

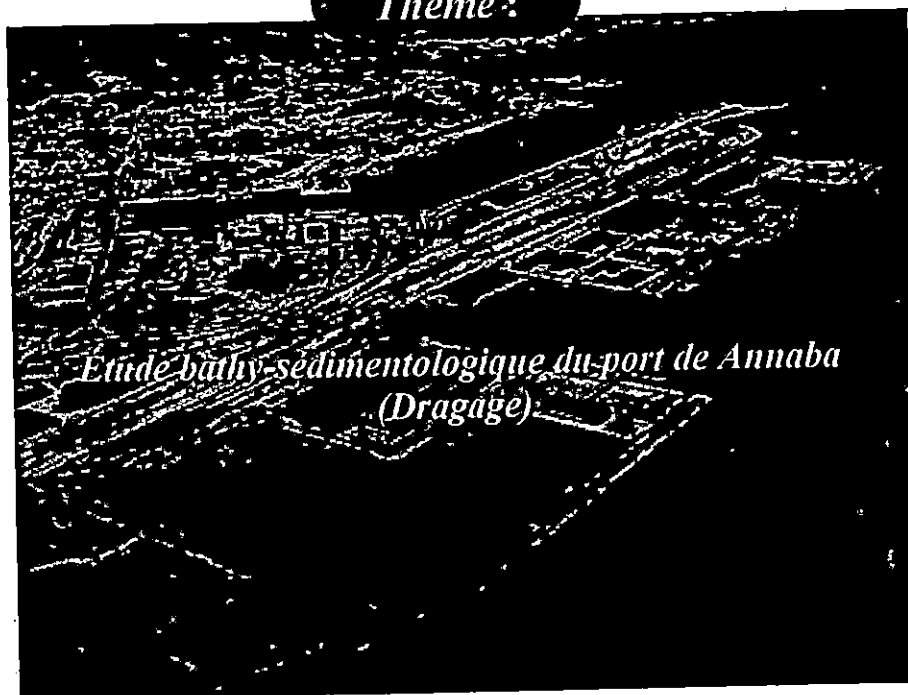
HALIM

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

MEMOIRE MEMOIRE

En vue de l'obtention d'un Diplôme d'Études Universitaires Appliquées en sciences de la mer et de l'aménagement du littoral

Thème :



Préparé et présenté par :

Abdelhalim OURAHMOUNE.
Badr Eddine KETFI.

Promoteur :

M. Rabah BELKESSA

Devant le jury composé de :

M. M.K. ZIANI : Président du jury.
M. M. ROUBAH : Examineur.
M. S. GRIMES : Examineur.
M^{lle} S. BOUMAZA : Examinatrice.

Juillet 2000
Juillet 2000

SOMMAIRE

INTRODUCTION	11
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS	
I - 1 - Présentation du port.	13
1.1 - Historique.	13
1.2 - Description.	14
2 - Étude de l'état initial du port.	19
2.1 - Aspect géologique.	19
2.2 - Aspect hydro-climatique.	19
2.2.1 - Températures et précipitations.	19
2.2.2 - Les vents.	22
2.2.3 - Les houles.	24
2.2.4 - Les courants.	24
2.3 - Réseau hydrographique.	28
2.4 - Bathymétrie.	30
2.4.1 - L'intérieur du port.	30
2.4.2 - L'extérieur du port.	30
2.4.3 - Évolution des fonds de l'extérieur.	30
2.5 - Aspect sédimentologique.	37
2.5.1 - L'intérieur du port.	37
2.5.2 - L'extérieur du port.	37
2.5.3 - Mouvements sédimentaires.	37
CHAPITRE II : MÉTHODOLOGIE.	
II - 1 - Travaux en mer.	42
1.1 - L'échantillonnage.	42
1.1.1 - Les prélèvements.	42
1.1.2 - Le positionnement.	42
1.2 - La bathymétrie.	42
2 - Travaux au laboratoire.	44
2.1 - La granulométrie.	44
2.2 - Les carbonates.	46
2.3 - La matière organique.	46

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.

I - LA SEDIMENTOLOGIE. -----	48
1 - La granulométrie. -----	48
1.1 - Les pélites. -----	48
1.2 - Étude de la fraction grossière. -----	48
1.2.1 - Les histogrammes de fréquence et courbes cumulatives. -----	48
1.2.2 - Les médianes. -----	51
1.2.3 - Les quartiles. -----	51
1.2.4 - Les déciles. -----	51
1.2.5 - Les indices granulométriques. -----	57
1.2.6 - Répartition des indices granulométriques. -----	58
2 - Les carbonates. -----	63
3 - La matière organique. -----	63
II - LA BATHYMÉTRIE. -----	63
CONCLUSION. -----	67
CHAPITRE IV : APERÇU SUR L'ÉTAT DE POLLUTION PAR LES MÉTAUX LOURDS.	
1 - Introduction. -----	70
2 - Généralités. -----	70
3 - Sources de pollution dans le port. -----	71
3.1 - Pollution industrielle. -----	71
3.2 - Pollution domestique. -----	71
4 - La matière organique. -----	73
5 - Métaux et concentrations. -----	75
5.1 - Le mercure. -----	75
5.2 - Le plomb. -----	76
5.3 - Le cadmium. -----	77
5.4 - Le zinc. -----	77
5.4 - Le cuivre. -----	78
5.6 - Le chrome. -----	79
CONCLUSION. -----	81

CHAPITRE V : LE DRAGAGE.

1 - Généralités. -----	83
1.1 - Définition. -----	83
1.2 - Types de dragues. -----	83
2 - Évolution diachronique des fonds à l'intérieur du port. -----	83
3 - Nature du dragage. -----	88
4 - Estimation du volume de déblais. -----	88
CONCLUSION. -----	90
CONCLUSION GÉNÉRALE. -----	92

INTRODUCTION

Situé au fond d'une baie large de 40 km, datant du XI^{ème} siècle avant J.C, servant près de 14 Wilayate de l'Est du pays, siégeant au cœur d'une importante zone industrielle comprenant le complexe d'EL Hadjar et le complexe d'engrais phosphatés ASMIDAL, servi par un important tissu industriel et un réseau dense de voies de communication, assurant 18 % du trafic portuaire algérien de marchandise, le port de Annaba est un axe dans le transport maritime algérien. Il en tient la troisième place après le port d'Alger et d'Oran.

Un port d'une telle envergure doit être en permanence surveillé pour lui assure une bonne santé pour un maximum de rentabilité. Pour ce, le contrôle régulier du tirant d'eau est primordial. Si ce dernier diminue, il est nécessaire de le rétablir pour qu'il reste toujours au niveau requis pour une navigation sûre à l'intérieur du port.

Dans cette perspective, le présent travail est une étude bathy-sédimentologique dont le but est de vérifier l'état des fonds et éventuellement la quantité et la qualité des sédiments à draguer.

Pour ce faire, Nous essaierons en premier lieu d'étudier l'état initial du port et de la région l'entourant. Nous exposerons les différentes données météorologiques, hydrologiques, géologiques, bathymétriques et sédimentologiques de notre zone d'étude. En seconde partie, nous expliquerons la méthodologie de ce travail. Vient ensuite l'exposé des résultats obtenus et leurs interprétations. Nous essaierons également de donner un aperçu sur l'état de pollution des sédiments par les métaux lourds avant d'estimer la quantité de sédiments à excaver.

Mais avant cela, jetons d'abords un coup d'œil sur l'histoire d'Ubbo, la ville qui a bâti un port désormais loin d'être un comptoir.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

1 - Présentation du port.

1.1 - Historique.

1.2 - Description.

2 - Étude de l'état initial du port.

2.1 - Aspect géologique.

2.2 - Aspect hydro-climatique.

2.2.1 - Températures et précipitations.

2.2.2 - Les vents.

2.2.3 - Les houles.

2.2.4 - Les courants.

2.3 - Réseau hydrographique.

2.4 - Bathymétrie.

2.4.1 - L'intérieur du port.

2.4.2 - L'extérieur du port.

2.4.3 - Évolution des fonds de l'extérieur.

2.5 - Aspect sédimentologique.

2.5.1 - L'intérieur du port.

2.5.2 - L'extérieur du port.

2.5.3 - Mouvements sédimentaires.

1 – Présentation du port (carte n° 1) :

Héritière de l'ancienne *Hippo Regius*, d'*El Bouna El Haditha* et de *Bône*, Annaba, ville côtière de l'Est algérien, a dû son développement à un port commercial et, plus tard, industriel. Il est situé dans la sortie Sud-ouest du golf de Annaba aux coordonnées 07°47'3'' de longitude Est et 36° 54' 11'' de latitude Nord.

1.1 – Histoire du port :

L'histoire du port est très bien contée par l'entreprise portuaire de Annaba à travers son site Internet (www.annaba-port.com) :

La position bien abritée du golfe de Annaba, la fertilité des plaines qui s'étendent au sud du rivage, les facilités de communication qu'offrait la vallée de la Seybousse ont très tôt attiré les marchands et favorisé la création d'une grande agglomération en ce point de l'Afrique du Nord.

Les Phéniciens y édifièrent leur premier comptoir au XI^{ème} siècle avant J.C. Les marchands de Carthage y fondèrent par la suite un comptoir sous le nom d'Ubbo et en firent une colonie très prospère.

Après la domination des rois de Numidie survint l'occupation romaine. La ville prit le nom de Hippo-Regius ou Hippone et devint une riche cité et un marché opulent qui rivalisait avec Carthage.

Les navires disposaient d'un excellent mouillage dans l'Anse du Fort génois, en attendant de gagner l'estuaire de la Seybousse et le lit du fleuve où s'effectuait le transit des marchandises.

En dépit des nombreuses invasions, la cité demeura un centre d'échange avec les cités méditerranéennes, Gênes en particulier qui s'était réservé les produits de la pêche du corail. Sous l'occupation française, les premiers éléments du port consistèrent en un embarcadère situé à l'abri de l'éperon rocheux dit "pointe cigogne " et une petite cale de halage à proximité.

Les richesses minérales, agricoles et le mouvement commercial croissant imposèrent d'importants travaux d'aménagement du port qui commencèrent en 1856. Ainsi en 1870, 80ha de plan d'eau étaient délimités par :

- les quais nord et ouest de la petite darse sur 590 mètres linéaires
- les jetées nord et sud

La Loi du 7 septembre 1885 déclara d'utilité publique un programme de grands travaux qui portait sur :

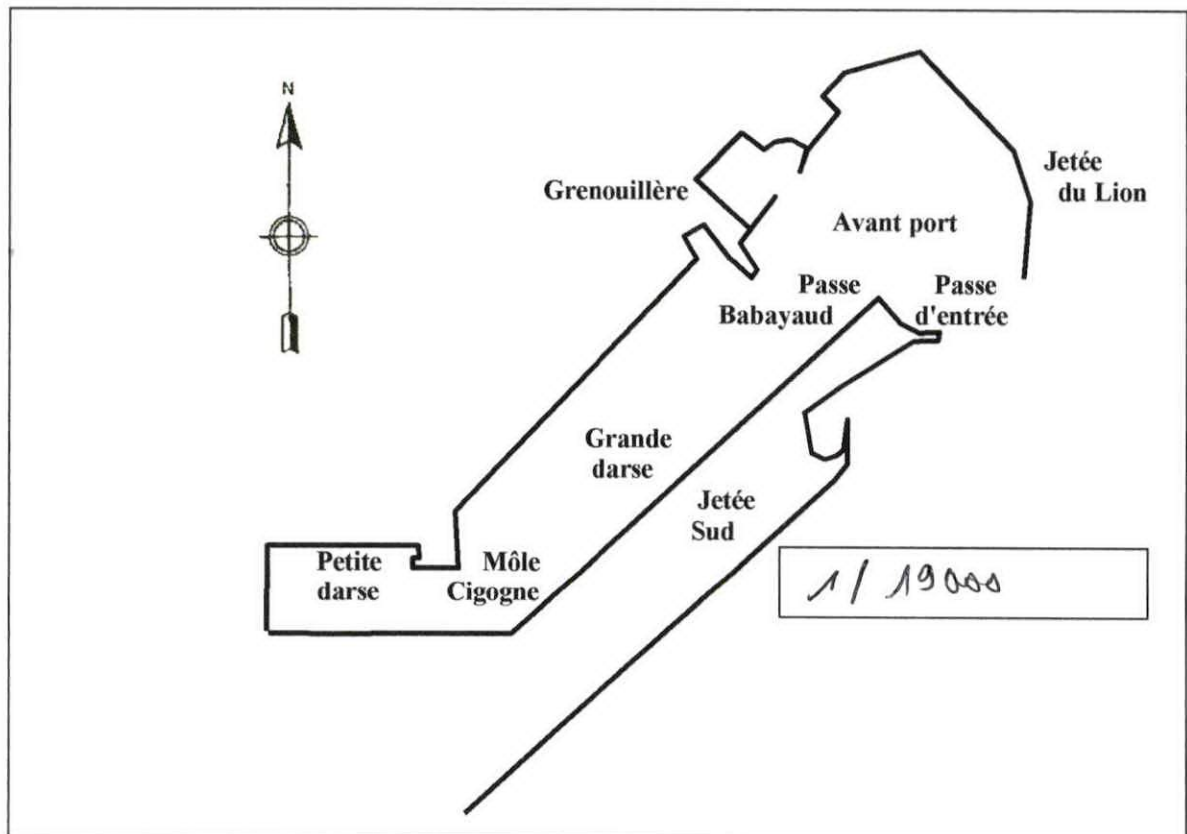
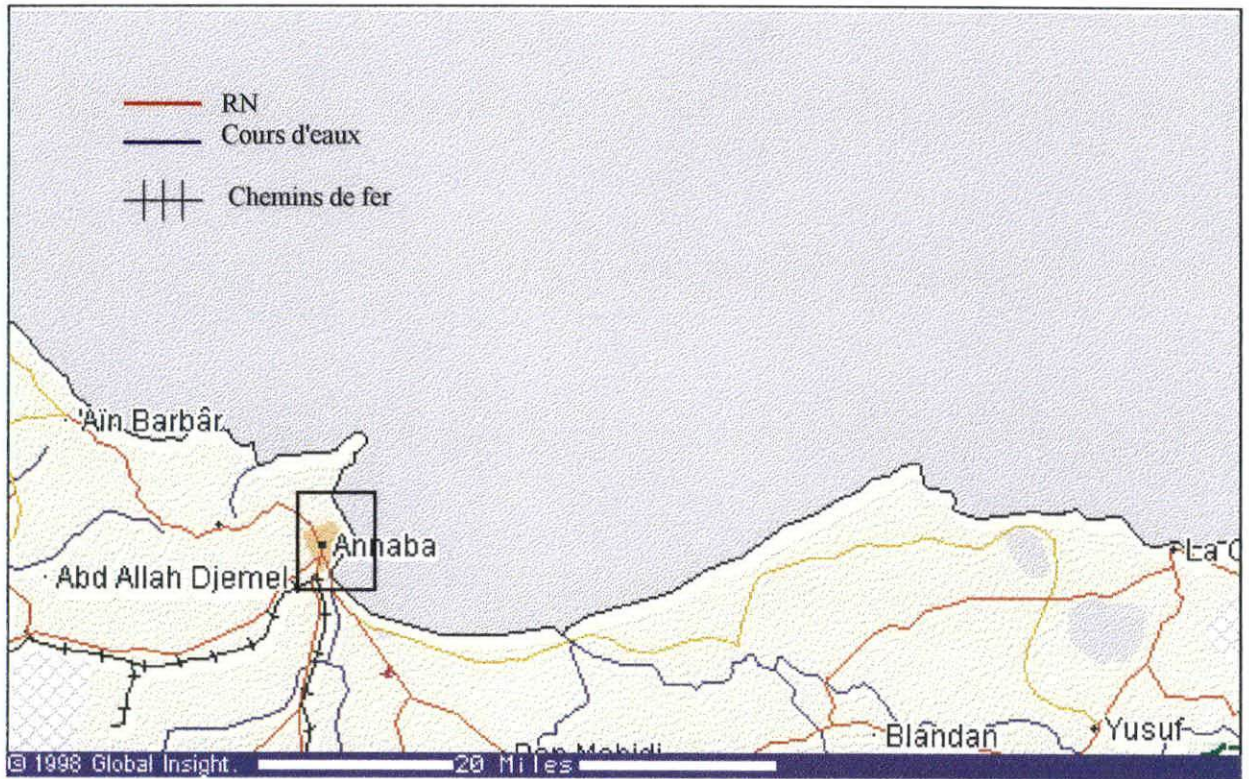
- la création d'un nouvel avant-port de 77 ha
- la transformation de l'avant-port existant en darse
- la construction, au nord de cette nouvelle darse d'un quai avec terre-pleins de la pointe cigogne à la jetée Babayaud
- la construction d'une cale de halage à l'extrémité de ce nouveau quai
- des dragages généraux à la côte (- 7,50 m)

Après 1962, plusieurs travaux d'aménagement ont été entrepris :

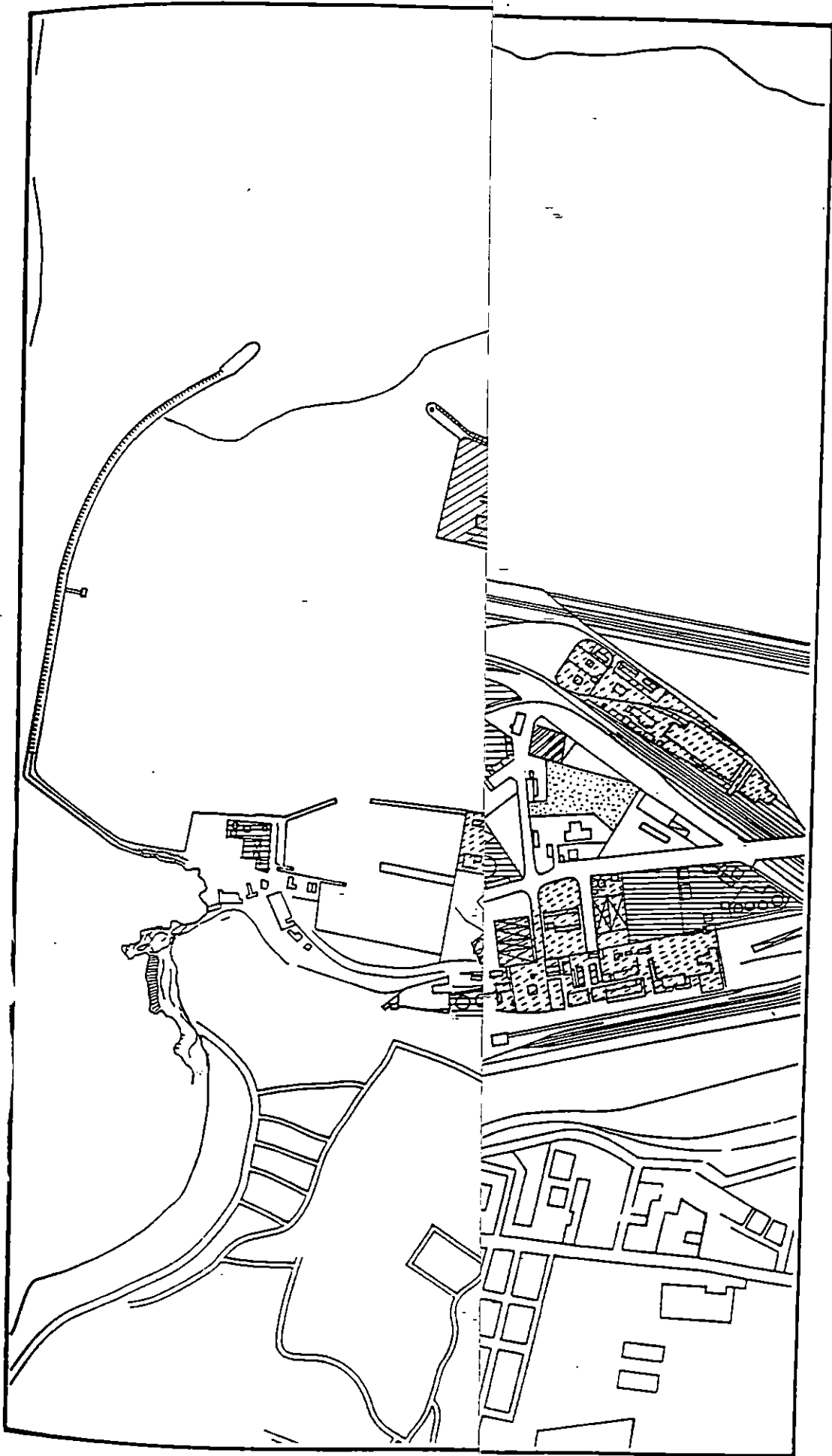
- La construction du poste n°13, sur une longueur de 320 m et 13 m de tirant d'eau pour les importations de charbon et les exportations de produits sidérurgiques et métallurgiques
- Le rempiètement des postes n° 19, 20 et 21
- L'aménagement d'un port de pêche à l'anse de la Grenouillère
- La construction d'un terminal polyvalent roro/conteneurs au quai ouest inauguré fin 1997.

1.2 – Description du port (Fig. 1) :

Le port est abrité par deux jetées : jetée sud au sud-est et la jetée nord au nord-est (jetée du Lion). Leurs longueurs respectives sont de 400 et 980 m. Le tirant d'eau moyen est de 9,75 m et un maximum de 12,5 m. La zone portuaire a 76 ha de terre-pleins et un plan d'eau abrité de 94 ha constitué de trois bassins (EPAN, 2000) :



Carte n° 1 : Situation géographique du port de Annaba.



CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

- L'avant port, 45 ha et d'une profondeur moyenne de 12,8 m ;
- La grande darse, 40 ha et d'une profondeur de 10 à 12,5 m ;
- La petite darse, 9 ha et d'une profondeur de 7 à 10 m.

Ceci étant, des travaux d'aménagement, effectués en 1993 dans le port, ont modifié ces profondeurs, elles seront citées ultérieurement. L'accès à des plans d'eaux est assuré par respectivement :

- Passe d'entrée : 245 m de largeur et 13,5 m de profondeur ;
- Passe Babayaud : 250 m de largeur et 12,5 m de profondeur ;
- Passe "cigogne" : 183 m de largeur et 12,5 m de profondeur.

L'anse de la grenouillère abrite le port de pêche d'une capacité de 27 chalutiers et 48 sardiniers ainsi que 59 petits métiers et une flottille de 26 " corailleurs «. La longueur des quais et appontements est de 729 m. La surface du plan d'eau et du terre-plein disponibles est respectivement de 26 400 m² et 9500 m² (EPAN, 2000).

Les infrastructures se composent de 22 postes à quai d'une longueur linéaire totale de 3685 m. Ces postes à quai sont répartis entre 5 quais aux fonctions multiples (ABDICHE et DOUDOU, 1998) :

- Quai n° 1 : Prévu pour les marchandises générales (céréales, sucre, ...) ;
- Quai n° 2 : Transport des passagers et marchandises générales ;
- Quai n° 3 : Pour les activités de pêche ;
- Quai n° 4 : Pour l'exportation du bitume (ammoniac, soufre, potasse et phosphate) ;
- Quai n° 5 : pour les hydrocarbures, les produits sidérurgiques, le minerai de fer et de charbon.

Le port est également le siège de plusieurs complexes et installations industriels implantés sur les jetées Nord et Sud à l'intérieur même et autour de l'enceinte portuaire (ABDICHE et DOUDOU, 1998). Ces structures seront citées un peu plus tard dans la partie pollution. Néanmoins, la figure n° 1 offre un bon aperçu sur ces complexes et installations.

Le port de Annaba se trouve dans une zone industrielle des plus importante du pays, avec notamment les complexes (EPAN, 2000) :

- Sidérurgique d'El Hadjar situé à 10 km du port d'une capacité nominale de 2 million de tonne/an ;
- D'engrais phosphatés ASMIDAL situé à 2 km du port d'une capacité de 500 000 t/an d'engrais et 300 000 t/an d'ammoniac ;
- Des unités industrielles de fabrication de charpente métallique (BATIMETAL et Entreprise Nationale de Charpente Métallique et Chaudronnerie) situées à la périphérie du port ;
- Une petite et moyenne industrie dynamique et diversifiée, notamment dans l'agro-alimentaire (conserverie et semoulerie) ;
- Implantation d'unités de transformation de tomate dont la production représente plus de 40% des besoins du marché national algérien.

Il sert également à l'exportation de phosphates des mines de DJEBEL ONK et LE KOUIF (3,5 millions de tonnes/an).

Le port est situé à l'intersection d'un nœud important de voies de communication tant ferroviaire que routière et aérienne (carte n° 1). Le port est en effet rattaché aux voies de chemin de fer qui desservent tant les mines de phosphate de Djebel Onk que l'importante zone pétrolifère du sud-est du pays (jusqu'à Touggourt à 80 km de Hassi Messaoud) ainsi que l'ensemble du réseau national et la Tunisie limitrophe ; la frontière tunisienne est située à 80km du port de Annaba (EPAN, 2000).

La longueur du réseau ferroviaire portuaire est de 6200 m. La voie ferrée relie les silos à grains et l'installation de manutention du sucre roux de même que les installations de IMAN filiale SIDER et FERPHOS au réseau ferroviaire national (EPAN, 2000).

La région de Annaba dispose de même d'un aéroport international " Annaba Les Salines " implanté à 12 km du port.

Par ces caractéristiques, le port de Annaba tient une place importante dans le transport des marchandises du secteur Est algérien (14 Wilayas). Le trafic y représente 18 % du trafic total des ports algériens et son entretien est une nécessité. Aussi, les rejets des complexes implantés à son niveau (au nombre de 10) détériore sans nul doute la qualité des eaux et des sédiments du port et de ses alentours.

2 – Étude de l'état initial du port :

2.1 – Aspect géologique (carte n° 2) :

Le port est situé à l'Ouest d'une baie large de 40 km à la limite des plaines d'Annaba et des contreforts du massif d'Edough (L.C.H.F 1974). A l'échelle régionale, trois ensembles sont distingués :

- ***Le massif d'Edough*** : Témoin cristallin culminant à 1008 m et depuis les abords de lac Fetzara au cap de Garde, est constitué de roches paléozoïques tels que du gneiss, schiste et de marbre fortement déformé (L. Jauleaud) ;
- ***La plaine de Annaba*** : Alluvions quaternaires issues de remaniements de formations anciennes déposées en milieu marin ou lagunaire d'une épaisseur importante (Leclaire, 1972). Elle se compose de conglomérats, argiles et grès et est traversées par l'Oued Seybousse et Bounamoussa ;
- ***Le système dunaire*** : Sédiment calcaire du pliocène, il occupe le littoral depuis Annaba jusqu'au cap Rose (A.J.C.I, 1993) formant un cordon dunaire à l'Ouest et se développant vers l'Est en massif dunaire (A.C. Toubal, 1983).

