CHLORITE";TAB(60%);"! ";
2390 PRINT #2,MID$(NUM$(L),1,5);TAB(79%);"*"
2400 PRINT #2,"* KAOLINITE";TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(M),1,5);TAB(79%);"*"
2410 PRINT #2,TAB(40%);"! ILLITE";TAB(60%);"! ";
2420 PRINT #2,MID$(NUM$(N),1,5);TAB(79%);"*"
2430 IF CH$(12)<>"A" THEN 2460 ELSE Q=(Q/A)*100
2440 PRINT #2,"* ";CH$(7);TAB(20%);"! ";MID$(NUM$(Q),1,5);TAB(79%);"*"
2450 PRINT #2,TAB(40%);"! ";TAB(60%);"! ";TAB(79%);"*"
2460 KI=SK/SIC\CHI=SCH/SIC\SMI=SSC/SIC\QI=SQC/SIC\CAI=SCA/SIC
2470 QCH=SQC/SCH\ICH=SIC/SCH\CACH=SCA/SCH\SMCH=SSC/SCH
2475 QSM=SQC/SSC
2480 QK=SQC/SK\SMK=SSC/SK\IK=SIC/SK\CHK=SCH/SK
2490 QCA=SQC/SCA
2500 QF=SQC/(SF1+SF2)
2520 IF SSC=0 THEN QSM=0
2530 IF SCH=0 THEN QCH=0\ICH=0\SMCH=0\CACH=0
2540 IF SK=0 THEN QK=0\IK=0\SMK=0\CHK=0
2550 IF SIC=0 THEN KI=0\CHI=0\SMI=0\CAI=0\QI=0
2560 IF SCA=0 THEN QCA=0
2570 IF (SF1+SF2)=0 THEN QF=0
2590 FOR I=1 TO 79\ PRINT #2,"*";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2600 PRINT #2,"*";TAB(30%);"RAPPORTS";TAB(79%);"*"
2610 PRINT #2,"*";\ FOR I=1 TO 78\ PRINT #2,"-";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"
2620 PRINT #2,"* K / I !";MID$(NUM$(KI),1,5);TAB(19%);"! Q / I !";
2630 PRINT #2,MID$(NUM$(QI),1,5);TAB(38%);"! Q / K !";
2640 PRINT #2,MID$(NUM$(QK),1,5);TAB(58%);
2650 PRINT #2,"! Q / F !";MID$(NUM$(QF),1,5);TAB(79%);"*"
2660 PRINT #2,"* Ch / I !";MID$(NUM$(CHI),1,5);TAB(19%);"! Q / Ch !";
2670 PRINT #2,MID$(NUM$(QCH),1,5);TAB(38%);"! I / K !";
2680 PRINT #2,MID$(NUM$(IK),1,5);TAB(58%);
2690 PRINT #2,"! I / Ch !";MID$(NUM$(ICH),1,5);TAB(79%);"*"
2700 PRINT #2,"* Sm / I !";MID$(NUM$(SMI),1,5);TAB(19%);"! Q / Sm !";
2710 PRINT #2,MID$(NUM$(QSM),1,5);TAB(38%);"! Sm / K !";
2720 PRINT #2,MID$(NUM$(SMK),1,5);TAB(58%);
2730 PRINT #2,"! Sm / Ch !";MID$(NUM$(SMCH),1,5);TAB(79%);"*"
2740 PRINT #2,"* Ca / I !";MID$(NUM$(CAI),1,5);TAB(19%);"! Q / Ca !";
2750 PRINT #2,MID$(NUM$(QCA),1,5);TAB(38%);"! Ch / K !";
2760 PRINT #2,MID$(NUM$(CHK),1,5);TAB(58%);
2770 PRINT #2,"! Ca / Ch !";MID$(NUM$(CACH),1,5);TAB(79%);"*"
2780 FOR I=1 TO 79\ PRINT #2,"*";\ NEXT I\ PRINT #2,"*"

```