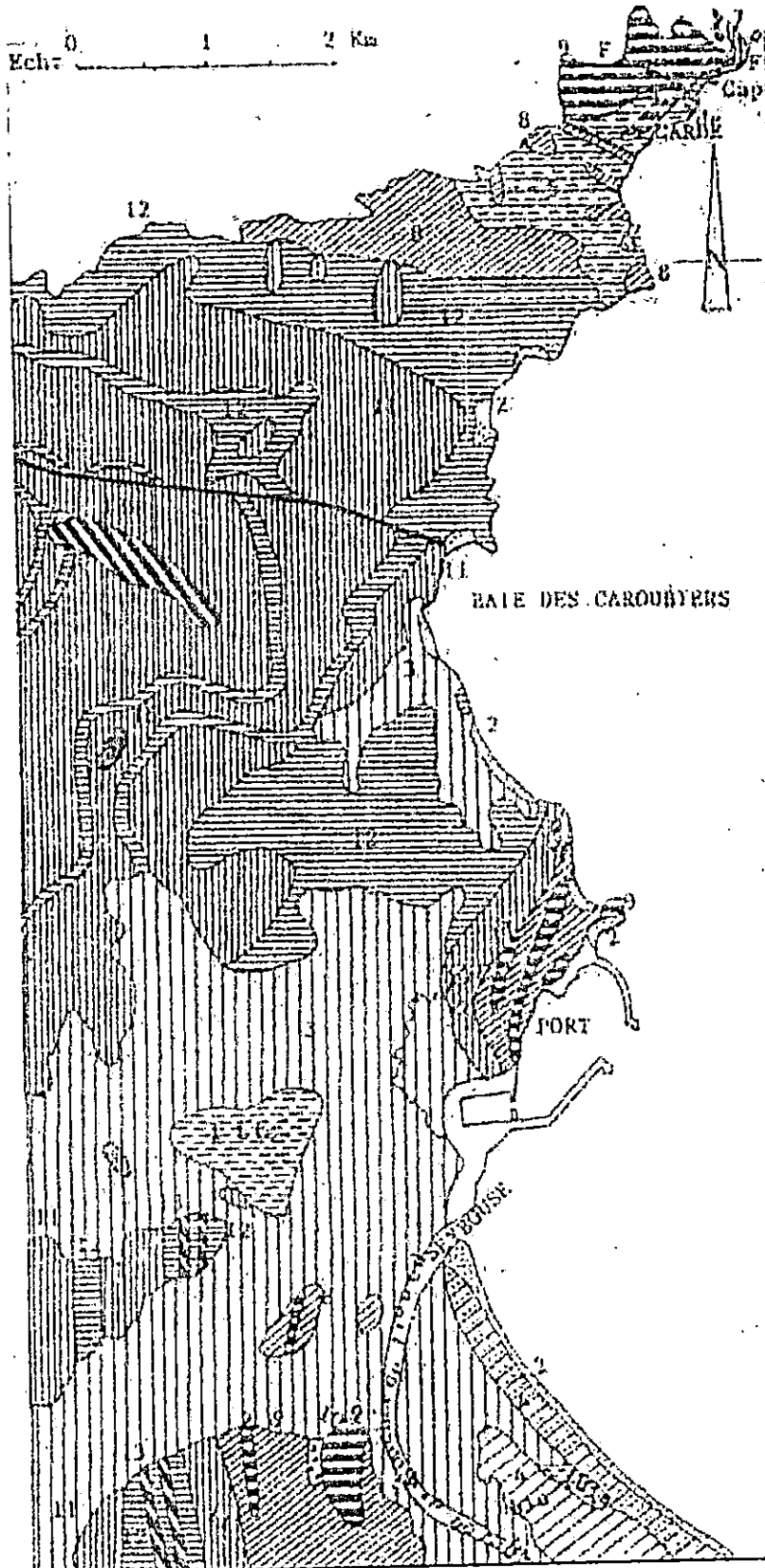
2.2 – Aspect hydro-climatique :

2.2.1 – Températures et précipitations (Fig. 2) :

La région de Annaba a un climat méditerranéen tempéré. Deux périodes sont nettement constatées : une période sèche et chaude (avril – novembre) où les températures moyennes atteignent les 26°C et les précipitations, les 0,1 mm ; une période froide et humide (décembre – mai) où les températures moyennes avoisinent les 11 °C et les précipitations, les 230 mm

Carte n° 2 : Cadre géologique du port de Annaba.

SOVRA



Terrains sédimentaires :

- 1 - Alluvions actuelles du majeur de la Seybousse.
- 1 bis - Sols des marécages.
- 2 - Plages actuelles.
- 3 - Sables et argiles laguno-marins des plaines de Annaba.
- 4, 4 bis - Dunes récentes.
- 5 - Mollasses calcaires marines et dunaires du CAP DE GARDE.
- 6 - Mollasses calcaires marines et dunaires.

Terrains métamorphiques :

- 7 - Gneiss feuilletées du CAP DE GARDE.
- 8 - Micaschiste grénatifères.
- 9 - Cipolin du micaschiste grénatifère (calcaires métamorphiques).
- 10 - Magnétite.
- 11 - Gneiss schisteux.
- 12 - Micaschiste dans les gneiss schisteux.
- 13 - Calcaires métamorphiques.
- 14 - Pyroxénites.

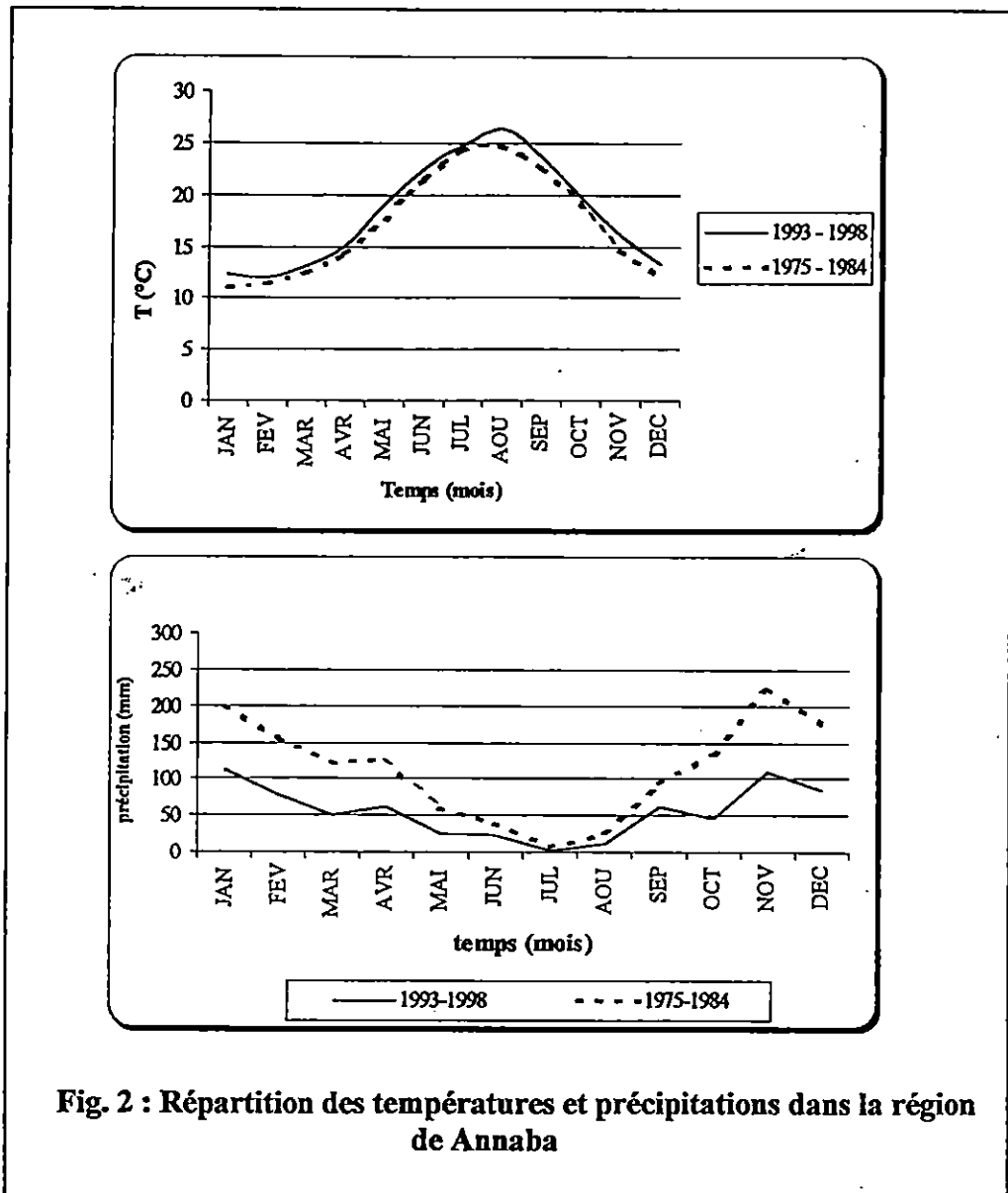


Fig. 2 : Répartition des températures et précipitations dans la région de Annaba

Ceci dit, il faut noter que la moyenne annuelle des températures prélevées entre 1993 et 1999 a augmenté par rapport à une étude faite par l'AJCI entre 1975 et 1984. Elle est de 17,7°C alors qu'elle était de 17,1°C. Parallèlement, les précipitations moyennes annuelles ont diminué de 57 mm à 50 mm (Annexe, tableau n°1).

2.2.2 – Les vents :

Les vents, par leurs fréquences et directions, jouent un rôle très important dans le transport des sédiments en engendrant des houles de caractéristiques directement liées à eux.

La vitesse moyenne annuelle des vents dans la région de Annaba est de 3,7 m/s (ONM, 1999). Cette vitesse était de 3,2 m/s dans une étude faite par l'AJCI pour le compte du ministère des transports (Fig. 3). Cette étude révèle également les caractéristiques des vents soufflants sur la région de Annaba. Elles se résument comme suit :

Sur un pourcentage des vents de 74,4 %, 19,4 % sont du secteur sud-ouest à ouest et 11,5 % du secteur Nord à Est (Fig.4). Le premier domine à la saison humide, et le deuxième, à la saison sèche. Les vitesses de ces vents se répartissent de la manière suivante :

- 32,9 % pour les vitesses inférieures à 4 m/s ;
- 32,8 % pour celles comprises entre 5 et 9 m/s ;
- 4,5 % de vitesse allant de 10 à 14 m/s ;
- 0,3 % de vitesses supérieures à 15 m/s.

Les vents violents (> 10 m/s) représente 4,8 % du pourcentage des vents (Fig. 5). 44,6% de ces vents proviennent de la direction nord-nord-est et 11,3 % de la direction ouest. Djbel Edough est un obstacle pour les vents de secteur ouest (Annexe, tableau n°2).

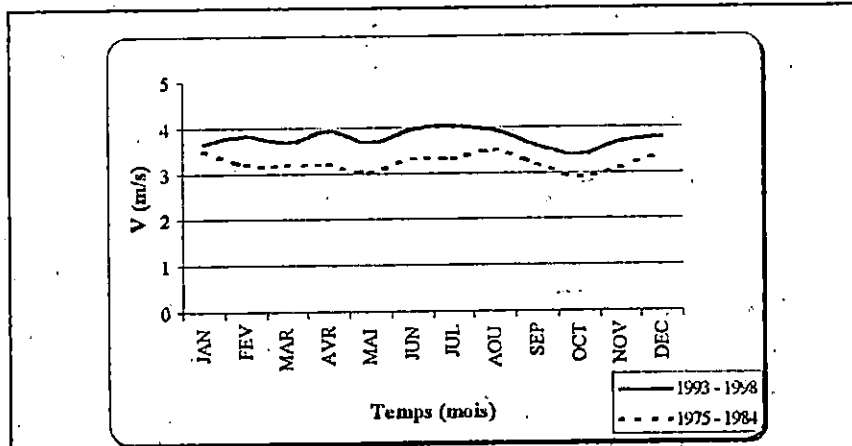


Fig. 3 : Moyenne des vitesses de vents entre 1993 et 1999 (OJF, 99) et entre 1975 et 1984 (FICA, 1993)

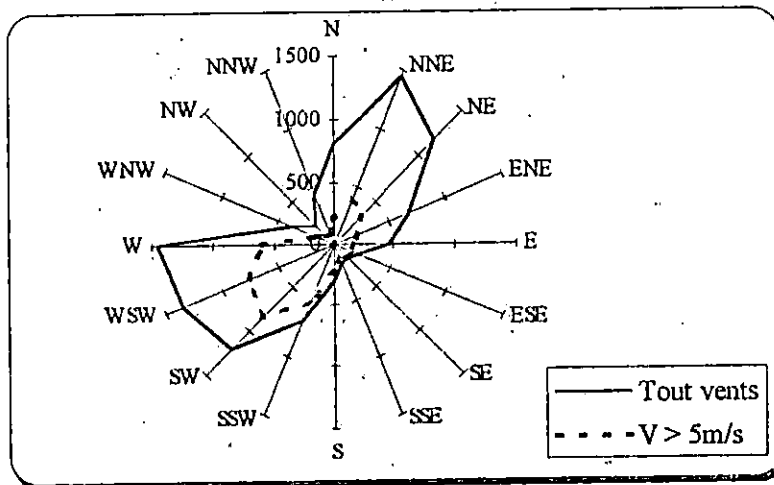


Fig. 4 : Rose des vents (FICA, 1993)

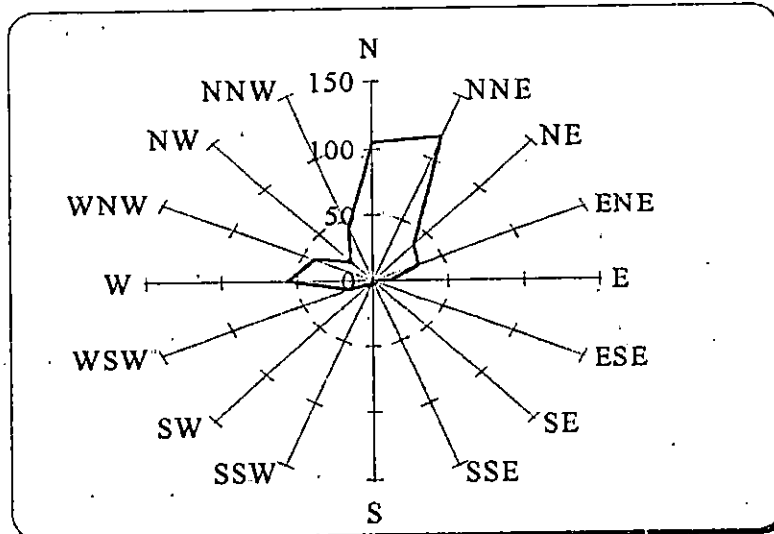


Fig. 5 : Répartition des vents dominants (> 10 m/s). (FICA, 93)

2.2.3 – Les houles (Fig. 6) :

Rappelons que la houle est un phénomène engendré par le vent dont l'intensité et la direction sont directement liées à celles du vent qui l'a engendré.

Les études réalisées par l'AJCI, en 1993, révèlent qu'au large du port (37,6 N 07,9 E soit 50 km) les houles dominantes sont celles de l'ouest. Leurs hauteurs sont majoritairement supérieures à 0,5 m (60,9 %) dont une bonne partie est supérieure à 2 m (22,1 %). Ces vagues ont une périodicité de 7 s.

Cependant, il faut souligner la diffraction du cap de Garde aux houles de NW et N les atténuant respectivement d'un coefficient de 3 à 4 et de 2 à l'approche du port. Par contre, les houles du NE sont faiblement atténuées et peuvent ainsi atteindre de fortes valeurs (DIMA, 1989).

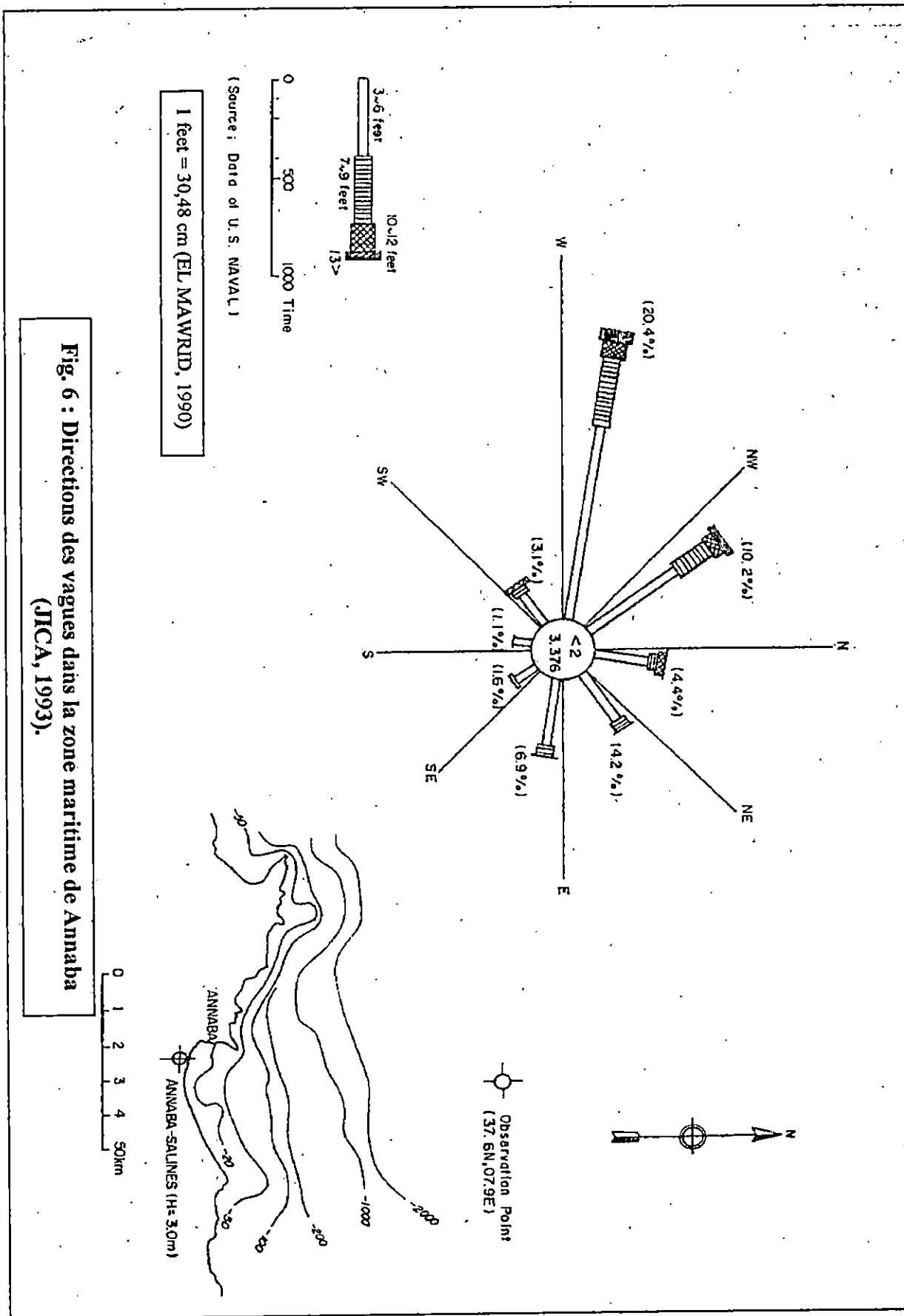
A l'embouchure du port (Fig. 7), les vagues de provenance nord à est ont un pourcentage de 17,5 % dont 8,7 % ont une hauteur de plus de 1 m. Les houles les plus fréquentes sont celles du nord-nord-est (AJCI, 1993).

2.2.4 – Les courants (Fig. 8) :

Le courant atlantique pénétrant par le détroit de GIBRALTAR forme des tourbillons anticycloniques de 100 km de diamètre se déplaçant vers l'est à une vitesse de moins de 7nd (MILLOT, 1985). A son arrivée au golf de Annaba, il a une vitesse de 1 à 2,5 nd. Il crée alors des courants résiduels se dirigeant vers la côte et dont la vitesse est inférieure à 1 nd. Ces derniers, au contact de la côte, engendrent des courants de retour de vitesses très faibles de 0,2 à 0,5 nœuds. (SOGREAH, 1993). *Abdiche et BOUDDOU, 98.*

Il n'existe aucune donnée relative au courant dans le port. Cependant, on estime que les courants principaux sont dus aux oscillations de seiches dont le port de Annaba est le siège (DIMA, 1989).

De par ce fait, les courants ont un rôle peu primordial dans le transport des sédiments dans notre zone d'étude, comme ils n'entravent aucunement la navigation des navires.



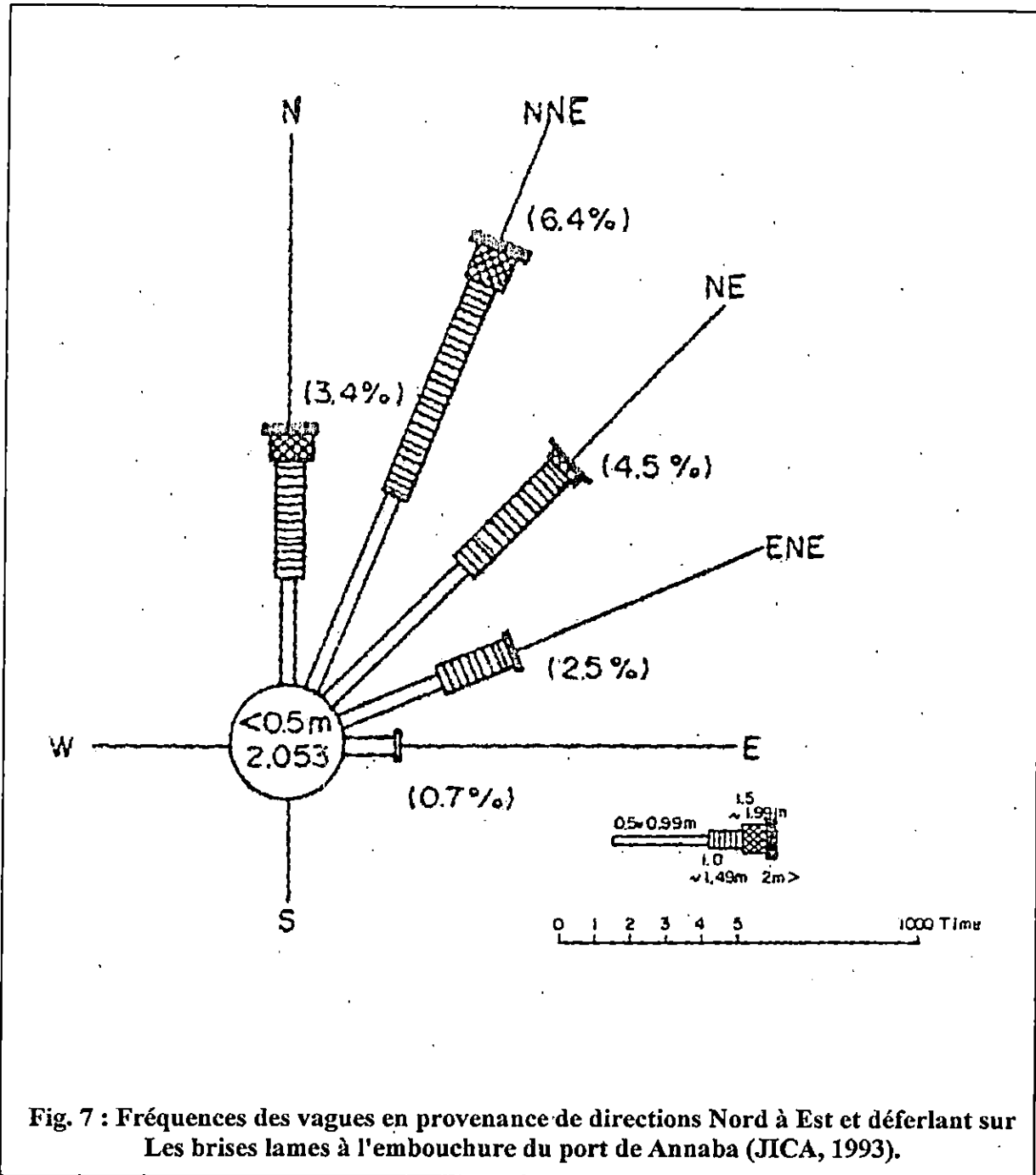


Fig. 7 : Fréquences des vagues en provenance de directions Nord à Est et déferlant sur Les brises lames à l'embouchure du port de Annaba (JICA, 1993).

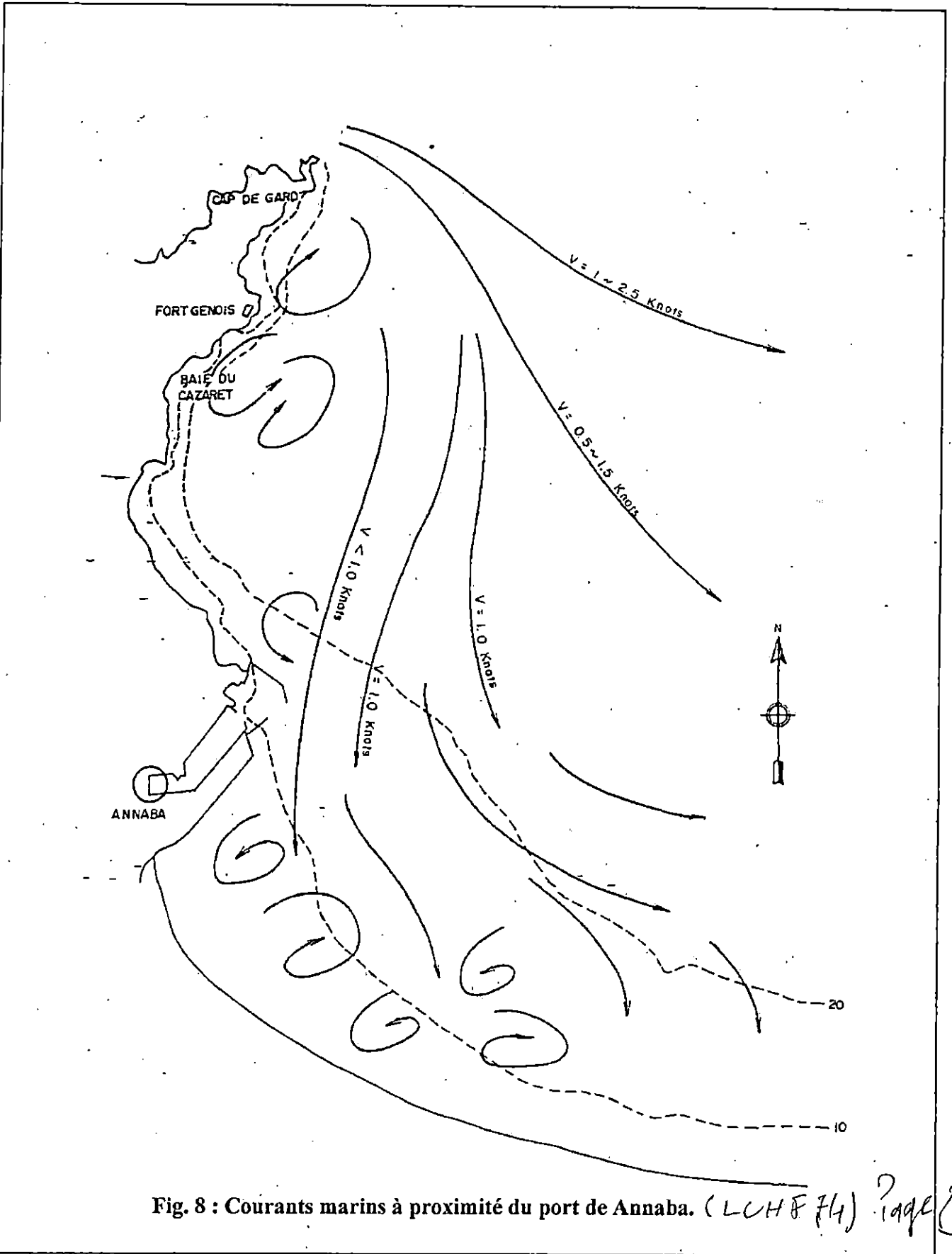


Fig. 8 : Courants marins à proximité du port de Annaba. (LCHF 74) ? page 2

2.3 – Réseau hydrographique (Fig. 9) :

Le port de Annaba reçoit les apports sédimentaires à partir des versants des monts de Medjerba, par les réseaux hydrographiques des oueds Seybousse, Bounamoussa et Kebir de l'Est (ces derniers faisant le Mafregh près de l'embouchure) ; soit une extension du bassin inférieur à 10 000 km² (LCHF, 1974). Il faut noter, cependant, que le cours du Seybousse a été dévié de près de 2,5 km vers l'Est en 1969.

Les modules annuels de ruissellement sont 14,6 m³/s pour le Seybousse, 5,44 m³/s pour l'Oued Bounamoussa et 9,65 m³/s pour l'Oued Kebir de l'Est. La turbidité annuelle moyenne de ces trois oueds est de 1 à 3 g/l avec des maximums de 10 à 30 g/l. Ces résultats conduisent à estimer le taux d'érosion spécifique à 200, 350 et 1000 t/km².an respectivement pour Seybousse, Bounamoussa et Kebir soit une quantité de sédiment déversée d'environ 2000000 T/an (LCHF, 1974).

Vu la nature géologique du terrain ainsi que les caractéristiques du bassin versant, plus de 90 % des apports sont des vases qui se dispersent sur des aires considérables. En effet, en raison de la prédominance des houles d'ouest et nord, et en particulier de leur fréquence concordante avec la saison humide, les apports drainés par ces Oueds sont, en général, entraînés vers le Sud et vers l'Est. Seuls ceux de l'Oued Seybousse peuvent contribuer à l'équilibre des plages au Sud du port avec une quantité de 100000 à 150000m³/an (LCHF, 1974).

Par ailleurs, les résultats donnés ci-dessus ont été calculés à partir de certaines données météorologiques. Étant donné que celles-ci ont changé, les incidences sur les résultats sont directes. Il est donc conseillé de les prendre avec précaution.

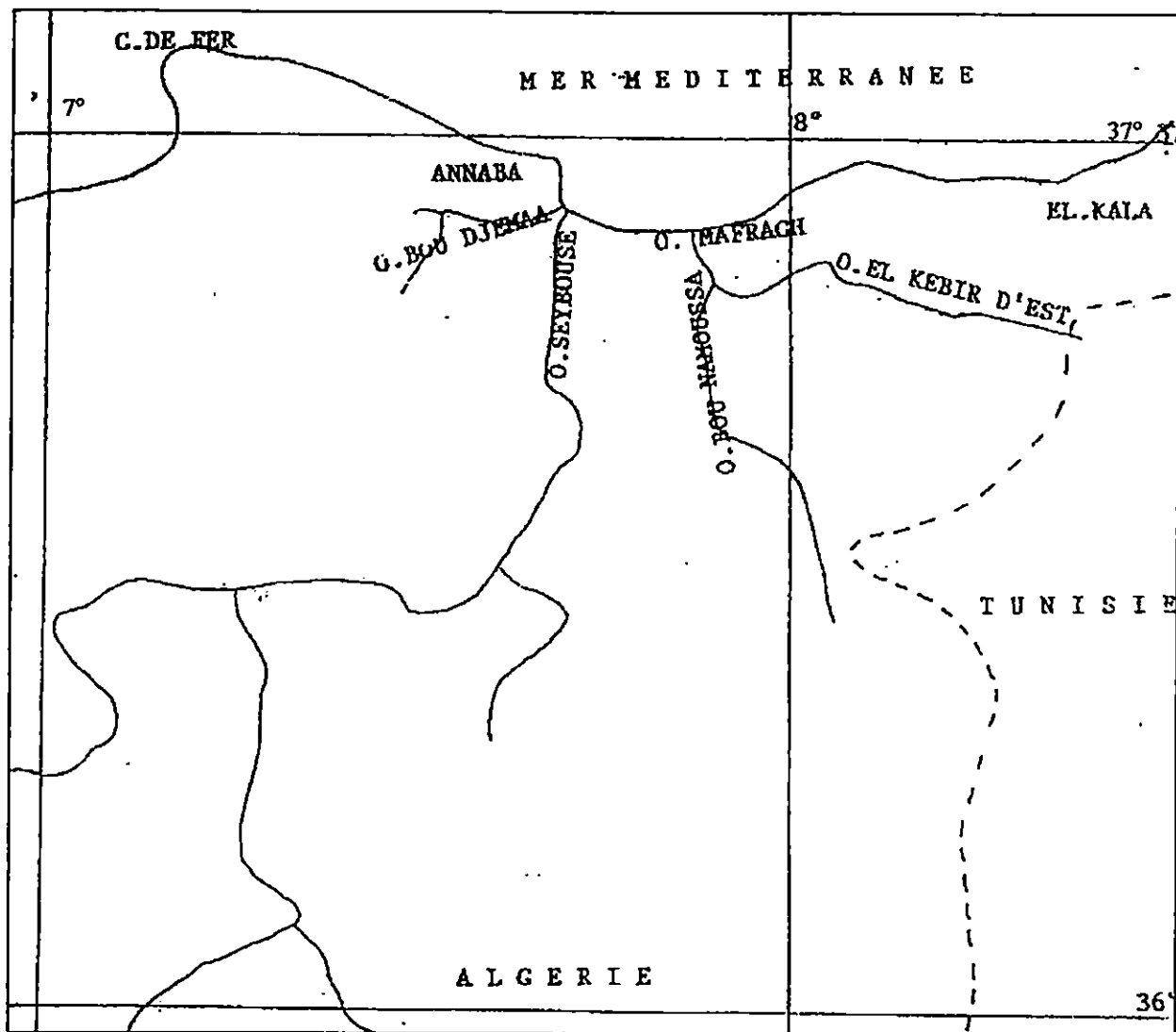


Fig. 9 : Réseau hydrographique de la région de Annaba.

2.4 - La bathymétrie :

2.4.1 - L'intérieur du port :

Nous disposons de trois cartes bathymétriques. La première date de 1985, elle a été effectuée par le bateau militaire EL IDRISSE. Les profondeurs moyennes y sont respectivement de 11, 13 et 13,5 m pour la petite darse, la grande darse et l'avant port (carte n° 3).

La deuxième, effectuée par HARRAT, date de 1990. Les profondeurs moyennes y sont de 8,5 m pour la petite darse, 11 m pour la grande darse et 11 m pour l'avant port (carte n° 4).

La dernière a été effectuée par la DTP en 1993. Elle révèle des profondeurs de 12 m à la petite darse, 14 m à la grande darse et 14,5 m à l'avant port. Vraisemblablement, une opération de dragage d'approfondissement a eu lieu (carte n° 5).

D'après ce qui précède, le fond du port a connu plusieurs changements. Pour ce, l'étude de ces évolutions sera exposée dans la partie dragage.

2.4.2 - L'extérieur du port :

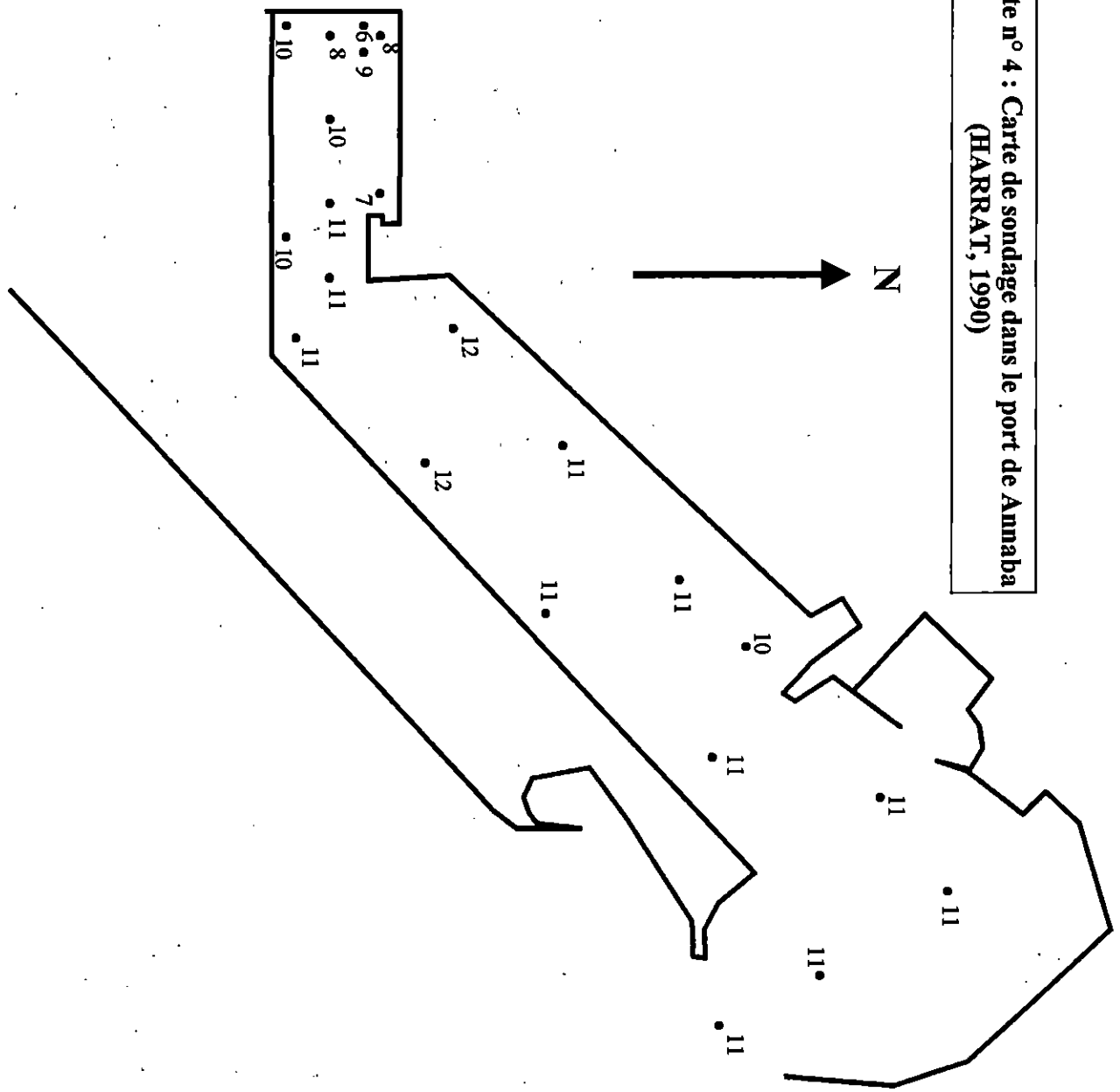
Au Nord du port, la bathymétrie est régulière avec une pente assez raide, où des profondeurs de - 15 m se rencontrent à 500 m du rivage, puis s'adoucit au-delà. Au Sud, elle est aussi régulière mais avec une pente plus douce dès le rivage. Ainsi, des profondeurs de - 15 m ne sont atteintes qu'à 2500 m du rivage (carte n° 6).

D'autre part, la carte n° 7 révèle les profondeurs au Sud immédiat du port. Elles vont de 1 m au rivage jusqu'à 13 m à l'embouchure. On y remarque également le déplacement des sédiments vers le haut (nord-est).

2.4.3 - Évolution des fonds (carte n° 8) :

Les fonds supérieurs à - 10 m sont, en général, en érosion, sauf au Nord-ouest du Seybousse où les fonds de - 4 à - 5 m sont en sédimentation. Au-delà des - 10 m, la sédimentation prédomine mais varie de 0,2 à 2 m, selon les fonds (L.C.H.F, 1974).

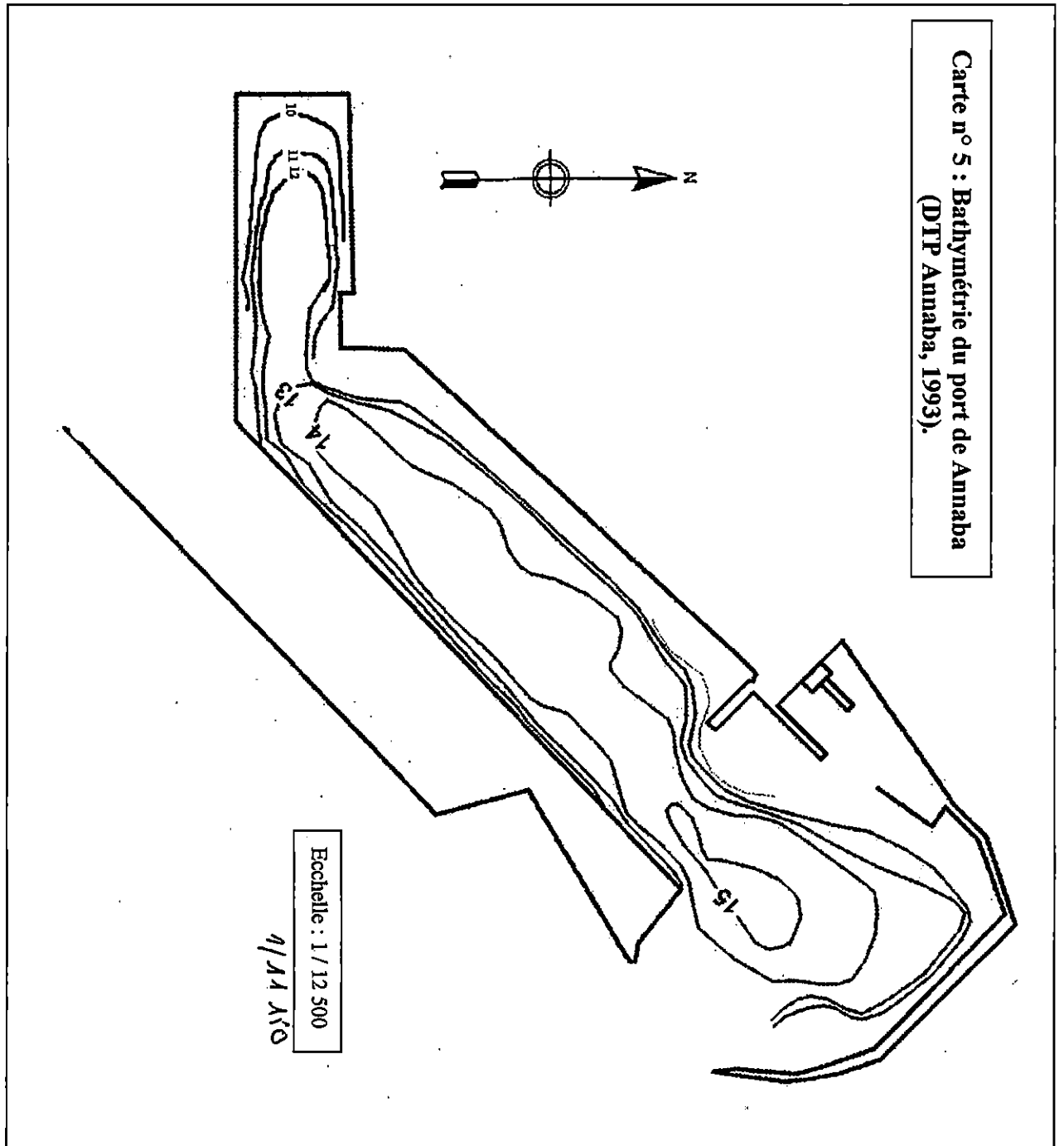
Carte n° 4 : Carte de sondage dans le port de Annaba
(HARRAT, 1990)