```

2790 PRINT #2\ PRINT #2\ PRINT #2\ PRINT #2
2800 IF CH$(12)="D" OR CH$(12)="A" THEN 2820
2810 PRINT #2
2820 IF CH$(6)<>"0" THEN PRINT #2
2830 CLOSE #2\ KILL FLOG$
2840 IF CH$(8)="E" THEN XZ(13)=XZ(13)+1\ GOTO 4000
2850 J=J+1\J$=NUM$(J)\ GOTO 4100
2860 CLOSE \ CLEAR
2880 IF (ERR=5) AND (ERL=210) THEN RESUME 3070
2881 IF (ERR=12) AND (ERL=260) THEN 3100
2882 IF (ERR=61) AND (ERL=2460) THEN RESUME 2470
2883 IF (ERR=61) AND (ERL=2470) THEN RESUME 2475
2884 IF (ERR=61) AND (ERL=2475) THEN RESUME 2480
2885 IF (ERR=61) AND (ERL=2480) THEN RESUME 2490
2886 IF (ERR=61) AND (ERL=2490) THEN RESUME 2500
2887 IF (ERR=61) AND (ERL=2500) THEN RESUME 2520
2900 PRINT "FIN DU PROGRAMME SURFACE ....."\ CHAIN "X001" LINE 30
2910 K=X(E,2)\MOY=(X(F,2)-K)/(F-E)
2920 X=0\ FOR I=E TO F\X(I,2)=X(I,2)-K-(MOY*X)\X=X+1
2930 IF X(I,2)<0 THEN X(I,2)=0
2940 NEXT I\ RETURN
2950 K=X(F,2)\ FOR I=E TO F\X(I,2)=INT(X(I,2)-K)
2960 IF X(I,2)<0 THEN X(I,2)=0
2970 NEXT I\ RETURN
2980 K=X(E,2)\ FOR I=E TO F\X(I,2)=INT(X(I,2)-K)
2990 IF X(I,2)<0 THEN X(I,2)=0
3000 NEXT I\ RETURN
3010 PRINT #2,TAB(20%);"* SMECTITE (coef.";XZ(0);") de ";XZ(5);"° à ";
3020 PRINT #2,XZ(6);"°"\ RETURN
3024 PRINT #2,TAB(20%);"* QUARTZ (coef.";XZ(2);") à 24° 2T"\ RETURN
3030 PRINT #2,TAB(20%);"* ILLITE (coef.";XZ(1);")"\ RETURN
3040 PRINT #2,TAB(20%);"* ";CH$(7);" (coef.";XZ(3);") de ";
3050 XZ(11)=XZ(4)-XZ(9)\XZ(12)=XZ(4)+XZ(10)
3060 PRINT #2,XZ(11);"° à ";XZ(12);"°"\ RETURN
3070 IF XZ(13)>20 THEN 2900
3075 IF CH$(8)="E" THEN 2900
3080 IF CH$(15)<>"OUI" THEN 2900
3090 XZ(13)=XZ(13)+1\ RESUME 4000
3100 PRINT "L' I M P R I M A N T E n'est pas en fonction !!!!!!"
3110 PRINT \ PRINT "POUR CONTINUER : RETURN ";\ INPUT X$\ RESUME 250
4000 CHAIN "CDSLIGNE.BAS" WITH N,A$,J,J$,CH$(),XZ(),S LINE 140
4100 CHAIN "CDSLIGNE.BAS" WITH N,A$,J,J$,CH$(),XZ(),S LINE 195

```

d) SURFGRAP : édition du graphique

```

SET NO DOUBLE
10 PROGRAM SURFGRAP(N1,A$,J,J$,CH$(),XZ(),S)
20 CLEAR \S=2\FDAT$=A$+J$+"R.DAT"
30 ON ERROR GOTO 950
40 DIM #1,X(N1,2)
50 OPEN FDAT$ FOR INPUT AS FILE #1, VIRTUAL
60 U1=X(1,1)\N1=X(1,2)-1\S=2\N=N1\U=U1
70 SET VIEWPORT 0,1,0,.625\ SET COLOR 1\ PLOT (.1,1),(.1,.86),(1,.86)
80 SET WINDOW 0,1,0,1
90 SET POSITION (.11,.95)\ SET CHARACTER SIZE .01,.06
100 GRAPHIC PRINT "FICHIER=";FDAT$;
110 ST=(X(3,1)-X(2,1))
120 FANG=X(N,1)
130 IANG=X(S,1)
140 IF S>N THEN N=N1\S=2
150 SET POSITION (.11,.91)\ GRAPHIC PRINT "ANGLE INITIAL=";INT(IANG*10)/10;
160 SET POSITION (.11,.87)\ GRAPHIC PRINT "ANGLE FINAL =" ;INT(FANG*10+1)/10;
170 SET POSITION (.5,.95)\ GRAPHIC PRINT "PAS =" ;ST;
180 SET POSITION (.5,.91)\ GRAPHIC PRINT "NB DE POINTS=" ;INT(N-S);
190 SET POSITION (.5,.87)\ GRAPHIC PRINT "PIC MAX =" ;U;
220 SET COLOR 6
230 SET VIEWPORT .1,1,.06,.5
240 SET WINDOW 0,1,0,1
250 SET CHARACTER SIZE .01,.06
260 MX=INT(U/10000)\CF=4
270 IF U<100000 THEN MX=INT(U/1000)\CF=3
280 IF U<10000 THEN MX=INT(U/100)\CF=2
290 IF U<1000 THEN MX=INT(U/10)\CF=1
300 IF U<100 THEN MX=INT(U/1)\CF=0
310 PLOT (0,1),(0,0),(1,0)
320 ISCALE=INT(MX*100)/1000\ SET VIEWPORT 0,1,.06,.5
330 FOR I=1 TO 10
340 SET POSITION (.095,(I/10+.0001))
350 GRAPHIC PRINT "-";
360 SET POSITION (0,(I/10+.0001))
370 GRAPHIC PRINT USING "##.##",ISCALE*I;
380 NEXT I

```