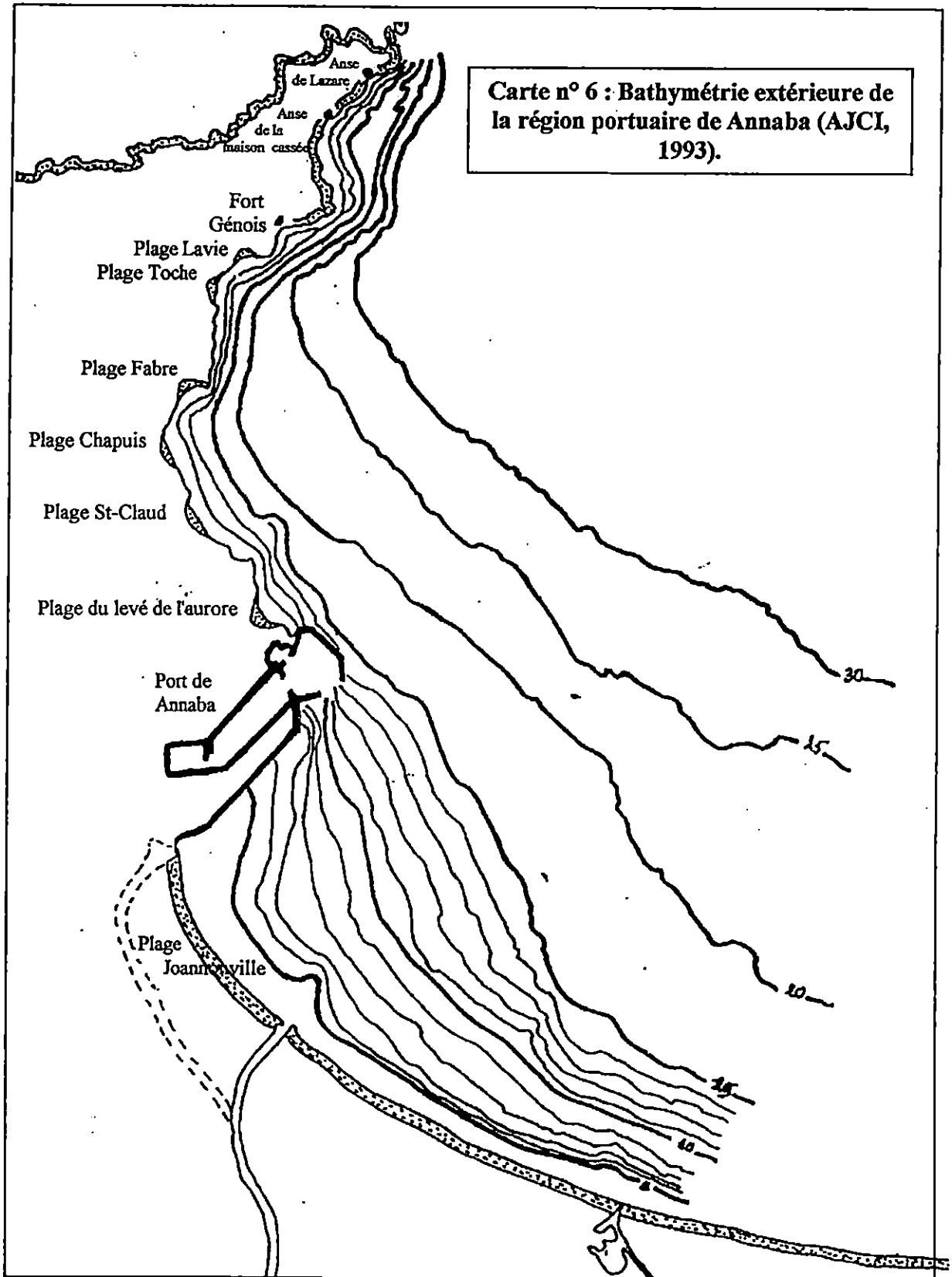


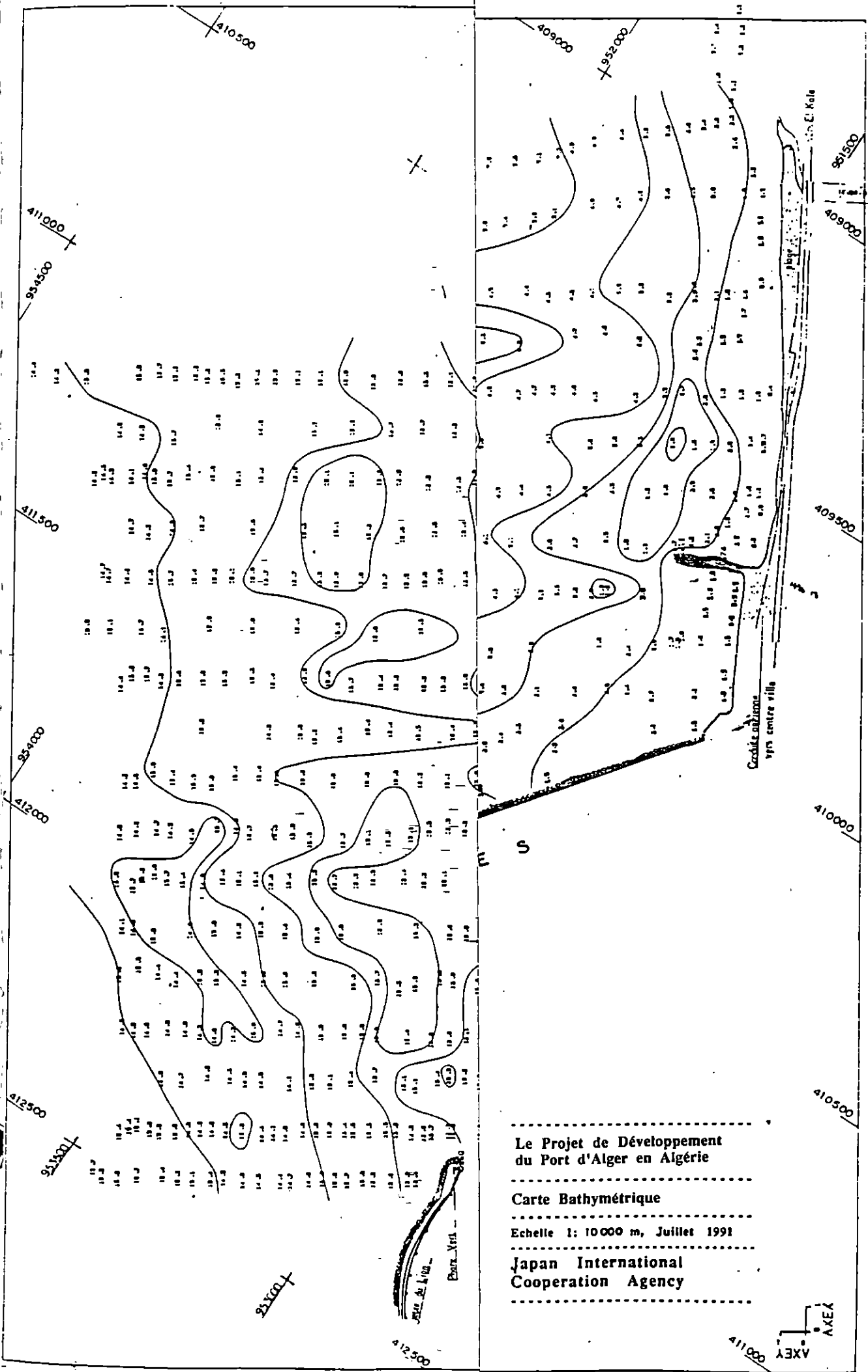
Echelle : 1 / 12500

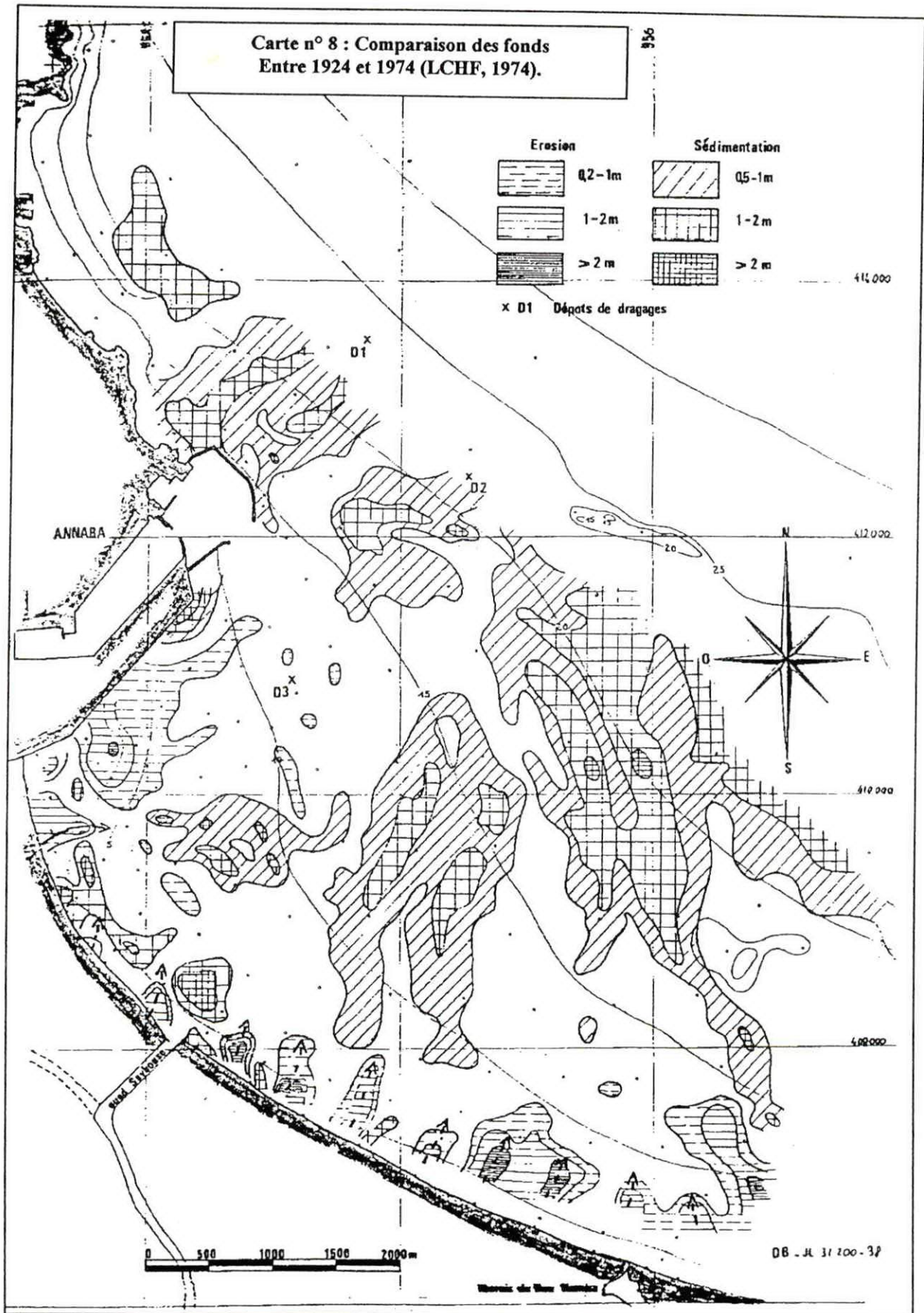
1/12 350

chap I : GENERALITES

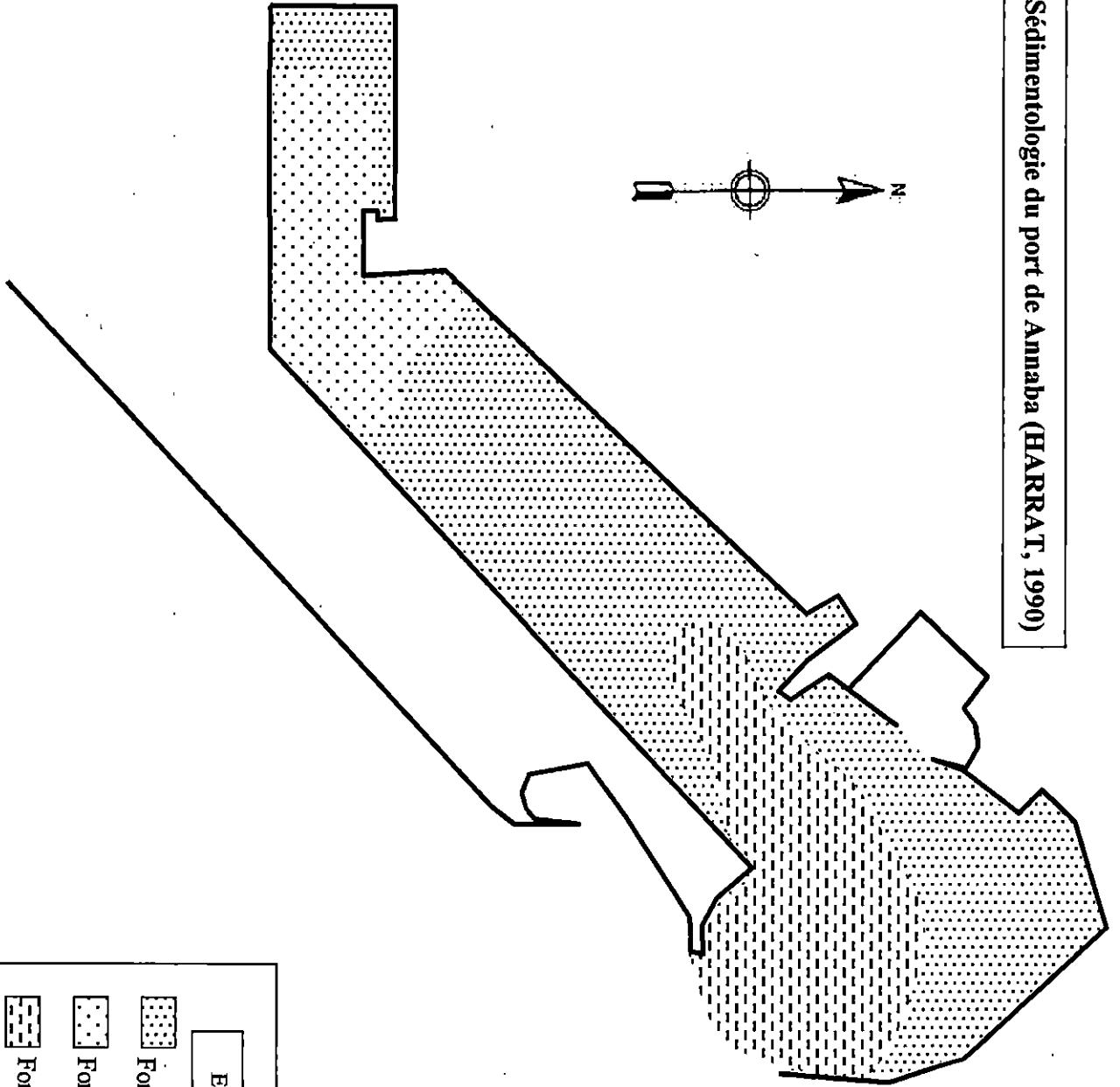








Carte n° 9 : Sédimentologie du port de Annaba (HARRAT, 1990)



Echelle : 1/42.500
1/42.500

Fond de vase sableuse.

Fond de vase graveleuse.

Fond de vase pure.

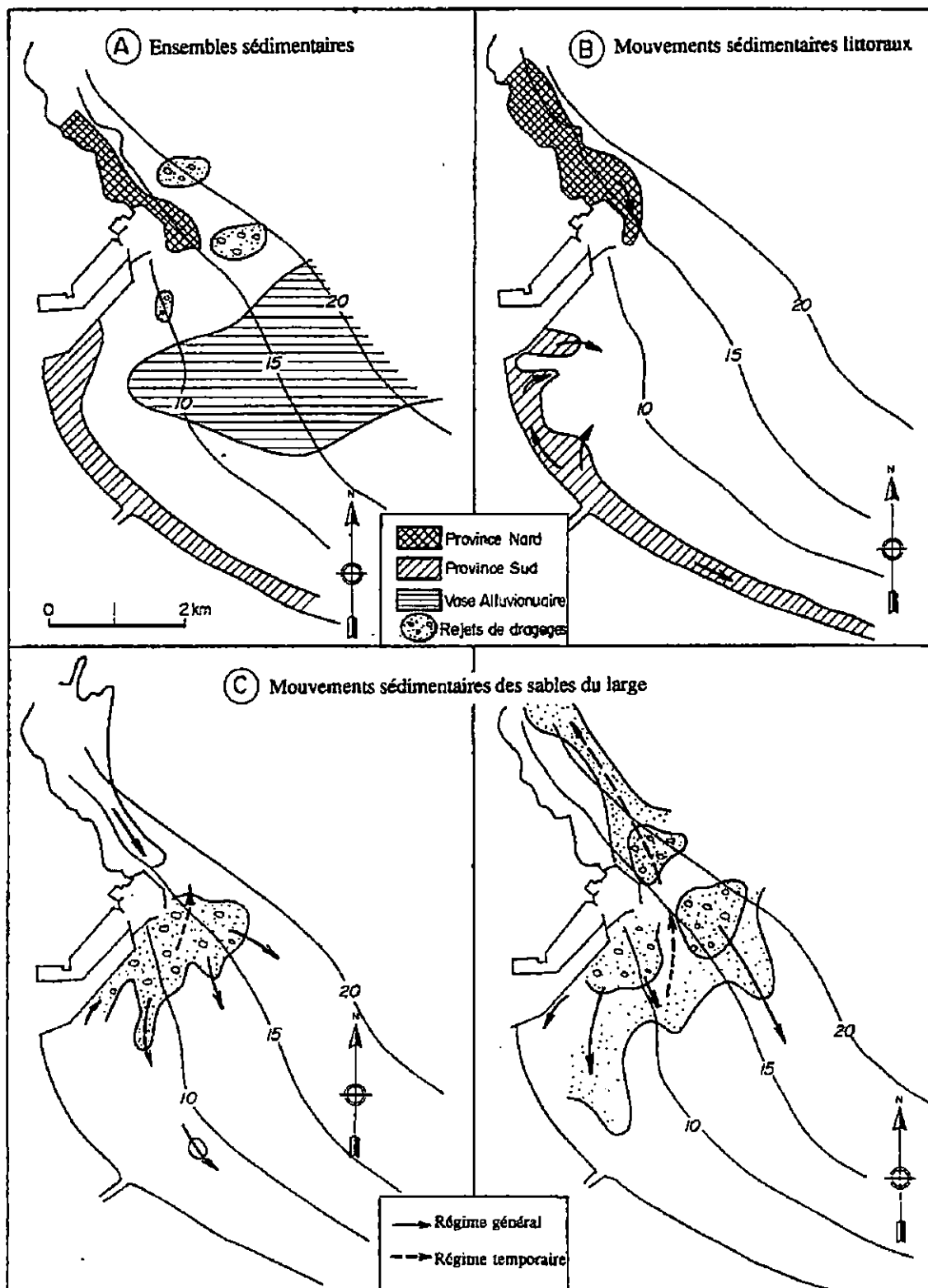


Fig. 10 : Répartition et mouvements sédimentaires dans la région du port de Annaba.
(LCHF, 1974).

CHAPITRE II : MÉTHODOLOGIE.

1 - Travaux en mer.

1.1 - L'échantillonnage.

1.1.1 - Les prélèvements.

1.1.2 - Le positionnement.

1.2 - La bathymétrie.

2 - Travaux au laboratoire.

2.1 - La granulométrie

- La médiane.
- Les fractiles.
- Indice de classement.
- Indice d'asymétrie.

2.2 - Les carbonates.

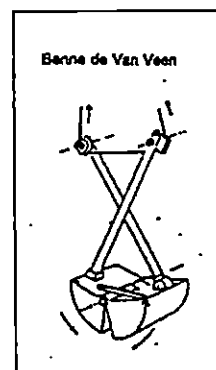
2.3 - La matière organique.

1 – Travaux en mer :

1.1 – L'échantillonnage :

1.1.1 – Les prélèvements (carte n° 10) :

Vingt stations ont été choisies de manière à couvrir toute la zone portuaire. Elles ont été prélevées à bord du M.S. BEN YAHIA le 03 octobre 1999 à l'aide d'une benne de type «VAN VEEN» et d'un treuil, exception fait pour les stations 9 et 10 qui ont été fait à bord d'une embarcation d'un pêcheur du fait de l'inaccessibilité de cette zone (la grenouillère) au M.S. BEN YAHIA.



La benne, placée au treuil, est virée verticalement à la mer, puis remontée une fois qu'elle touche le substrat. Les échantillons récupérés sont mis dans des sachets dont les étiquettes de stations ont été préalablement collées. Toutefois, il est utile de noter que les deux stations de la grenouillère ont un substrat solide.

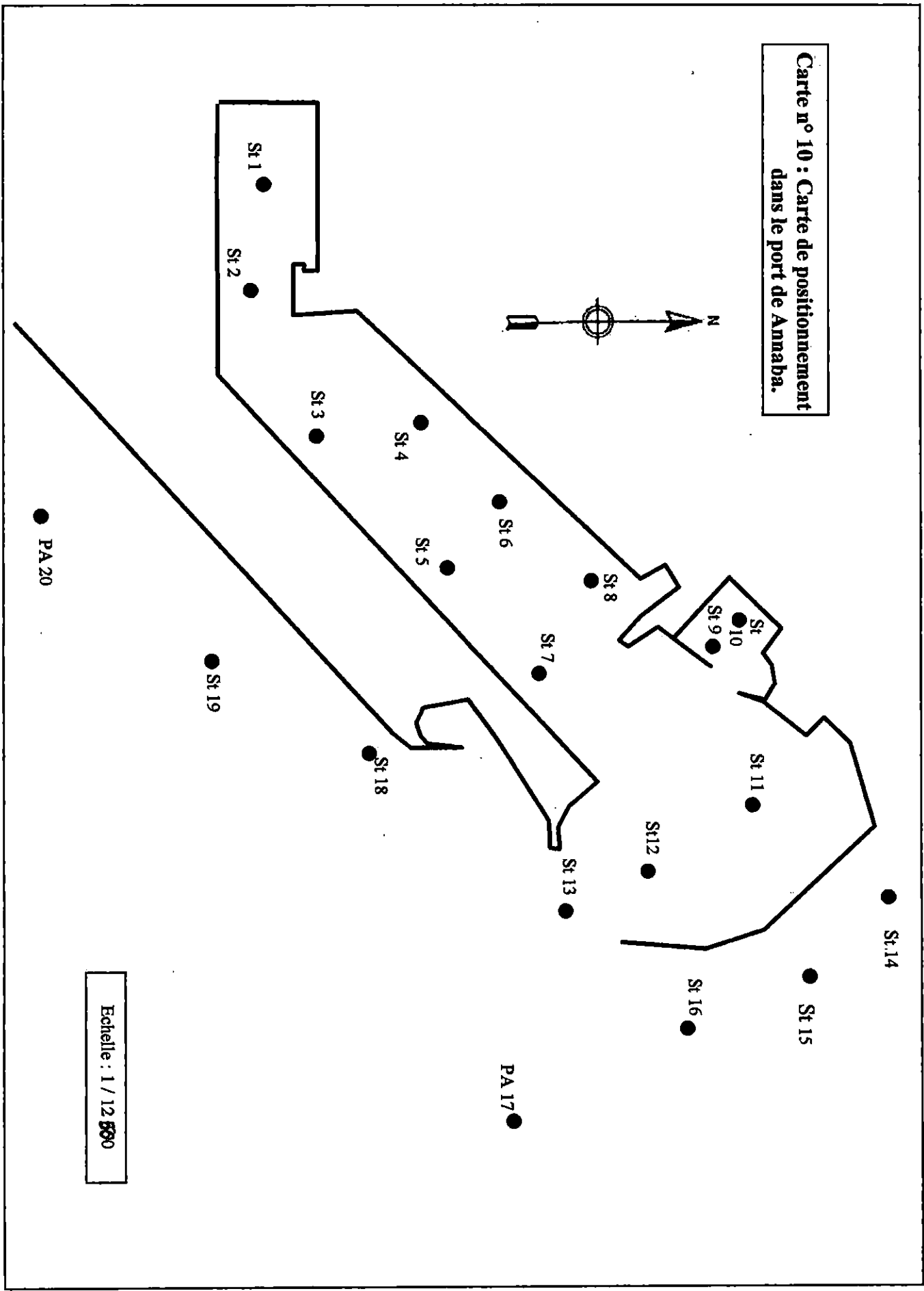
Il faut souligner, cependant, que le nombre de stations (20) est insuffisant pour une étude précise du port. Mais les moyens dont nous disposons nous astreignaient à ce nombre. Le M.S. BEN YAHIA, peu maniable, ne possédait aucune embarcation qui aurait pu nous aider dans les prélèvements.

1.1.2 – Le positionnement :

Le positionnement s'est effectué en prenant des repères visuels. L'absence des théodolites est compensée par les infrastructures du port qui nous ont aidés dans cette tâche.

1.2 – La bathymétrie :

Elle s'est effectuée à bord du M.S. BEN YAHIA par des points de sonde correspondant aux différentes stations précédemment citées à l'aide d'un sondeur de type FURUNO, modèle FE-881.



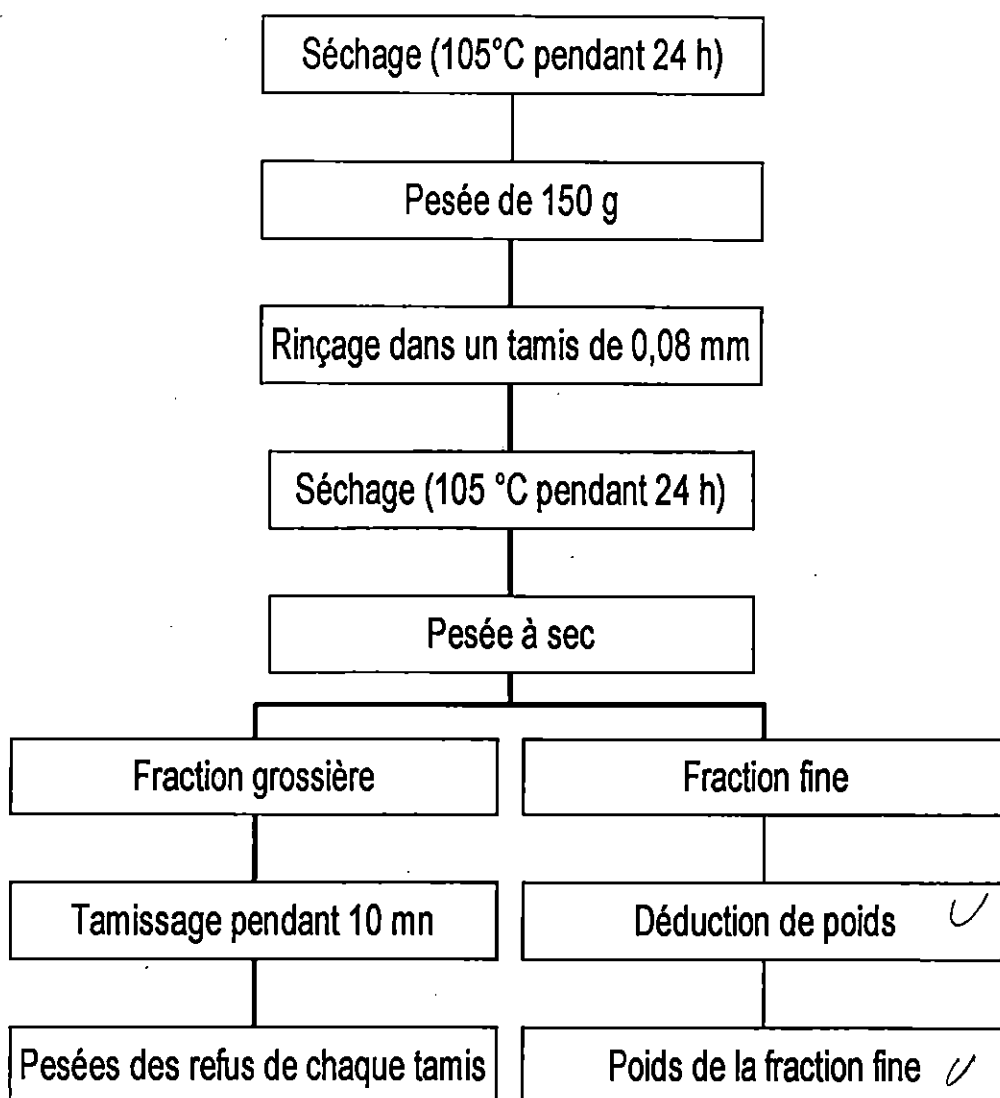
2 – Travaux au laboratoire :

Ils consistent en la granulométrie, le dosage des carbonates (CaCO_3) et de la matière organique :

2.1 – La granulométrie :

L'analyse granulométrique est la technique de détermination du diamètre de grains et des proportions relatives des différentes tailles. Pour ce, les échantillons sont soumis au protocole suivant :

Protocole de granulométrie



Les résultats, notés dans des fiches granulométrique, sont transformés en pourcentages non cumulés et cumulés qui serviront respectivement à faire des histogrammes de fréquences et des courbes cumulatives. De ces dernières, sont tirées les données suivantes :

- **La médiane** : Elle représente le diamètre du grain dépassé par 50 % de représentation granulométrique (A. VATAN) ;
- **Les fractiles** : Données utiles, ils comprennent :
 - I. **Les quartiles** : Diamètres dépassés par 25 % (Q_{25}) et 75 % (Q_{75}) de la représentation granulométrique ;
 - II. **Les déciles** : Ceux dépassés par 10 % (P_{10}) et 90 % (P_{90}) de la représentation.

La médiane étant un fractile Q_{50} , ces données permettront de calculer les indices granulométriques suivants :

- **L'indice de classement de TRASK (S_o)** : exprimé par l'équation $S_o = Q_{75}/Q_{25}$, il indique la dispersion des tailles par rapport à la taille moyenne (Chamley, 1987).

TRASK (1930) a proposé les limites suivantes (BERTHOIS, 1975) :

Berthois

- $S_o < 2,5$: Sédiment très bien classé ;
- $2,5 < S_o < 3,5$: Sédiment assez bien classé ;
- $3,5 < S_o < 4,5$: Sédiment normalement classé ;
- $4,5 < S_o$: Sédiment mal classé.

- **L'indice d'asymétrie (SK)** : exprimé par la formule $SK = (Q_{75} \times Q_{25})/(Q_{50})^2$, il indique la prédominance des particules fines ou grossières par rapport à la médiane (FERNANE et MAKHLOUF, 1998) dont les limites sont :

- $SK < 1$: Asymétrie du côté grossier à la médiane ;
- $SK = 1$: Asymétrie à la médiane ;
- $SK > 1$: Asymétrie du côté fin à la médiane.

2.2 – Les carbonates :

Les carbonates, de formule CaCO_3 , sont des traceurs naturels. Ils ont une densité de 2,71 et sont incolores ou blancs. Ils sont légers et ont une dureté moyenne. Leur origine est soit marine ou continentale.

Pour les doser, l'échantillon pesé subit une attaque à l'esprit de sel (qui fera office d'acide chlorhydrique) jusqu'à la fin de l'effervescence. Une fois l'échantillon rincé et séché, il est pesé une seconde fois. Une soustraction permet, alors, de déterminer le taux de CaCO_3 exprimé par la suite en pourcentage.

2.3 – La matière organique :

La matière organique donne un aperçu sur l'état de pollution du milieu considéré. On détaillera un peu plus bas cet élément clé dans la partie pollution.

Le dosage de la matière organique se base également sur la différence de poids. L'échantillon congelé est chauffé dans une étuve à 105 °C pendant 24 h. Une petite quantité est pesée puis mise dans un four à 550°C pendant 2 h pour brûler totalement la matière organique. La deuxième pesée effectuée, le protocole est celui des carbonates.

Ceci dit, nous tenons à souligner le fait que ces échantillons n'aient pas été congelés et, qui de plus est, aient été traités un mois et demi après l'échantillonnage. Cette erreur rend leur interprétation peu crédible.

Cependant, les résultats pris en compte sont ceux obtenus par deux étudiantes de l'ISMAL. Ils concernent 11 stations communes réparties sur l'ensemble du port prélevées en même temps que les nôtres.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.

I - LA SEDIMENTOLOGIE.

1 - La granulométrie.

1.1 - Les pélites.

1.2 - Étude de la fraction grossière.

1.2.1 - Les histogrammes de fréquence et courbes cumulatives.

1.2.2 - Les médianes.

1.2.3 - Les quartiles.

1.2.4 - Les déciles.

1.2.5 - Les indices granulométriques.

1.2.6 - Répartition des modes granulométriques.

2 - Les carbonates.

3 - La matière organique.

II - LA BATHYMÉTRIE.

CONCLUSION.

I - LA SÉDIMENTOLOGIE

1 – La granulométrie :

Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe sous forme de tableaux, d'histogrammes de fréquences et de courbes cumulatives individuelles à chaque station. Le résumé de ces résultats est présenté dans le tableau n°1 ci-après.

1.1 – Les pélites (carte n°11) :

Le tamis le 63 μm non disponible, nous appellerons «pélites» la fraction inférieure à 80 μm .

A l'intérieur du port, les pourcentages en pélites sont supérieurs à 90 % sauf pour l'entrée de l'avant port et celle de la grande darse ils sont entre 70 et 90 %.

Seulement 3 stations sur 18 ont un taux de pélites inférieur à 50 %. Ces stations se situent au nord-est du port. Une autre station (St20) située au sud-est présente un pourcentage en pélites de 72 %.

1.2 – Étude de la fraction grossière :

Pour une meilleure approche de la répartition des grains grossiers, le poids du refus de chaque tamis est reporté au poids final (celui de la fraction grossière totale) pour être transformé en pourcentage. Cependant, ces calculs ne concernent que 10 stations comptés tenus que les autres ont un taux de fraction grossière insignifiant.

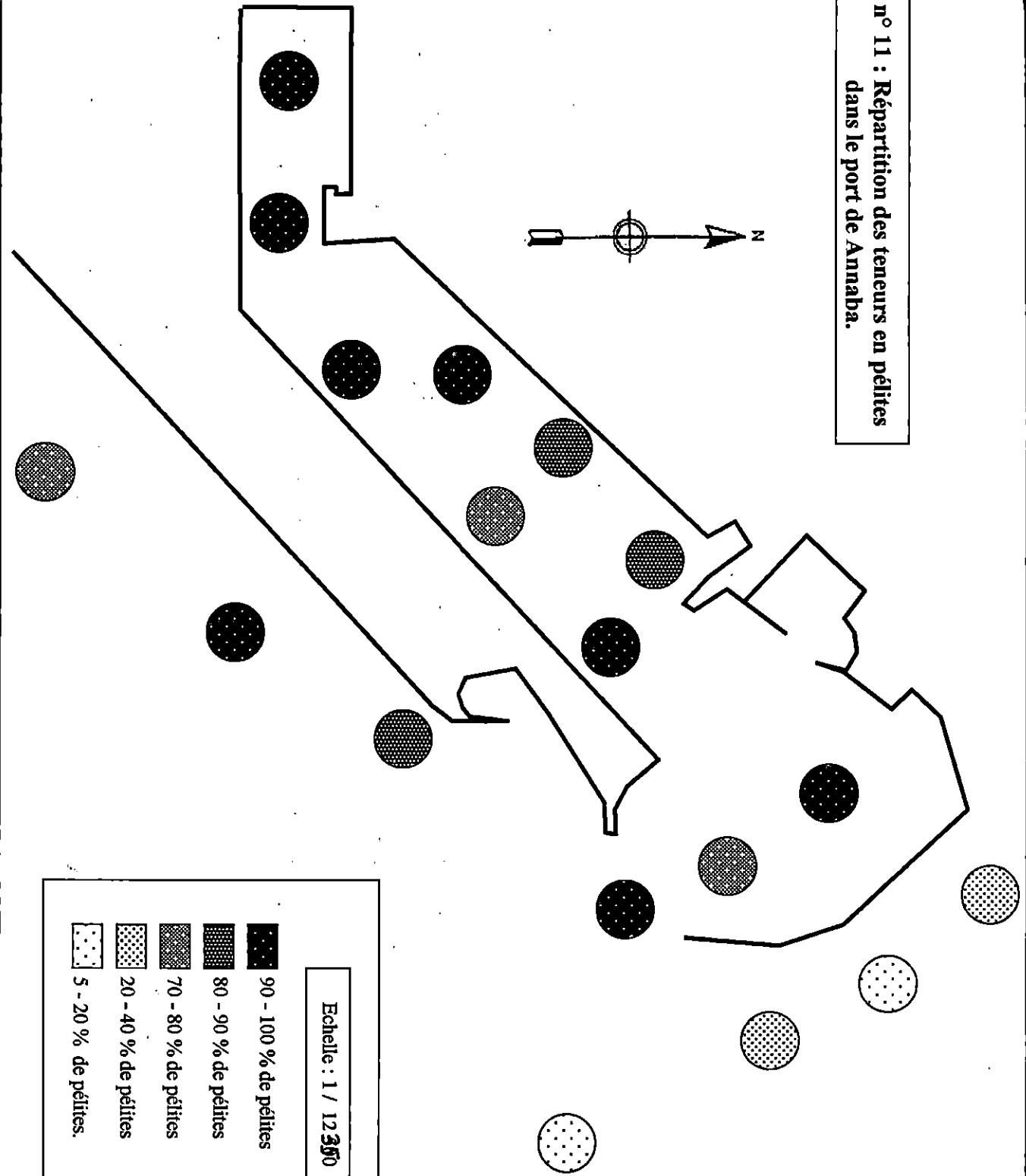
1.2.1 – Les histogrammes de fréquences et les courbes cumulatives (Fig. 11) :

Hormis les stations 14, 18 et 20 toutes les stations sont hétérogènes. Elles comprennent une gamme de grains allant de 0,1 mm à 0,5 mm. Par ailleurs, toutes les courbes cumulatives sont bimodales et se divisent en 4 groupes selon leurs médianes.

Tableau n° 1 : Résumé des résultats granulométriques.

Stations	Profondeur (m)	% C	% MO	Pérites (%)	Q ₅₀	Q ₂₅	Q ₇₅	P ₁₀	P ₉₀	So	Slk	Observations
1	8	31,89	8,41	100								Vase très organogène
2	8	42,48	7,66	100								Vase très organogène
3	8	37,28	8,67	100								Vase très organogène
4	8	31,7	4,86	100								Vase très organogène
5	8	32,52	7,77	79,45	0,221	0,390	0,118	0,816	0,102	0,303	0,941	Vase sableuse très organogène
6	10	32,96		82,31	0,211	0,354	0,114	0,801		0,322	0,906	Vase sableuse très organogène
7	15	32,56	6,98	100								Vase très organogène
8	14	23,1		82,05	0,146	0,226	0,107	0,340	0,082	0,473	1,134	Vase sableuse très organogène
11	14	36	10,80	100								Vase très organogène
12	14,9	50,64		77,69	0,499	1,086	0,260		0,123	0,239	1,134	Vase sableuse très organogène
13	14,8	33,84	7,89	100								Vase très organogène
14	18,5	22,2	3,90	20,79	0,116	0,185	0,104	0,273	0,090	0,562	1,430	Sable très fin peu vaseux homogène très organogène
15	17,5	23,1		6,89	0,197	0,263	0,119	0,355	0,106	0,452	0,806	Sable fin homogène très organogène
16	18	31,88		39,61	0,201	0,309	0,123	1,123	0,106	0,398	0,941	Sable fin vaseux très organogène
17	19	33,2	1,99	11,18	0,216	0,309	0,124	0,455	0,105	0,401	0,821	Sable fin hétérogène très organogène
18	15	31,66		87,05	0,111	0,124	0,096	0,280	0,082	0,774	0,966	Vase très organogène
19	12,5	33,52		100,00								Vase très organogène
20	13,5	36,56	5,57	72,64	0,110	0,122	0,098	0,788	0,086	0,807	0,984	Vase organogène
Moy	13,15	33,17	6,77	75,54	0,203	0,337	0,126	0,581	0,098	0,473	1,006	
Min	8,00	22,20	1,99	6,89	0,110	0,122	0,096	0,273	0,082	0,239	0,806	
Max	19,00	50,64	10,80	100	0,499	1,086	0,260	1,123	0,123	0,807	1,430	

Carte n° 11 : Répartition des teneurs en pérites dans le port de Annaba.



Echelle : 1 / 12350

	90 - 100 % de pérites
	80 - 90 % de pérites
	70 - 80 % de pérites
	20 - 40 % de pérites
	5 - 20 % de pérites.

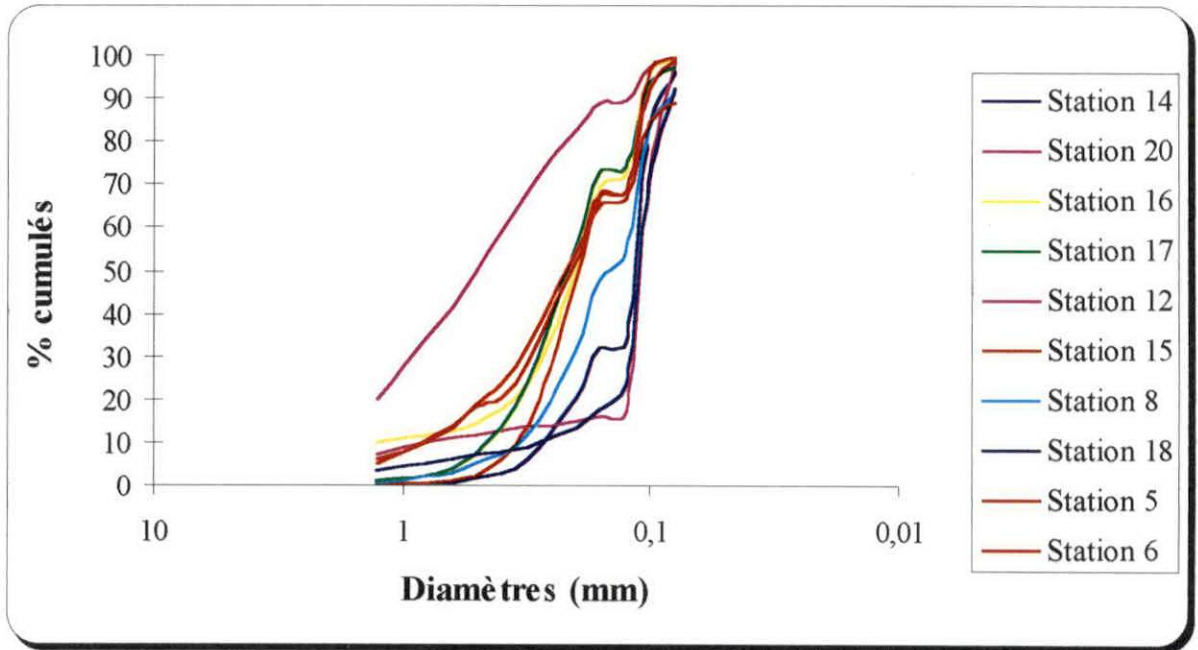


Fig. 11 : Courbes cumulatives des différentes stations du port de Annaba.

1.2.2 – La médiane (carte n°12) :

Les médianes varient entre 0,110 mm et 0,5 mm avec une moyenne de 0,2 mm. A l'intérieur du port, les stations 5 et 6 ont des médianes respectivement de 0,4 et 0,35 mm alors que la station 8 ne dépasse pas les 0,23 mm. Par ailleurs, la station 12 à l'entrée de l'avant port a une médiane de 0,5 mm. Toutes les autres stations ont une médiane inférieure à 0,08 mm vu leur teneur en fraction fine et ne seront dorénavant plus citées.

A l'extérieur, la station 14 a une médiane de 0,12 mm, les stations 15, 16 et 17 ont respectivement 0,2 mm, 0,2 mm et 0,22 mm de médiane. Les stations 18 et 20 ont une médiane de 0,11 mm, la station 19 une médiane inférieure à 0,08 mm.

1.2.3 – Les quartiles (cartes n° 13 et 14) :

• **Le quartile inférieur (Q_{25}) :**

A l'intérieur, les stations de la grande darse ont un Q_{25} entre 0,3 et 0,4 mm. Près de la passe Babayaud, la valeur est de 0,26 mm et à l'entrée l'avant port un maximum de 1 mm. Au nord du port, la valeur est de 0,19 mm. Cette valeur augmente en allant vers le sud-est pour atteindre 0,3 mm à la station 17. Le sud du port affiche des quartiles inférieurs de 0,12 mm.

• **Le quartile supérieur (Q_{75}) :**

A l'intérieur de la grande darse, ils sont de 0,11 mm. Le maximum est toujours pour l'avant port avec un Q_{75} de 0,26 mm. Il est de 0,1 mm au nord immédiat du port et augmente en allant vers le sud-est pour atteindre à la station 17 la valeur de 0,2 mm. Au sud, il est de 0,1 mm.

1.2.4 – Les déciles (cartes n° 15 et 16) :

• **Le décile inférieur (P_{10}) :**

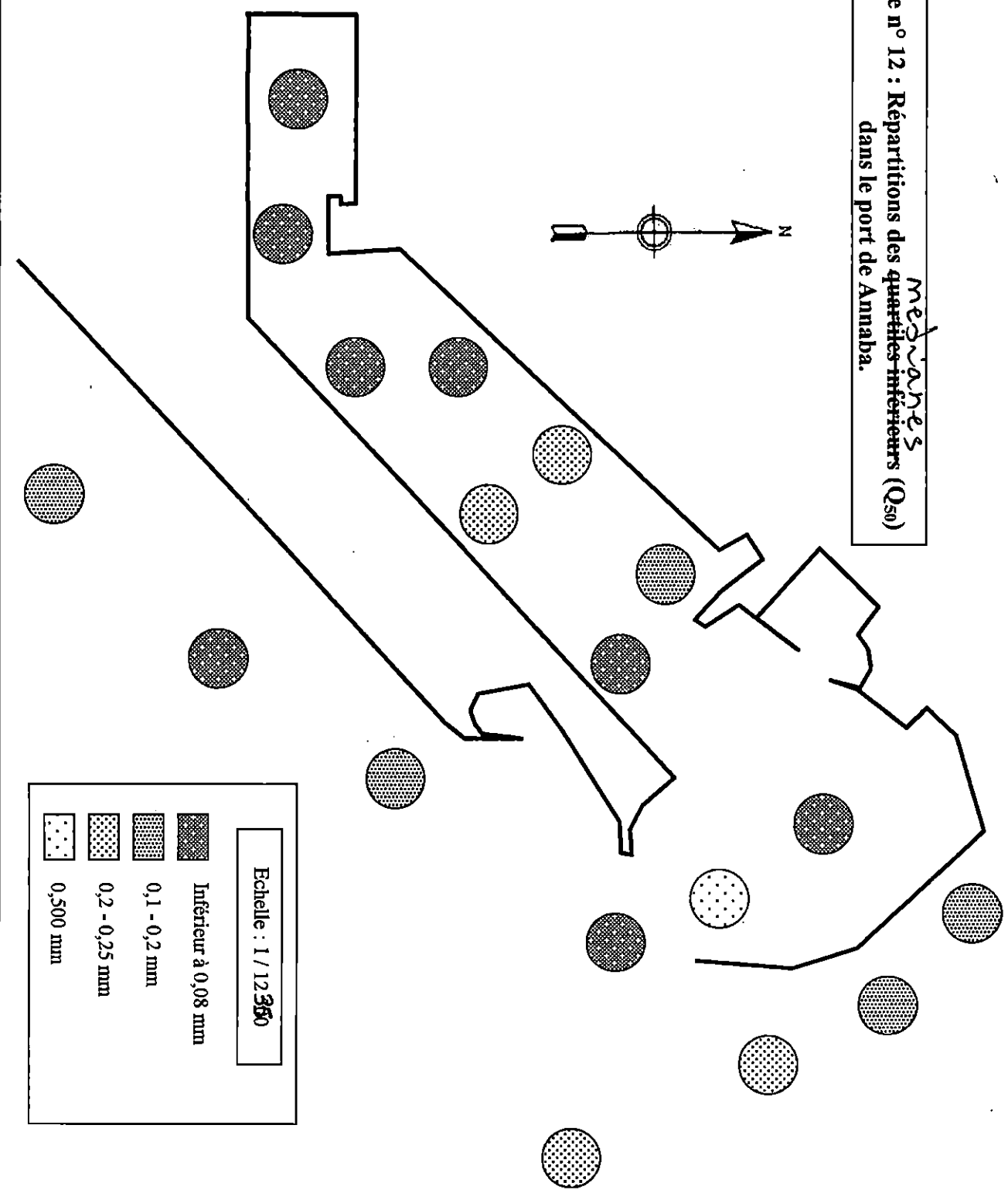
L'intérieur de la grande darse a un P_{10} de 0,8 mm alors que près de la passe Babayaud, cette valeur atteint les 0,34 mm. Il est supérieur à 1,25 mm à l'avant port.

Le nord immédiat a un P_{10} de 0,28 mm, il atteint les 1,12 mm à la station 16 puis diminue à la station 17 où il est 0,5 mm. Au sud immédiat du port, il est de 0,28 mm. A l'extrémité, il est de 0,79 mm.

• **Le décile supérieur (P_{90}) :**

La grande darse a un P_{90} de 0,1 mm près de la jetée sud. Il est de 0,082 mm près de la passe Babayaud et de 0,12 mm à l'avant port. Au nord immédiat du port, il est de 0,09 mm. Il augmente pour atteindre 0,1 mm à la station 17 puis diminue pour avoisiner les 0,08 mm au sud du port.

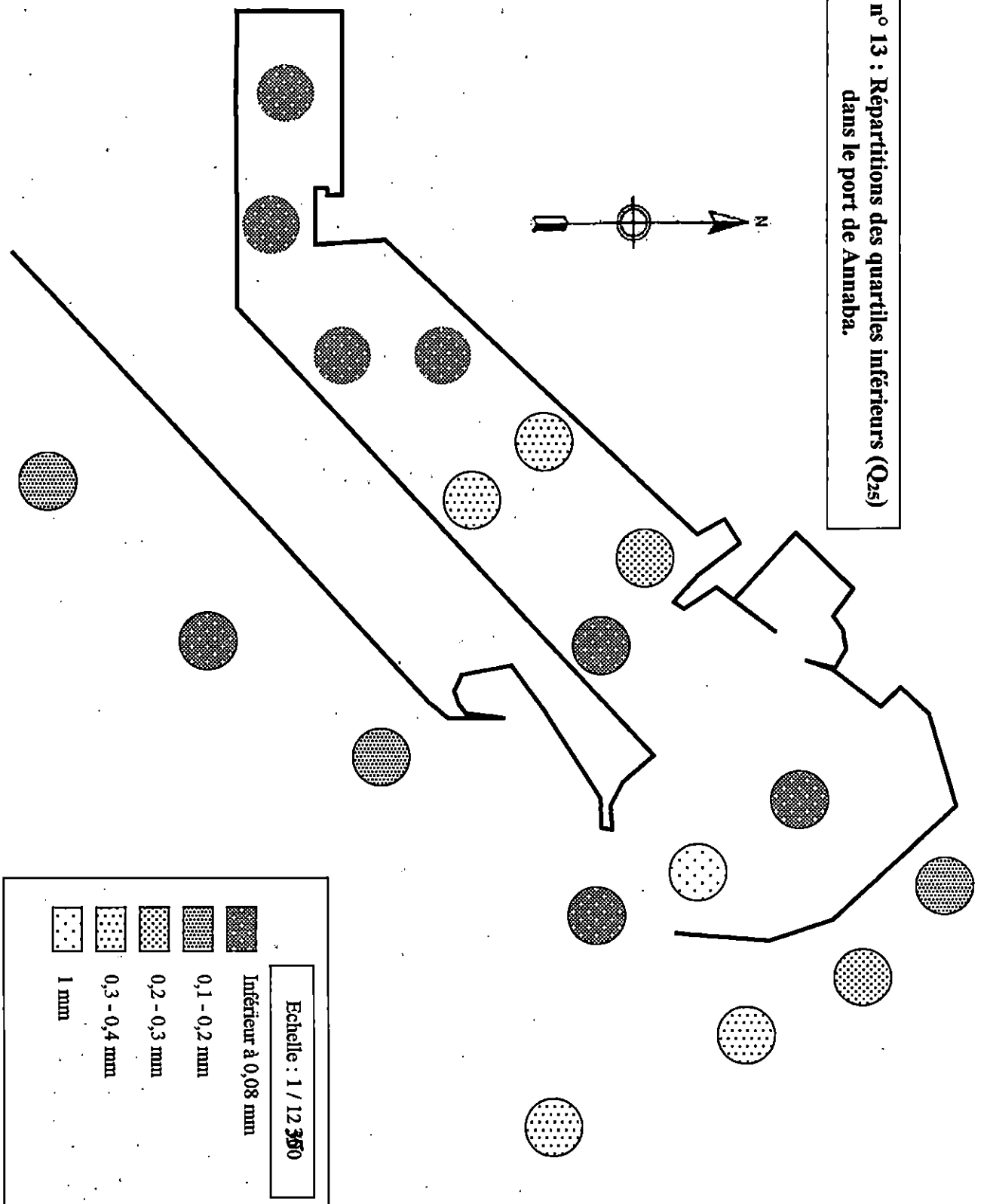
Carte n° 12 : Répartitions des *Medonhès* médianes inférieurs (Q_{50}) dans le port de Annaba.



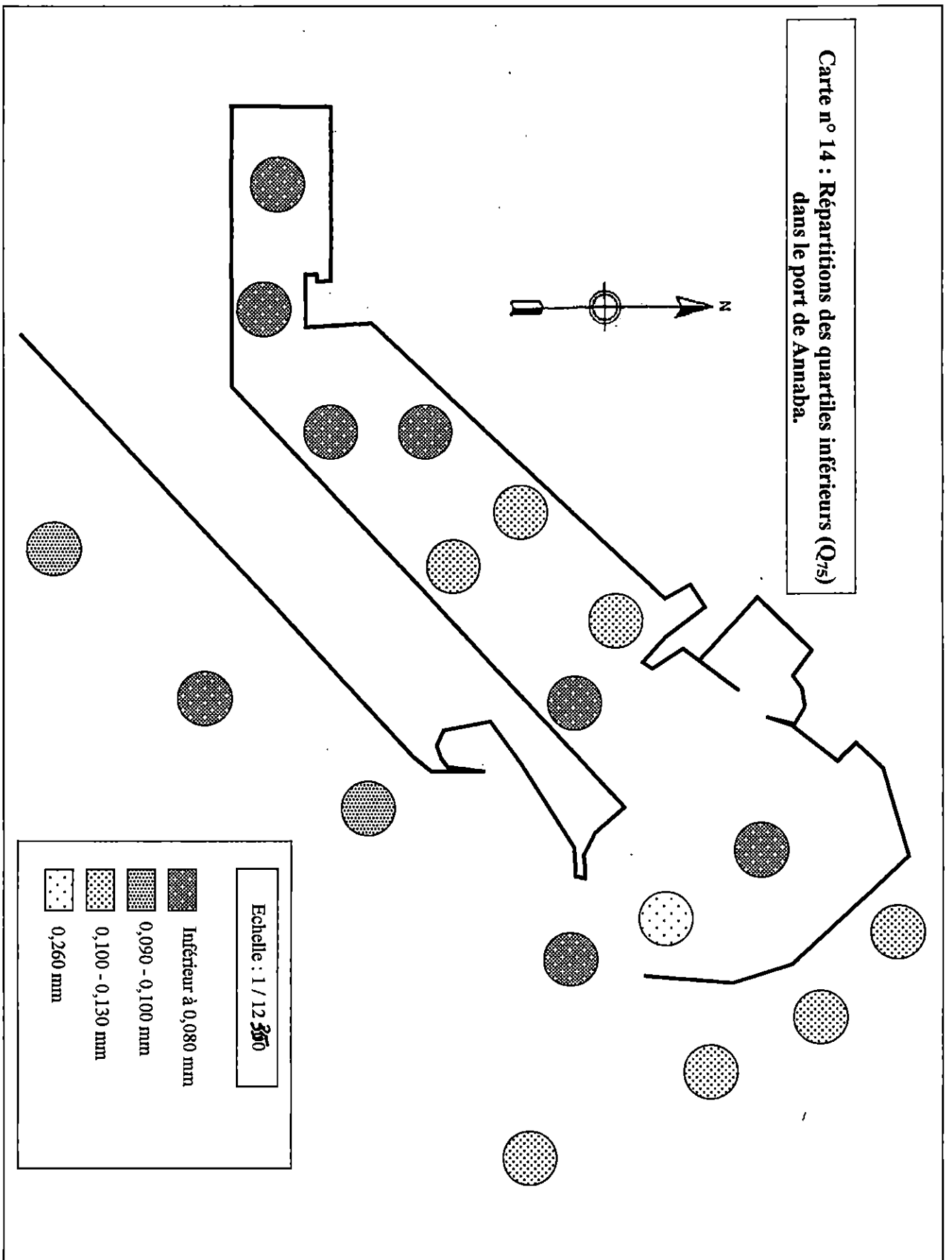
Echelle : 1 / 12 360

	Inférieur à 0,08 mm
	0,1 - 0,2 mm
	0,2 - 0,25 mm
	0,500 mm

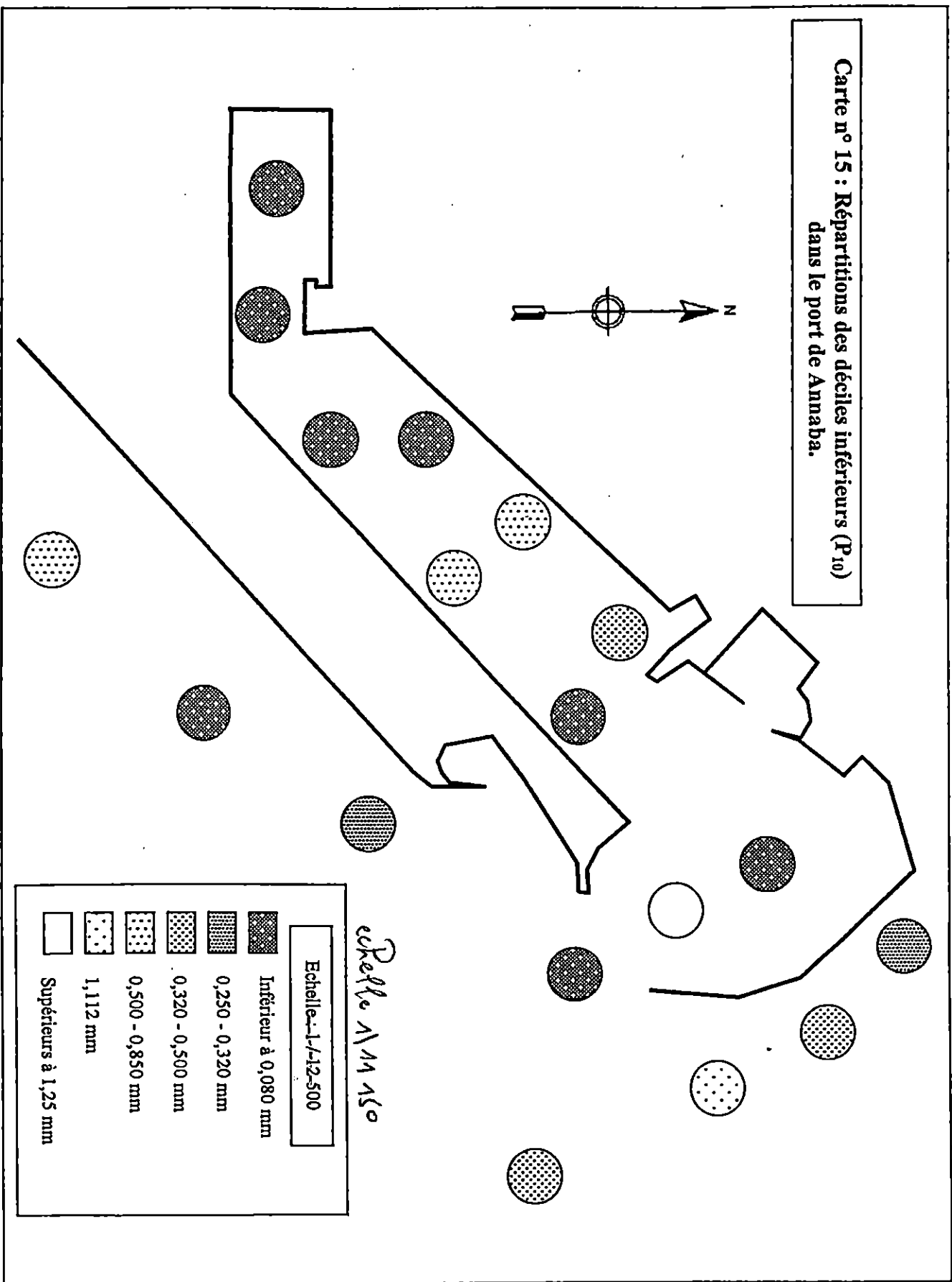
Carte n° 13 : Répartitions des quartiles inférieurs (Q₂₅) dans le port de Annaba.