```

390 SET POSITION (0,.95)\ GRAPHIC PRINT USING "x 1E#",CF;
400 E1=INT(FANG*10+1)/10-INT(IANG*10)/10
410 INCR=.1
420 IF INCR*10<E1 THEN INCR=INCR+.1\ GOTO 420
430 IA=INT((IANG-INT(IANG))*10)/10+INT(IANG)
440 INC=0\ SET VIEWPORT .1,1,0,.5
450 FOR I=1 TO 10
460 INC=INC+INCR
470 PLOT (I/10,.1),(I/10,.1-.03)
480 SET POSITION (I/10-.05,.03)
490 GRAPHIC PRINT USING "###.#",IA+INC;
500 NEXT I
510 FOR I=0 TO 50
520 PLOT (I/50,.1),(I/50,.1-.01)
530 NEXT I
540 SET TEXT ANGLE 0\ SET VIEWPORT .1,1,.06,.5
550 SET COLOR 1
560 SET WINDOW IA,IA+INCR*10,0,MX*10^CF
570 IF (N-S)>2400 THEN PDS=5\ GOTO 620
580 IF (N-S)>1800 THEN PDS=4\ GOTO 620
590 IF (N-S)>1200 THEN PDS=3\ GOTO 620
600 IF (N-S)>600 THEN PDS=2\ GOTO 620
610 PDS=1
620 FOR I%=S TO N-PDS STEP PDS
630 PLOT (X(I%/1),X(I%/2)),(X(I%+PDS,1),X(I%+PDS,2))
640 NEXT I%
650 SET CLIP OFF
660 EC=INT(.5/ST)
670 Q=S+EC
680 IF Q>(N-EC-7) GOTO 890
690 IF X(Q+1,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+1\ GOTO 680
700 IF X(Q+2,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+2\ GOTO 680
710 IF X(Q+3,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+3\ GOTO 680
720 IF X(Q+4,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+4\ GOTO 680
730 IF X(Q+5,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+5\ GOTO 680
740 IF X(Q+6,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+6\ GOTO 680
750 IF X(Q-2,2)>X(Q,2) OR X(Q-1,2)>X(Q,2) THEN Q=Q+6\ GOTO 680
760 IF X(Q,2)-X(Q+EC,2)<40 AND X(Q,2)-X(Q+EC+7,2)<40 THEN Q=Q+6\ GOTO 680
770 IF X(Q,2)-X(Q-EC,2)<40 OR X(Q,2)-X(Q-EC-7,2)<40 THEN Q=Q+6\ GOTO 680
780 SET COLOR 7
790 DIST=.89525/SIN((X(Q,1)/360)*3.1416)
800 IF (X(Q,1)-TETA)>((X(N,1)-X(S,1))/19) THEN AMP=X(Q,2)\ GOTO 830
810 IF ABS(AMP-X(Q,2))>(U/16) THEN AMP=X(Q,2)\ GOTO 830
820 IF (AMP-X(Q,2))>0 THEN AMP=X(Q,2)-(U/16) ELSE AMP=X(Q,2)+(U/16)
830 TETA=X(Q,1)\ SET POSITION (X(Q,1),AMP+30)
850 GRAPHIC PRINT USING "###.##",DIST
860 PLOT (X(Q,1),X(Q,2)+13),(X(Q,1),X(Q,2)+50)
870 Q=Q+6\ GOTO 680
890 SET TEXT ANGLE 0\ SET CLIP ON \ PRINTSCREEN
930 CHAIN "CDSURFACE.BAS" WITH A*,J,J*,CH*,XZ(),N,S LINE 870
950 SET VIEWPORT 0,1,0,.5\ SET WINDOW 0,1,0,1
960 SET POSITION (.1,.3)\ SET CHARACTER SIZE .01,.06\ RESUME 990
970 IF ERR=28 THEN GRAPHIC PRINT "***Sortie en cours..."\ RESUME 990
980 GRAPHIC PRINT "***Erreur fatale: ";ERT$(ERR);" !"\ RESUME 990
990 GOTO 930

```