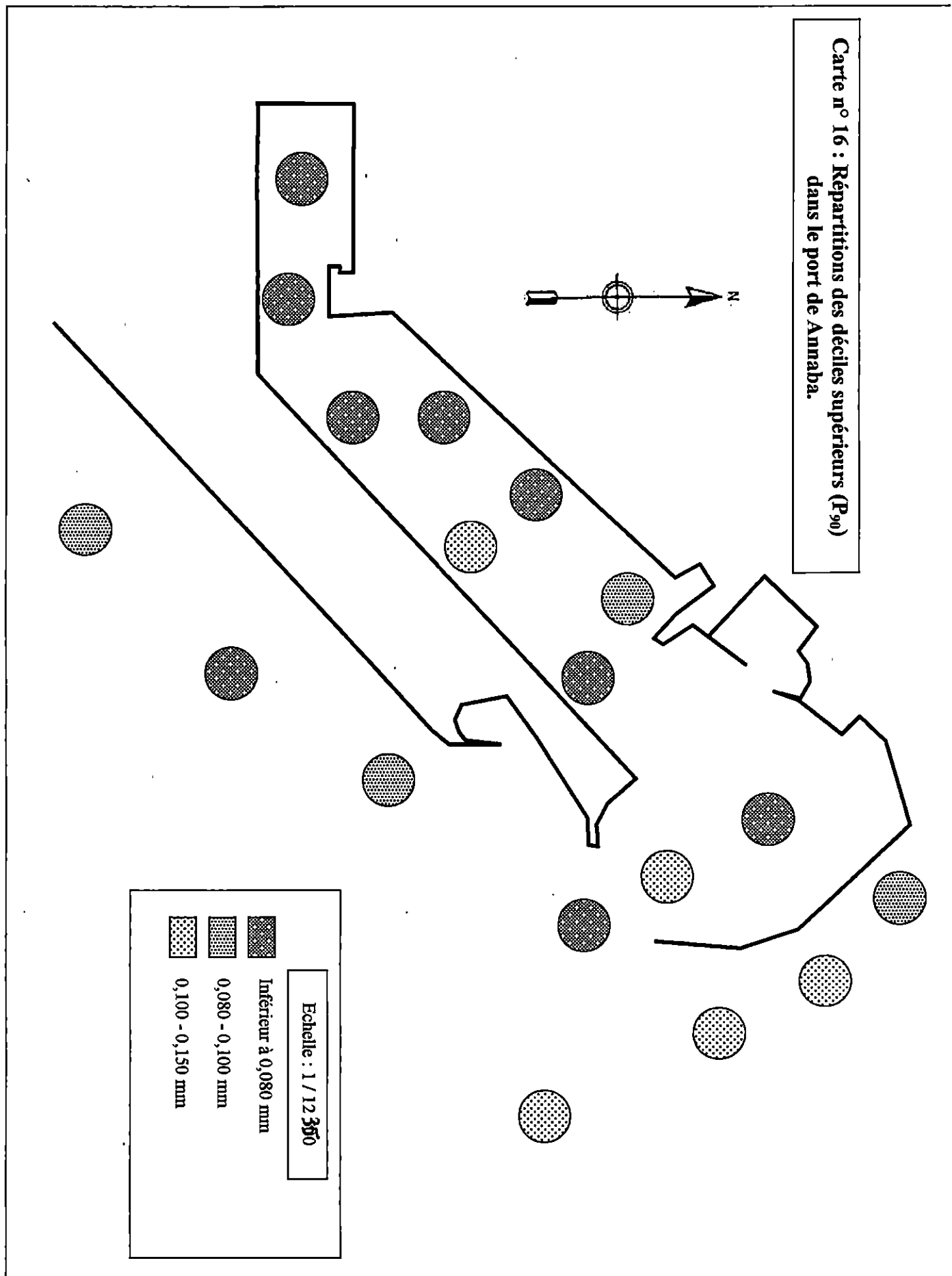
Carte n° 14 : Répartitions des quartiles inférieurs (Q_1 's)
dans le port de Annaba.



Carte n° 15 : Répartitions des déciles inférieurs (P₁₀) dans le port de Annaba.



Carte n° 16 : Répartitions des déciles supérieurs (P₉₀) dans le port de Annaba.



1.2.5 – Les indices granulométriques :

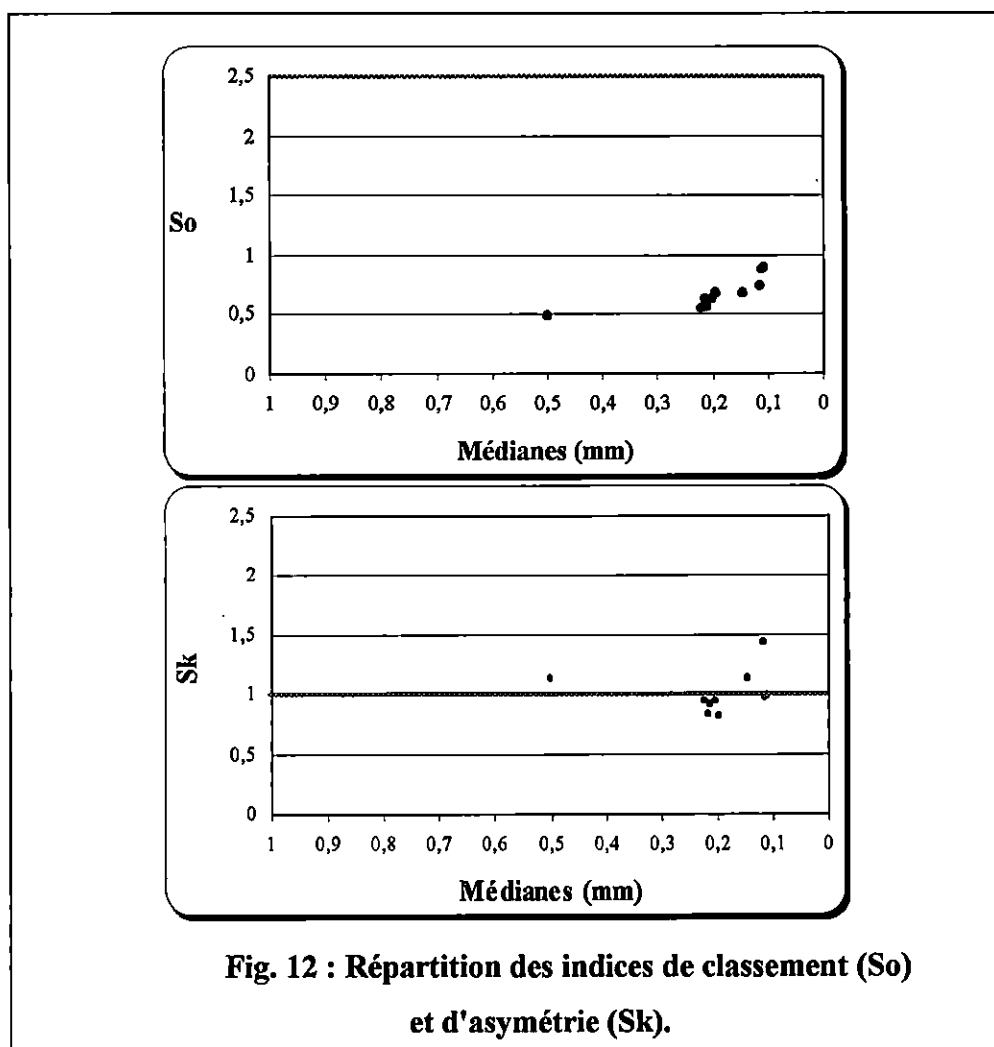


Fig. 12 : Répartition des indices de classement (S_o) et d'asymétrie (S_k).

L'indice de classement varie entre 0,633 et 0,9 pour toutes les stations. L'indice d'asymétrie est inférieur à 1 excepté pour les stations 8, 12 et 14.

Toutes les stations ont donc un sédiment très bien classé et une asymétrie du côté grossier à la médiane, sauf les stations 8, 12 et 14, qui ont une asymétrie du côté fin.

1.2.6 – Répartition des modes granulométriques :

Sur les stations étudiées, quatre modes granulométriques sont relevés : les modes 100, 160, 200 et 250. Les deux premiers sont plus présents que les derniers.

a – Le mode 100 (carte n° 17) :

Les pourcentages de ce mode sont très élevés au nord immédiat du port (50 %). Ils diminuent en allant vers le Sud-est pour atteindre les 20 % à la station 17. Ils augmentent au sud pour arriver au maximum à la station 20 avec 56 %.

A l'intérieur du port, il est présent au niveau de l'entrée et une partie de la grande darse avec des pourcentages de 15 à 30 %.

b - Le mode 160 (carte n°18) :

Au Nord immédiat du port, ce mode a un pourcentage de 11,5 %. Il a un pourcentage de 17 - 20 % un peu plus bas et au Sud, il ne dépasse pas les 5 %.

A l'intérieur du port, il ne dépasse pas les 7 % à l'entrée du port. Il est plus présent près de la passe Babayaud dans la grande darse où il a un pourcentage de 16 %. Plus à l'intérieur il a des pourcentages de l'ordre de 13 %.

c - Le mode 200 (carte n°19) :

Au Nord immédiat du port, ce mode a un pourcentage de 9 % qui augmente juste après à la station 15 et atteint les 20 %. Il diminue en allant vers le sud, il est de 17 % à la station 17 et 1 % à la station 20.

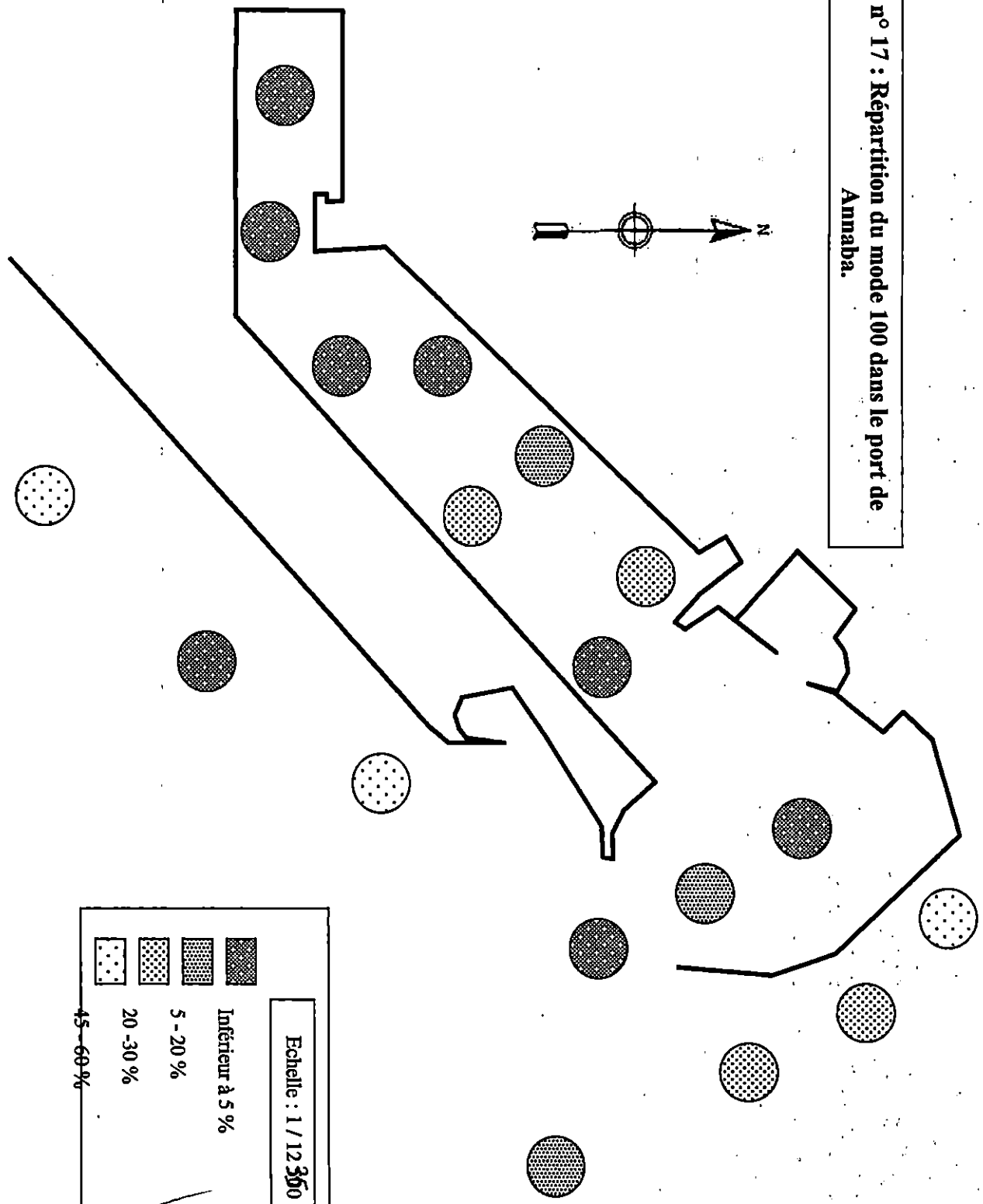
A l'intérieur, l'avant port a un pourcentage de 7 % qui augmente pour atteindre les 12,5 % à la station 6.

d - Le mode 250 (carte n° 20) :

Ce mode a un pourcentage de 6 % à la station 14. Ce pourcentage augmente juste après pour avoir 14 % à la station 15 et 15 % à la station 17. Cependant, la station 16 affiche un 10 % en mode 250. Au Sud les valeurs ne dépassent pas les 2 %.

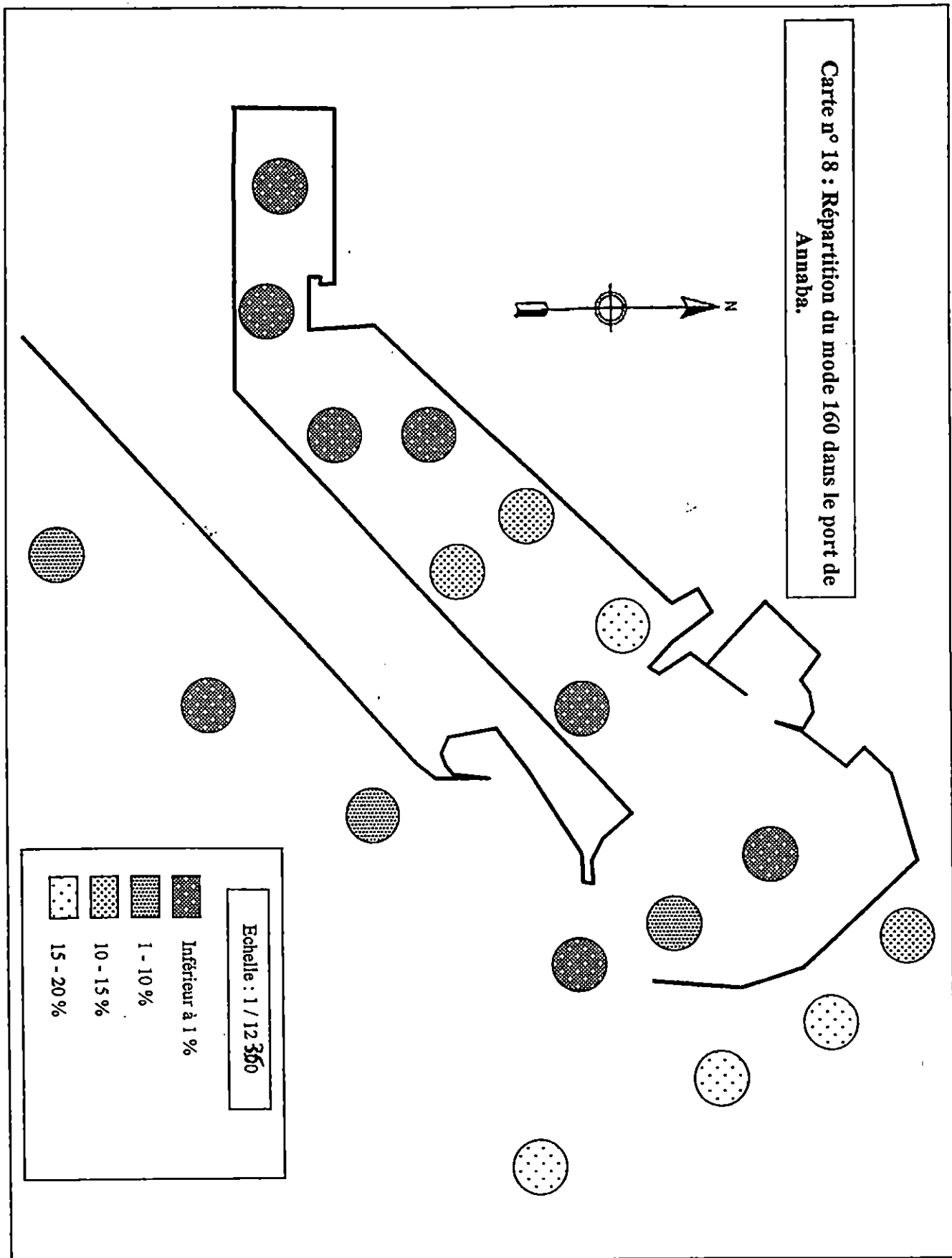
A l'intérieur, il est à un pourcentage de 7 % à l'entrée du port et à la passe Babayaud et de 11 % à la grande darse.

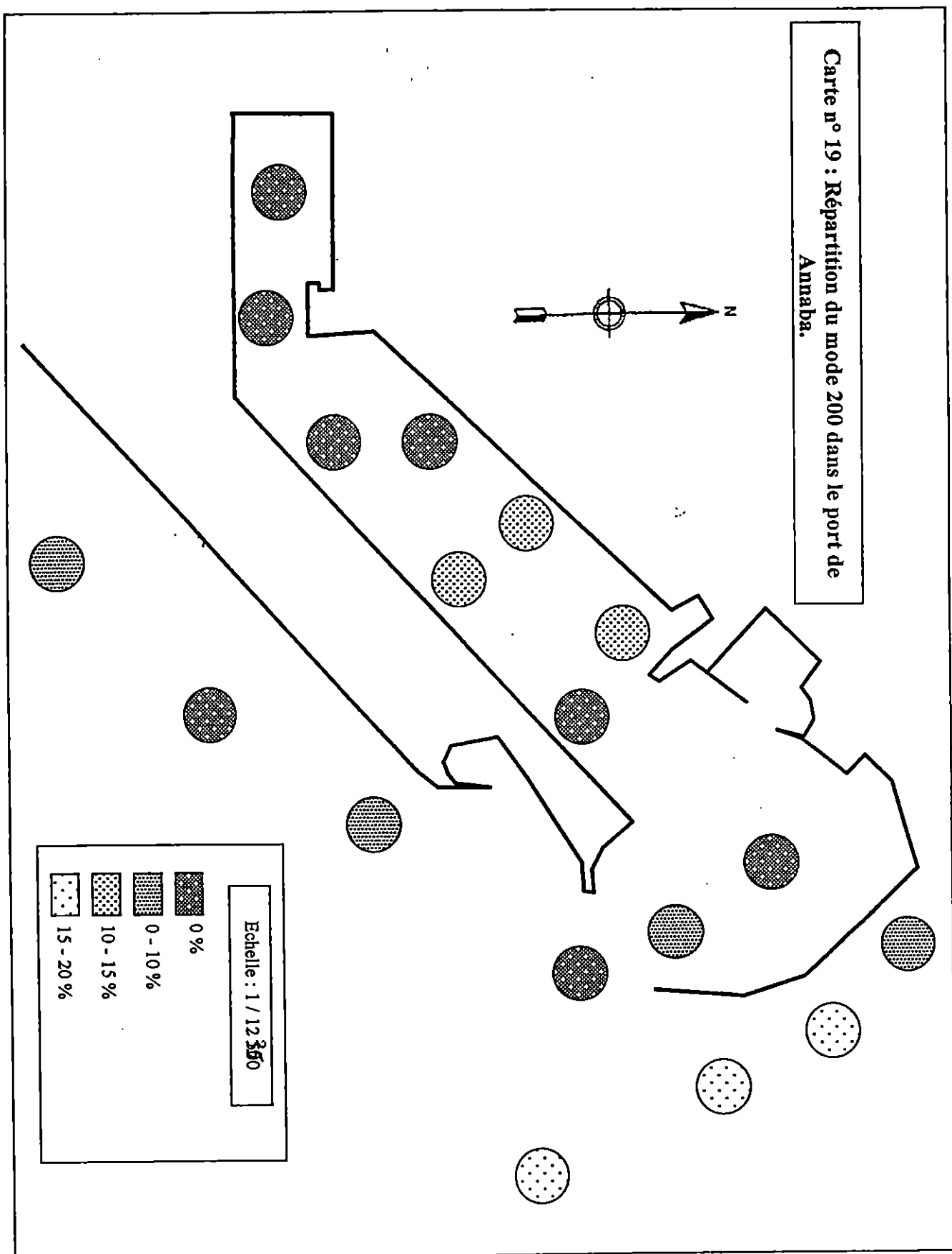
Carte n° 17 : Répartition du mode 100 dans le port de Annaba.

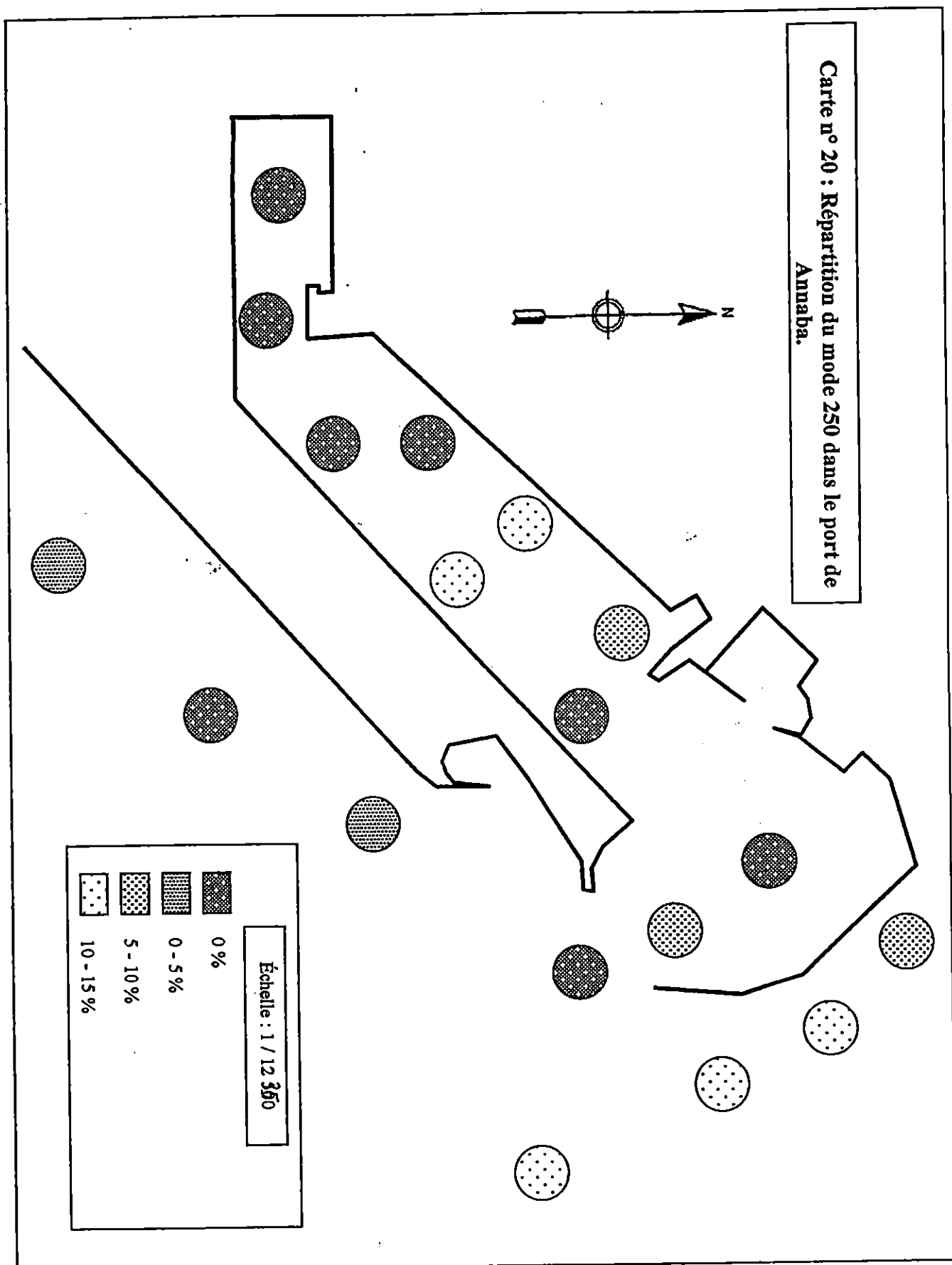


Echelle : 1 / 12 500

■	Inférieur à 5 %
▨	5 - 20 %
▩	20 - 30 %
◉	45 - 60 %







2 – Les carbonates (carte n° 21) :

Les valeurs des carbonates sont comprises entre 20 et 45 %. Elles ont une moyenne de 33 % et un pic de 50,6 % à la station 12. Les sédiments de l'avant port ont un taux en carbonate supérieur à 35 %. Ceux de la grande et petite darse, de 25 – 35 % sauf au niveau du môle cigogne où il est similaire à l'avant port.

A l'extérieur, les stations du nord-est ont un taux inférieur à 25 %. A l'est et jusqu'au sud, les valeurs sont comprises entre 25 et 35 % sauf la dernière station où le taux est de 36%.

Ces valeurs montrent un sédiment dont la fraction carbonatée est importante et d'une certaine similitude à l'intérieur et extérieur du port.

3 – La matière organique (carte n° 22) :

En se basant sur les résultats obtenus par R. ZITOUNI et N. AINOUCHE, les valeurs sont comprises entre 2 et 11 % avec une moyenne de 6,77 %.

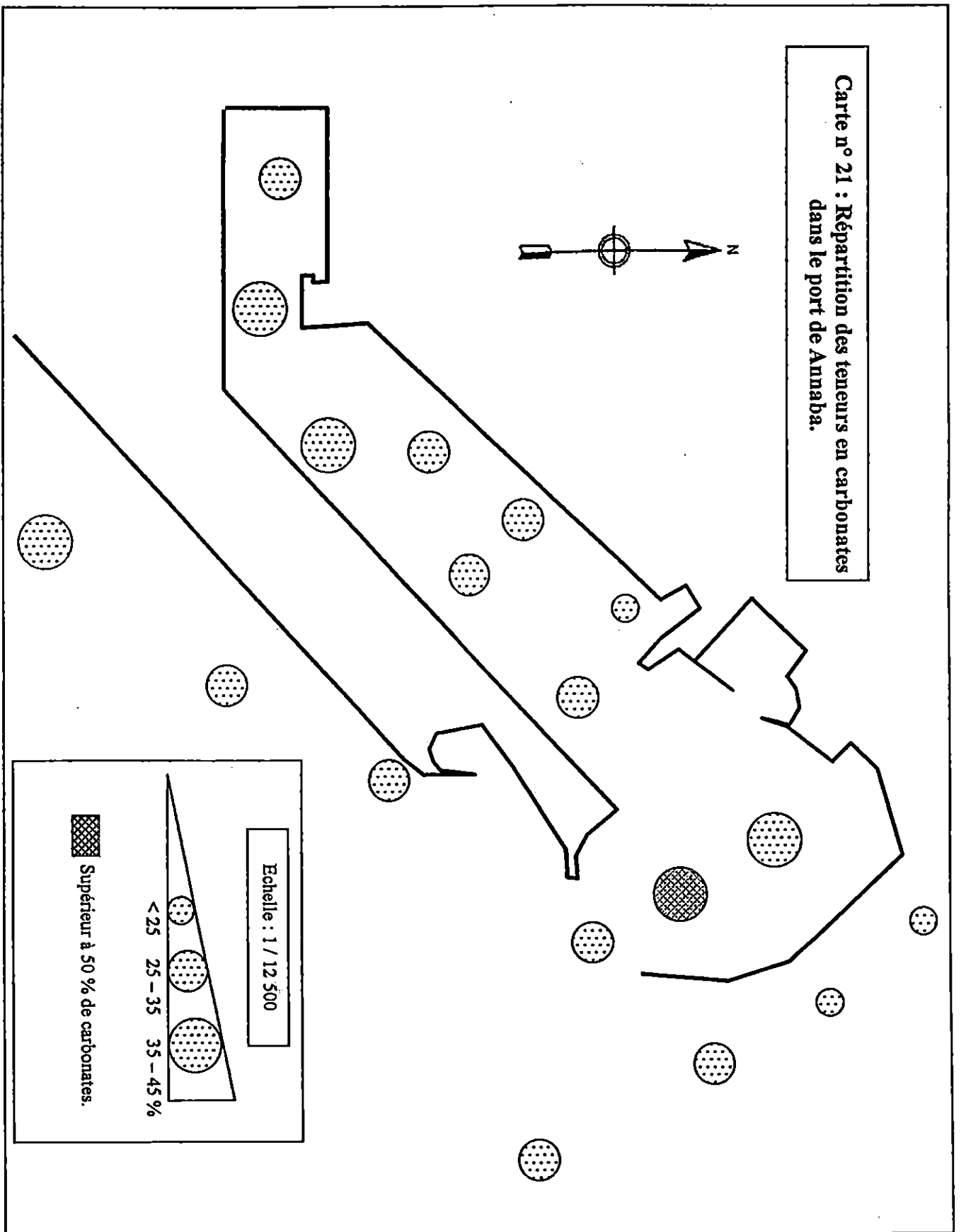
Dans tout le port, le taux de fraction organique est compris entre 7 et 9 %, exception faite pour une station à la grande darse (St 4) où il est de 4,86 %. Un pic à l'avant port (St 11) de 10,8 % est à signaler. Au Nord et au Sud du port, les valeurs sont comprises entre 3 et 7 % et à son Est, le taux est le moins élevé (1,99 %).

Ces taux élevés indiquent que le milieu étudié est anoxique ce qui traduit une pollution des sédiments. Ceci dit, il est utile de retenir ces chiffres pour une comparaison postérieure avec ceux réalisés par le METAP. Cela donnera une idée sur l'état de pollution dans le port.

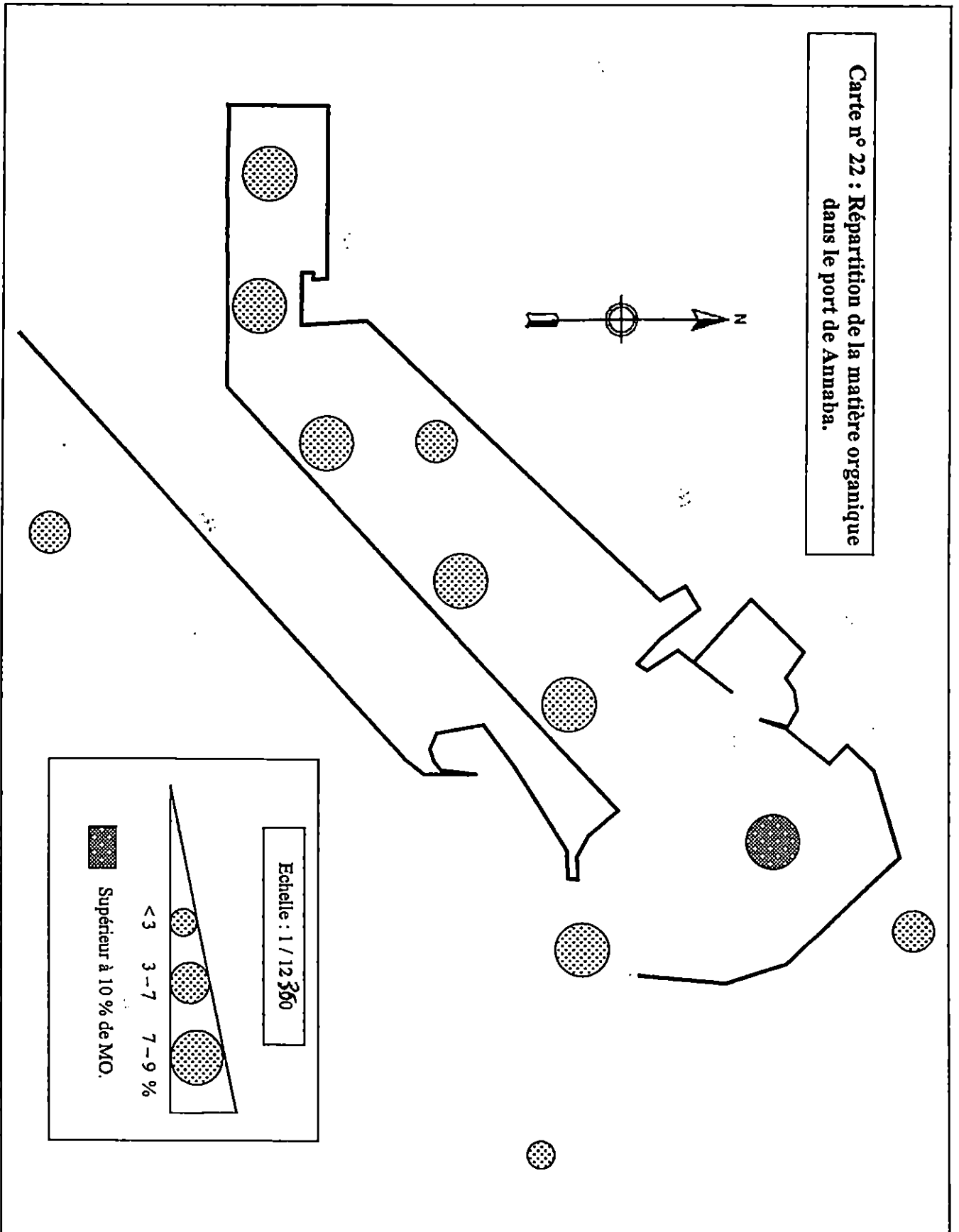
II - La bathymétrie (carte n° 23) :

La bathymétrie à l'intérieur du port se résume comme suit :

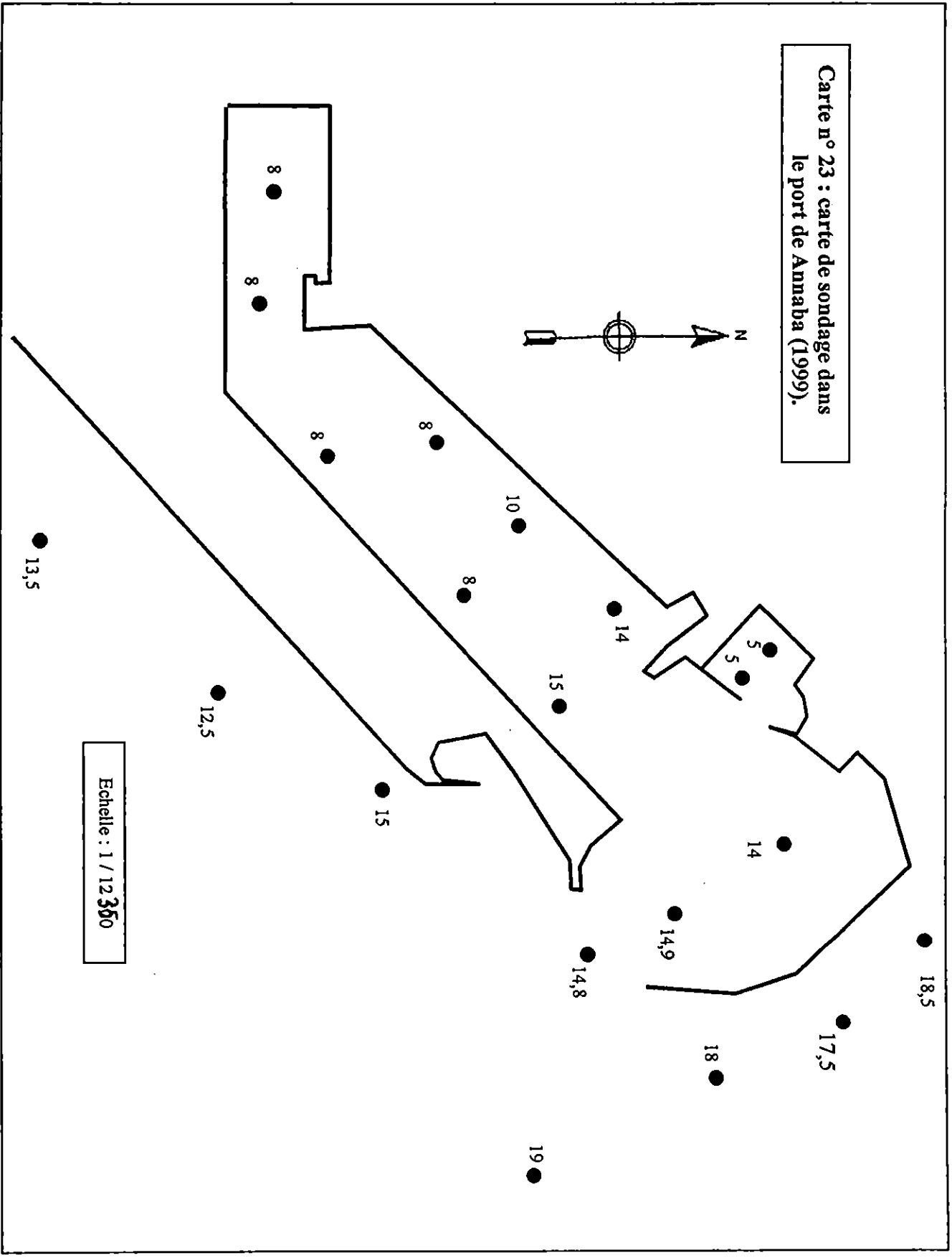
- L'avant port a une profondeur moyenne de 14,6 m ;
- L'entrée de la grande darse a une moyenne bathymétrique de 14,5 m ; cette valeur diminue nettement un peu plus à l'intérieur et atteint les 8,5m.
- La petite darse a une moyenne de 8 m de profondeur.



Carte n° 22 : Répartition de la matière organique dans le port de Annaba.



Carte n° 23 : carte de sondage dans le port de Annaba (1999).



Echelle : 1 / 12 350

Conclusion :

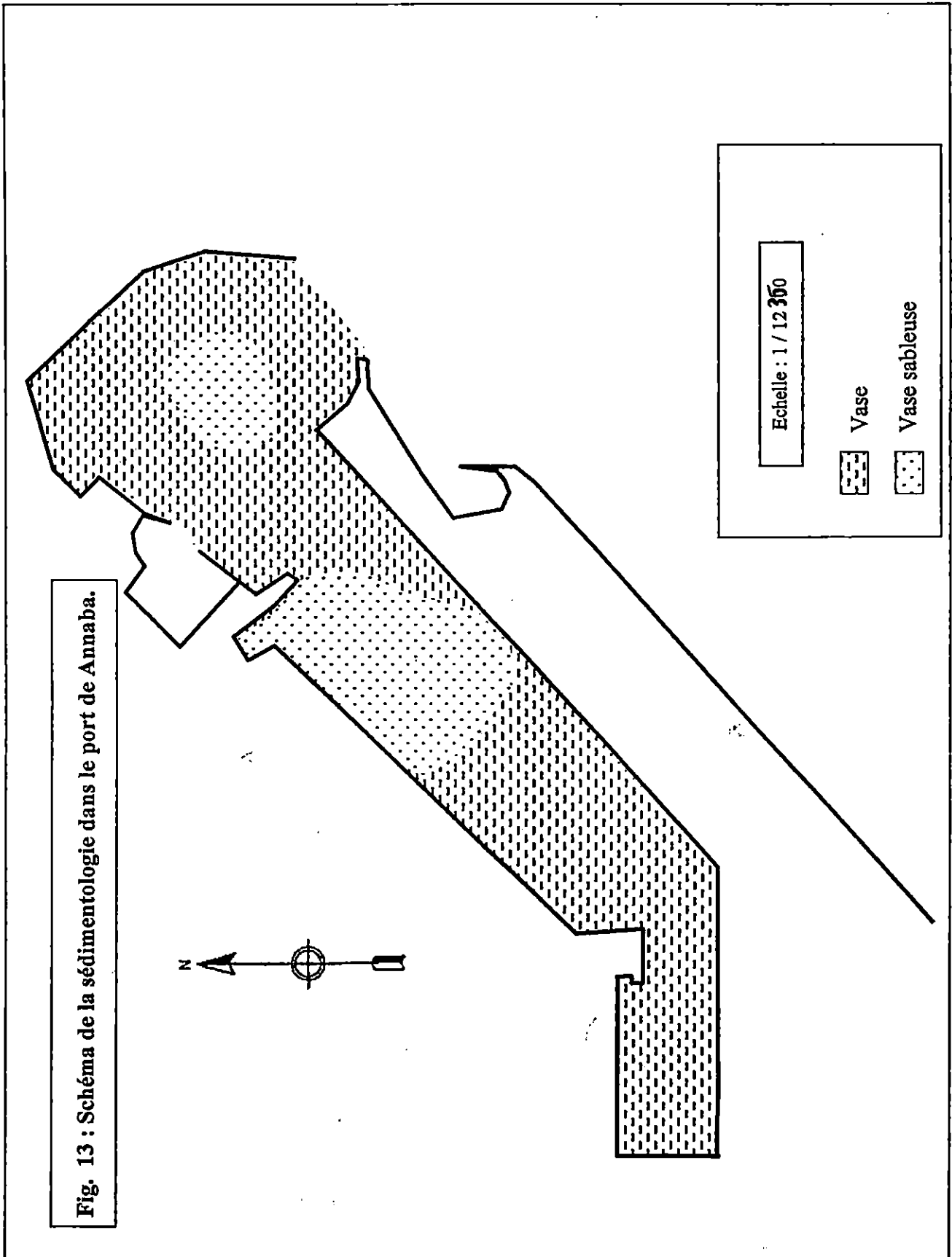
D'après ce qui précède, la sédimentologie de la zone étudiée se résume comme suit :

- Un stock de vase s'élargissant sur toute la zone portuaire et s'étendant vers son sud-est dont les fractions carbonatée et organique y sont très importantes ; ce stock est néanmoins le siège d'accumulations de sable hétérogène assez grossier à l'avant port et de sable moyen hétérogène à la grande darse (Fig. 13) ;
- Un stock de sable fin situé au Nord immédiat du port dont les fractions carbonatée et organique y sont moins importantes ; plus au sud-est il devient du sable moyen hétérogène organogène et peu organique ;
- Un stock de vase sableuse au Sud port et dont les fractions carbonique et organique y sont assez importantes.

Par ailleurs, l'analyse modale ainsi que les résultats des carbonates suggère une communication entre l'extérieur et l'intérieur du port. Ainsi, si on compare nos résultats avec ceux de HARRAT (1990), des grains de 0,1 à 0,250 mm de diamètre sont entrés jusqu'au niveau de la grande darse et peut être plus loin.

D'autre part, les taux élevés de la matière organique indique une pollution du milieu considéré.

La bathymétrie révèle une élévation nette des fonds de la petite et grande darses. L'avant port, quant à lui, a subi une légère érosion.



CHAPITRE IV : APERCU SUR L'ETAT DE POLLUTION PAR LES MÉTAUX LOURDS DANS LES SÉDIMENTS DU PORT DE ANNABA

1 - INTRODUCTION.

2 - Généralités.

3 - Sources de pollution dans le port de Annaba.

3.1 - Pollution industrielle.

3.2 - Pollution domestique.

4 - La matière organique.

5 - Métaux et concentrations.

5.1 - Le mercure.

5.2 - Le plomb.

5.3 - Le cadmium.

5.4 - Le zinc.

5.5 - Le cuivre.

5.6 - Le chrome.

CONCLUSION.

1 - Introduction :

Nous aurions souhaité faire les analyses des métaux lourds sur les différents échantillons récupérés mais un problème d'ordre INTERNE est aller contre nos souhaits. Aussi, pour une meilleure connaissance de la qualité des sédiments à extraire, nous essaierons d'exposer les résultats obtenus par le METAP (1994).

Afin d'une approche de la pollution par les métaux lourds des sédiments du port, nous comparerons nos résultats de la matière organique et ceux obtenus par le METAP. Connaissant l'étroite relation entre celle-ci et les métaux lourds, nous aurons un aperçu sur l'état actuel des différentes concentrations en métaux lourds.

Le positionnement des stations et les concentrations du mercure, du plomb, du cadmium, du zinc, du cuivre et du chrome dans les sédiments du port de Annaba obtenues par le METAP en 1994 sont exposés dans les figures 14, 15 et 16. A travers ces résultats, nous utiliserons les normes hollandaises et algériennes pour évaluer l'éventualité de rejets en mer des sédiments portuaires dragués.

Mais avant cela, présentons ces métaux et leurs sources dans le port de Annaba.

2 - Généralité :

Les métaux dont le numéro atomique est élevé sont appelés les *métaux lourds*. Ils se subdivisent en deux grands groupes : ceux essentiels au développement du métabolisme et ceux non essentiels. Ceux qui sont les plus fréquemment rencontrés et qui sont aussi les plus dangereux sont : le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le plomb et le zinc. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants et, par conséquent, dans la chaîne trophique. Ainsi, les plus exposés à leurs dangers se trouvent être les prédateurs dont l'homme fait bien entendu parti (J. MAYET, 1994).

3 - Sources de pollution dans la région de Annaba :

La région de Annaba connaît deux sources de pollution :

3.1 - Pollution industrielle :

Les activités industrielles contribuant à l'état de pollution portuaire se représentent dans les complexes et installations suivantes (ABDICHE et DOUDOU, 1998) :

- Complexe d'engrais ASMIDAL (engrais azotés et phosphatés) ;
- Complexe SIDER (sidérurgie, métallurgie et aciérie) ;
- Industrie alimentaire ORELAIT ;
- Entreprise de production végétale et de savon ENCG ;
- Brasserie et limonaderie EMIB ;
- Industrie alimentaire TOMACOOOP ;
- Unité métallurgique FERROVIAL ;
- Traitement de surface PROMETAL ;
- Limonaderie HYDRO-CANAL ;
- Société d'électricité et de gaz SONELGAZ.

Ceci étant, le nombre de rejets se déversant à l'intérieur même du port est de 10 (Fig.14). La petite darse en compte 6 d'eaux de pluies, d'eaux usées et ceux provenant des unités FERPHOS, ASMIDAL, NAFTAL et la centrale électrique. La grande darse en compte également 4, 2 au niveau du quai Nord et 2 au quai Sud. La grenouillère voit se déverser un rejet d'eaux de pluies, eaux usées et industrielles de l'unité ENCG (ABDICHE et DOUDOU, 1998).

D'autre part, les alentours du port subissent également une contamination engendrée par les complexes SIDER d'EL Hadjar et ASMIDAL. Les déversements se font directement en mer ou par l'intermédiaire des Oueds Meboudja et Boudjemaa respectivement (ABDICHE et DOUDOU, 1998).

3.2 - Pollution domestique :

La Wilaya de Annaba héberge 600 000 h dont 85 % se localise dans son agglomération. Le volume d'eaux usées a été estimé à 1100 - 1200 l/s (ABDICHE et DOUDOU, 1998) se déversant essentiellement dans les Oueds Seybousse et Boudjemaa.

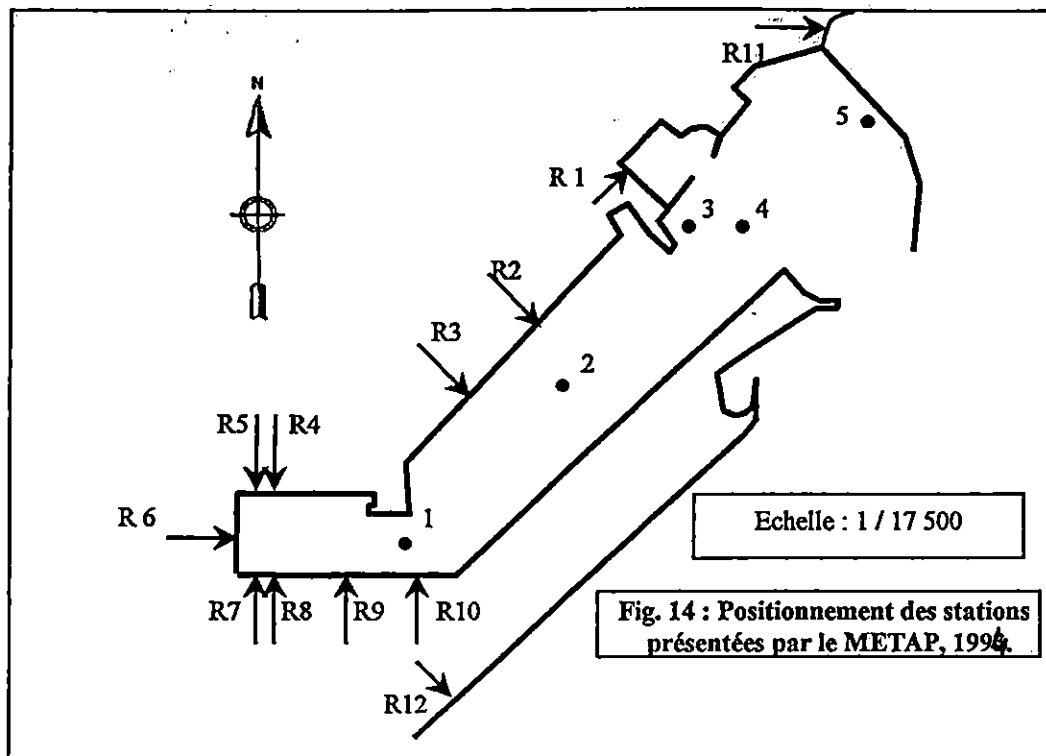


Tableau n° 2 : Les normes hollandaises et algériennes pour l'évaluation des pollutions présentes dans les sédiments des ports (mg/kg MS). METAP, 1993.

Limites	Normes hollandaises			Normes algériennes *
	A	B	C	
Cd	0,8	7,5	30	3
Cr	100	480	1 000	250
Cu	36	90	400	150
Hg	0,3	1,6	15	1,5
Pb	85	530	1 000	250
Zn	140	1 000	2 500	500

* : Recommandations des services de l'environnement concernant les immersions des déblais de dragage provenant des enceintes portuaires (09 novembre 1991; ministère délégué à la recherche, à la technologie et à l'environnement).

Tableau n° 3 : Concentrations des métaux lourds dans les sédiments du port de Annaba en mg/kg MS (METAP, 1994).

Stations	P (m)	PS (cm)	M _{ox} %	Hg*	Pb*	Cd *	Cu *	Zn *	Cr *
1	12	Surface	4,7	0,99	216	2,5	113	398	85
1	12	235	6,2	0,88	145	1,8	74	308	73
2	13,8	Surface	4,3	0,41	70	1,2	47	182	59
2	13,8	180	3,0	0,34	49	0,71	34	137	27
3	5,5	Surface	2,1	1,1	93	0,94	67	187	27
4	15	Surface	1,7	0,04	7,6	0,1	7,3	36	18
4	15	150	3,2	0,25	30	0,62	25	123	41
5	13	Surface	5,4	0,25	67	1,6	37	175	64

4 - La matière organique (Fig. 15) :

Elle est composée d'atomes de carbone associés à d'autres éléments, principalement : l'hydrogène, l'oxygène, et l'azote. Les composés organiques présentent une grande variété de molécules et ils sont conventionnellement classés en trois grandes familles : les glucides, les lipides et les protéines. Ils peuvent être naturels ou de synthèse et sont susceptibles de se décomposer par voie biologique suivant des cinétiques variables. Les produits de dégradation génèrent des composés intermédiaires qui peuvent parfois, présenter une certaine toxicité. Au stade ultime de décomposition, la matière organique est transformée en nutriments : azote, phosphore, gaz carbonique...

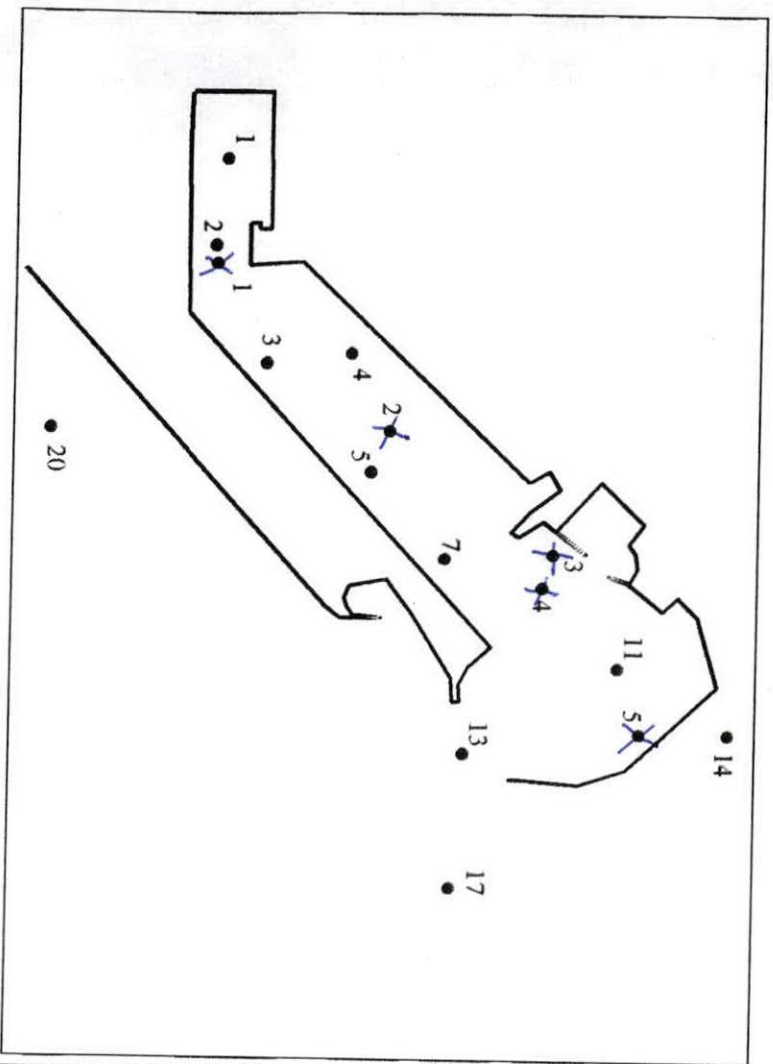
Ses sources dans le milieu marin sont nombreuses, les plus importants sont :

- Les rejets domestiques et urbains,
- Les rejets industriels,
- La décomposition d'animaux et de végétaux morts,
- Les activités agricoles (épandage, pesticides, fongicides, herbicides...).

Loin d'être inactive dans le milieu, la matière organique est d'une importance capitale quand il s'agit de repérer les zones d'accumulation de polluants ou lors d'études écotoxicologique. A l'état dissout, elle forme des complexes avec un certain nombre d'éléments. Elle entraîne ainsi des métaux lourds lors de la floculation ou de l'adsorption sur les colloïdes argileux (G. CAUWEN, 1984).

Selon le METAP, les plus faibles valeurs de la matière organiques dans les sédiments de surface sont pour les stations 3 et 4 située à l'avant port près de la passe Babayaud. Elles sont respectivement de 2,1 et 1,7 %. Les stations 1 et 2 de la petite et grande darses ont respectivement 4,7 et 4,3 %. La station 5 près de la jetée du Lion affiche le maximum avec 5,4 %.

En profondeurs, les stations 1, 2 et 4 ont respectivement 6,2 %, 3 % et 3,2 % de matières organiques.



■ Les stations effectuées en 1999.

⊗ Les stations effectuées par le METAP en 1994.

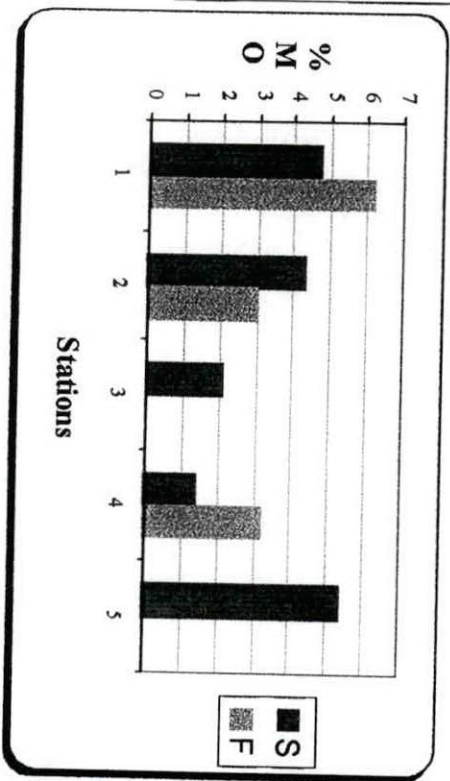
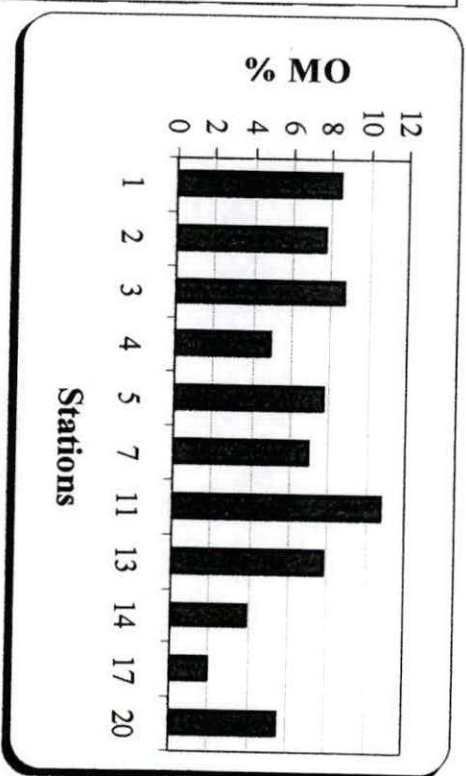


Fig. 15 : Comparaison des teneurs en matière organique entre 1993 et 1999.

5 - Métaux et concentrations (Fig. 16) :

Les normes hollandaises sont les limites fixées par les autorités hollandaises en ce qui concerne la gestion des déblais de dragage (METAP, 1994). Elles consistent en trois valeurs de références A, B et C (tableau n° 2).

Les concentrations inférieures à la limite A sont considérées comme naturelles et leur sédiment pourra être déchargé directement en mer. Les concentrations situées entre A et B donnent lieu à des analyses des effets qu'auront les sédiments dans le milieu de dépôt avant leur rejet. Les concentrations situées entre B et C impliquent une décharge seulement en milieu contrôlé. Les concentrations supérieures à la limite C imposent une décharge sous contrôle strict (isolation, surveillance).

Avant d'exposer les résultats (tableau n° 3), il est nécessaire de souligner le fait que, vu les résultats obtenus, nous appelions, sauf exception, "norme hollandaise" la limite A de ces normes.

5.1 - Le mercure (Hg) :

Du latin *Hydrargyrum* (argent liquide), le mercure est un élément de transition. Il fond à - 39 °C, bout à 357 °C, a une densité de 13,5 et une masse atomique de 200,59.

En l'absence de pollution, sa teneur varie entre 0,01 et 0,0001 ppm dans les roches, l'air et l'eau. On le rencontre le plus souvent sous forme de sulfure dans le cinabre (HgS). Suite aux activités industrielles, il est libéré sous forme de composés métallique, ioniques, organiques, de sulfates, de chlorures et de vapeur. Il est également présent dans les rejets des industries de chlorures alcalins et de métaux non ferreux. Les industries de sidérurgie et des phosphates peuvent être aussi à son origine dans le milieu marin.

Stable, le mercure est stocké dans les sédiments et transformé par certaines bactéries (méthylation), puis absorbé par la chaîne alimentaire sous forme de composés volatiles très toxique.

Dans le port de Annaba, selon la norme hollandaise (0,3 mg/kg MS), la majeure partie du port est polluée. Seule la station 4 (0,04 mg/kg MS) ne dépasse pas cette norme. Notons également que la plus forte concentration se situe à la station 3 (1,1 mg/kg MS).

En profondeur, Les stations 1 et 2 dépassent la norme hollandaise alors que la station 4 reste de concentration inférieure.

5.2 - Le plomb (Pb) :

Le plomb est un élément métallique dense et ductile d'un gris bleuâtre. Il fond à 328°C, bout à 1740 °C et a une densité de 11,34 et une masse atomique est de 207,20.

Le plomb constitue 0,014 % de la masse de la croûte terrestre et est généralement associée au zinc sous forme de *galène*. Il a 8 isotopes dont 4 radioactifs. Il peut également provenir des eaux usées ménagères et les lessivages des terres agricoles. comme il le peut des industries métallurgiques et sidérurgiques. (ENCARTA 2000) .

N'intervenant dans aucun mécanisme biologique (D. COSSA), ses conséquences sur l'organisme sont l'empoisonnement pur et simple. Les espèces marines les plus vulnérables sont les mollusques. Le risque encouru par l'homme est le saturnisme.

Les concentrations du plomb dans le port varient entre 7,6 mg/kg MS au niveau de l'avant port et 216 mg/kg MS à l'entrée de la petite darse. Les stations 1 et 3 dépassent la norme hollandaise qui est de 85 mg/kg MS.

En profondeurs, la station 1 détient la plus grande concentration avec 145 mg/kg MS et la station 4, la plus faible avec 30 mg/kg MS.

5.3 - Le cadmium (Cd) :

Élément de transition de couleur blanc brillant, il est malléable et ductile. Il fond à 321°C, bout 765 °C, a une densité de 8,64 et une masse atomique de 112,40.

Le cadmium est dans la nature sous forme de sulfure dans un minéral rare : la *greenockite*. On le retrouve également avec le zinc dans les blendes et les calamines. On l'obtient comme sous-produit lors du raffinage des minerais de zinc. Les industries sidérurgiques, chimiques et de phosphates peuvent aussi être à l'origine des contaminations par le cadmium.

Il semble que ce métal ne soit pas essentiel au métabolisme (COSSA et LASSUS, 1989). Il a des caractéristiques similaires à ceux du mercure. Il provoque l'empoisonnement.

Dans les sédiments de surface, les concentrations sont homogènes : (0,94 - 1,6 mg/kg MS), sauf celle de la station 1 qui est de 2,1 mg/kg MS, et la station 4 qui est de 0,41 mg/kg MS. Ainsi, sauf pour la station 4, elles dépassent, toutes, la norme hollandaise (0,8 mg/kg MS).

En profondeurs, la station 1 concentre le plus de cadmium (1,8 mg/kg MS). Les stations 2 et 4 ont respectivement 0,71 et 0,62 mg/kg MS ne dépassant ainsi la norme hollandaise.

5.4 - Le zinc (Zn) :

Élément de transition bleuâtre, pur métal cristallin, il est insoluble dans l'eau mais dans les alcools, acides et bases. Il fond à 420 °C, il bout à 907 °C, a une densité de 7,14 et une masse atomique de 65,38.

Il est assez abondant dans la croûte terrestre, il se trouve dans la nature sous forme de silicate de zinc ($2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$), de carbonate de zinc (ZnCO_3), d'oxyde mixte de zinc et de fer ($\text{Zn}(\text{FeO}_2)\text{O}_2$) et de sulfure de zinc (ZnS). Ses origines anthropologiques peuvent être les eaux usées ménagères et de lessivages des terres agricoles, les industries sidérurgiques métallurgiques et les industries des métaux non ferreux.

Entrant dans la composition des enzymes, le zinc est un métal essentiel pour l'organisme.

CHAPITRE IV : APERÇU SUR L'ÉTAT DE POLLUTION PAR LES MÉTAUX LOURDS

En surface, les stations 2, 3 et 5 ont des concentrations assez homogènes (182, 187 et 175 mg/kg MS). Les stations 1 et 4 donnent les valeurs maximum et minimum (398 et 36 mg/kg MS). Excepté la station 4, toutes les stations ont des concentrations qui dépassent la norme hollandaise qui est de 140 mg/kg MS. En profondeur les stations 1, 2 et 4 ont respectivement 308, 138 et 123 mg/kg MS.

5.5 - Le cuivre (Cu) :

De couleur rouge-brun, le cuivre a été découvert au moins au VII^{ème} millénaire avant notre ère. Pur, il est malléable et ductile. Excellent conducteur, il fond à 1080 °C, bout à 2565°C, a une densité de 8,9 et une masse atomique de 63,546.

Moyennement répandu dans la croûte terrestre, il est plus abondant dans l'hémisphère Sud. On le trouve dans 165 variétés de minerais de cuivre classés en deux types : minerais sulfuré, les plus répandus, et les minerais oxydés. Il peut, néanmoins provenir des eaux usées ménagères et des industries sidérurgiques, métallurgique et de métaux non ferreux.

Jouant un rôle dans certains métabolismes, le cuivre est un métal essentiel pour l'organisme mais à de fortes doses, il devient toxique.

Dans les sédiments de surface, la station 1 détient toujours la plus forte concentration (113 mg/kg MS), puis on observe une diminution claire en allant vers l'avant port (7,3 mg/kg MS à la station 4).

En profondeurs, les valeurs sont plus rapprochées et sont de 74, 34 et 25 mg/kg MS respectivement pour les stations 1, 2 et 4.

Concernant les normes, sauf la station 4, toutes les concentrations de surface dépassent la norme hollandaise qui est de 36 mg/kg MS. Il est utile de signaler que les sédiments de surface de la station 1 dépassent même la limite B des normes hollandaises. En profondeur, seule la station 1 la dépasse.

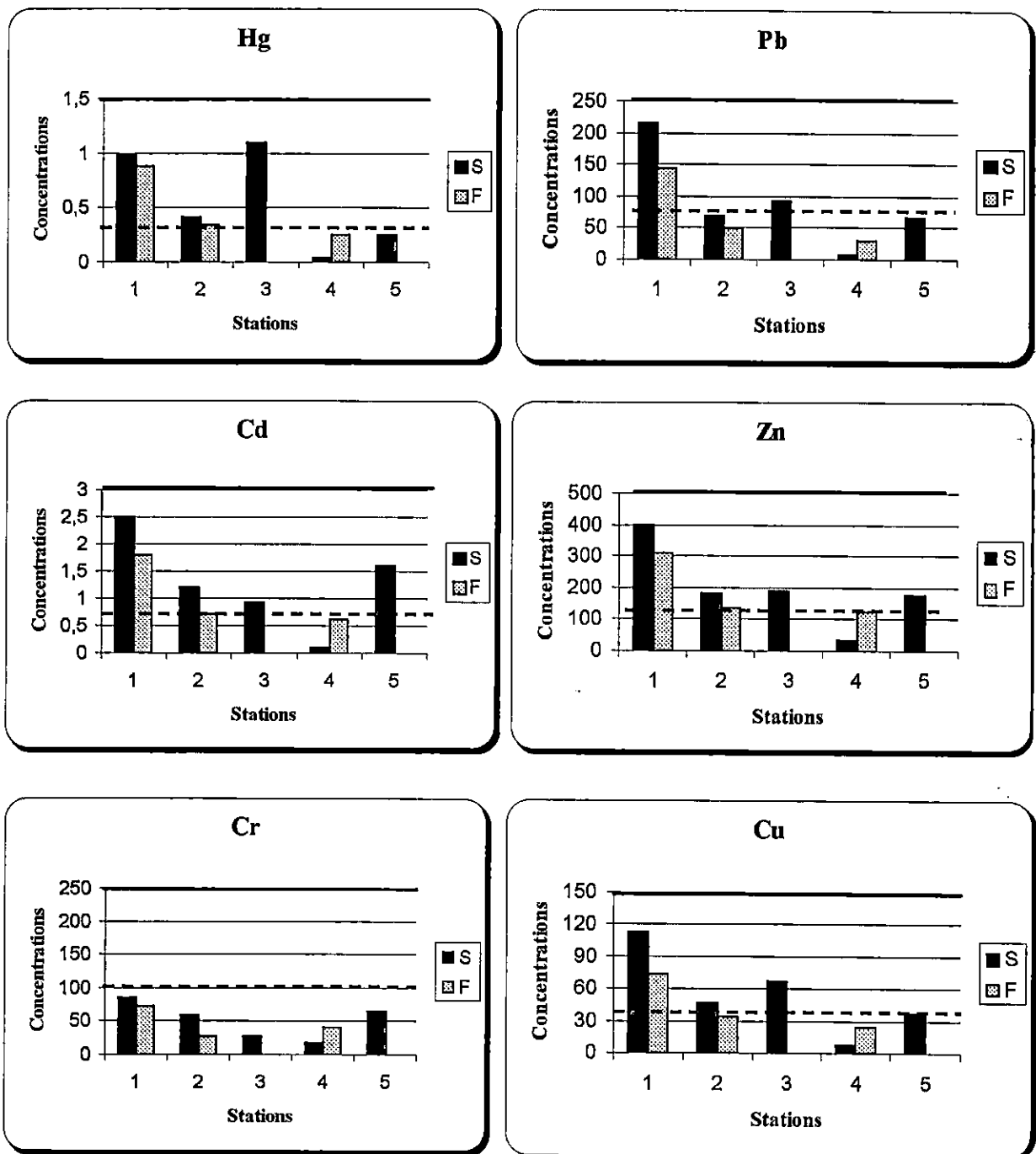
5.6 - Le chrome (Cr) :

Du grec *Chroma* (couleur) du fait des couleurs très vives de ses composants, il fond à 1875 °C, bout à 2670 °C, a une densité de 7,2 et une masse atomique de 51,996.

Il est assez fréquent dans la croûte terrestre (0,019 %). On le retrouve à l'état de métal sous forme de trace dans les météorites mais sous forme de chromites (Cr_2FeO_4) dans les minerais. Par ailleurs, il est émis dans la nature par les industries sidérurgiques, de phosphates, les tanneries, les industries de textiles et bien d'autres activités humaines. Il est dur et inoxydable et sa toxicité augmente avec la température.

Les valeurs dans le port de Annaba ne dépassent pas la norme hollandaise (100 mg/kg MS). Le maximum est toujours à la petite darse en surface et en profondeur (85 et 73 mg/kg MS).

Ces résultats exposés, il va sans dire qu'aucun métal n'a une concentration qui dépasse les recommandations des services de l'environnement algériens données dans le tableau n° 2.



Concentrations en mg/kg MS
 — Normes algériennes.
 - - - Normes hollandaises.

Fig. 16 : Répartition des teneurs en métaux lourds dans les sédiments du port de Annaba. (METAP, 1994)

6 - Conclusion :

Pour conclure, en prenant la limite hollandaise A comme référence, la petite darse affiche le top de la pollution dans le port en surface et en profondeur pour tous les métaux excepté le chrome. Elle dépasse même la limite B pour le cuivre en surface. Des analyses doivent donc être faites avant de les déposer.

La grande darse est contaminée en surface par le mercure, le cadmium, le cuivre et le zinc, alors qu'en profondeur, la contamination est seulement par le mercure. La zone près de la passe Babayaud dans l'avant port est presque aussi polluée que la petite. Leurs analyses avant leurs rejets s'imposent.

L'avant port, près de la jetée du Lion, affiche une contamination des sédiments de surface par le cadmium, le cuivre et le zinc. L'analyse avant le rejets est primordiale.

Ceci dit, il est utile de signaler la distinction de la station 4 qui, à la différence de toutes les autres, a des concentrations moindres en surface qu'en profondeur. Cela peut suggérer que le sédiment de surface soit un sédiment nouveau.

Cela étant, les constatations des concentrations en métaux lourds sont pour un pourcentage en matière organique dans les sédiments de surface à l'intérieur du port allant de 1,7 à 5,4 %. Cependant, les sédiments de la station 1 et 2 du METAP sont désormais recouverts d'une couche de sédiments d'au moins 4 m comme l'atteste les cartes 5 et 23. Les pourcentages de ces sédiments en matières organiques vont de 4,86 à 8,67 %. Il est donc visible que les différences dans les concentrations des métaux lourds seraient aussi importantes.

CHAPITRE V : LE DRAGAGE.

1 - Généralités.

1.1 - Définition.

1.2 - Types de dragues.

2 - Évolution diachronique des fonds à l'intérieur du port.

3 - Nature du dragage.

4 - Estimation du volume de déblais.

5 - CONCLUSION.

1 - Généralités :

1.1 - Définition :

Le dragage est l'action d'enlever le sable, le gravier ou la vase reposant au fond d'une rivière, d'un lac ou d'un port maritime. Les matériaux extraits sont appelés déblais. Les engins utilisés pour ce type d'opération sont appelés *dragues*.

1.2- Types de dragues :

Il existe plusieurs types de dragues dont les caractéristiques sont liées au dragage à effectuer. Les principales dragues utilisées sont (Encarta 2000) :

- **Dragues à cuiller ou benne :** Elles ont un godet au bout d'un bras mobile qui ramasse et enlève les matériaux ;
- **Dragues à grappin :** Conçues par le même principe pour les dragages en eaux profondes, utilisant un godet mû par des câbles à l'extrémité d'une flèche ;
- **Les dragues à élévateurs :** Utilisant une chaîne sans fin de petits godets ;
- **Les dragues hydrauliques :** Aspirent les déblais dans un tuyau et sont fréquemment équipées d'un pipeline flottant qui permet de décharger les déblais sur le rivage ;
- **Les dragues minières :** Sont conçues pour séparer la matière précieuse du reste des déblais ;
- **Les dragues tournantes :** Permettent d'ouvrir le passage à la navigation en brassant la terre jusqu'à ce que le courant la transporte plus loin.

2 - Évolution diachronique du fond à l'intérieur du port :

Pour cette étude, les 11 stations de l'intérieur du port ont été choisies comme points de repères. En les mettant dans chaque carte bathymétrique puis relevant les profondeurs obtenues, on peut voir l'évolution de chaque point au fil des ans entre 1985 et 1999 (Fig. 17 et 18). Les résultats sont présentés dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe.

Les figures mettent en évidence une diminution des fonds entre 1985 et 1990 d'une moyenne de 1,6 m. Entre 1990 et 1993, le fond a augmenté d'une moyenne de 2,4 m. Mais entre 1993 et 1999, il a diminué d'une moyenne de 2,1 m.

Pour une meilleure approche, nous avons choisi des points dans le port formant des axes intitulés de A à I (Fig. 19). En étudiant les évolutions de ces points entre 1985 et 1999, sont apparues les constatations suivantes (Fig. 20) :

- *Entre 1985 et 1990* : L'avant port a vu ses fonds diminuer d'une moyenne de 1,9 m, la grande darse d'une moyenne de 1,7 m et la petite darse de 0,75 m.
- *Entre 1990 et 1993* : L'augmentation dans les fonds est visible dans tout le port avec une moyenne de 3 m dans l'avant port, 2,38 m dans la grande darse et 1,5 m dans la petite darse ;
- *Entre 1993 et 1999* : L'avant port a connu une augmentation de 0,5 m de ses fonds alors que la grande et petite darse, une diminution de 3 et 4 m respectivement.

La diminution des fonds entre 1985 et 1990 révèle une entrée des sédiments dans le port. L'augmentation observée en 1993 est consécutive à un dragage d'approfondissement alors que la diminution observée en 1999 des fonds de la petite et grande darse suggère une entrée massive des sédiments.

En multipliant la moyenne des différences des fonds entre 1985 et 1990 (1,6 m) par la surface totale du port, soit 95 ha (950 000 m²), puis en divisant sur le nombre d'années (5 ans), on obtient une estimation de la quantité de sédiment entrant en cette période. Le résultat est de 285 000 m³/an.

Faisant de même pour la période 1993 - 1999, on obtient une quantité de sédiment de 348 333 m³ entrant par an. Cette quantité est nettement supérieure à la précédente.

Cependant, en 1993, une opération de dragage de maintenance et d'approfondissement a été effectuée. Par le même principe, mais sans diviser sur les années, on a calculé la quantité de sédiment excavé. Elle est de 2 270 500 m³.

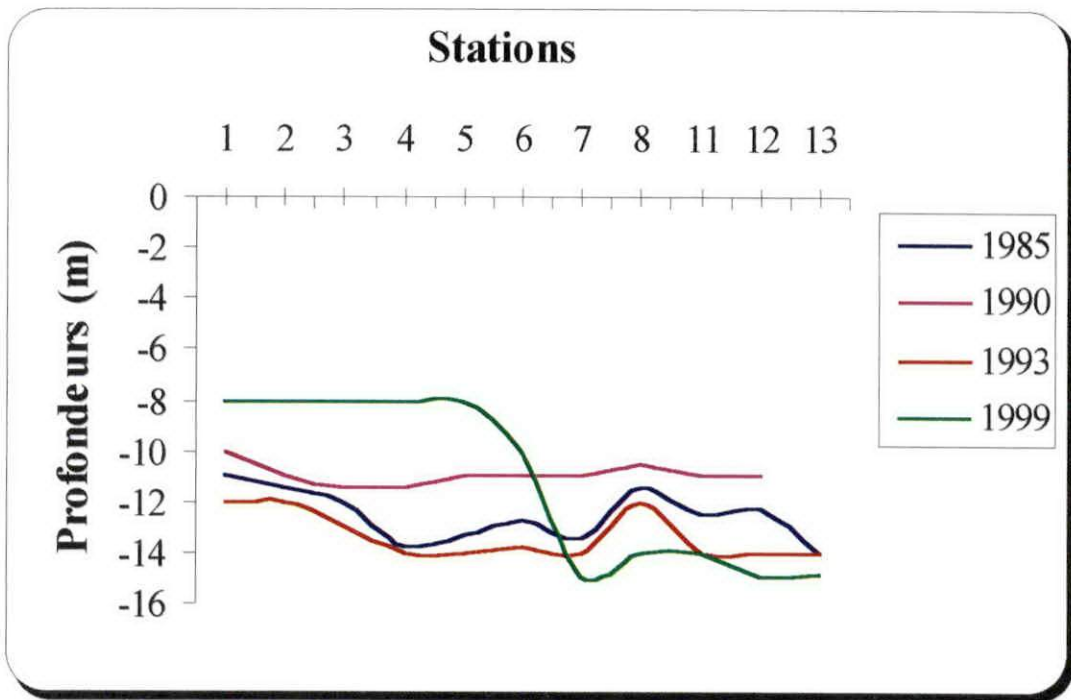


Fig. 17 : Évolution diachronique des fonds du port de Annaba entre 1985 et 1999.

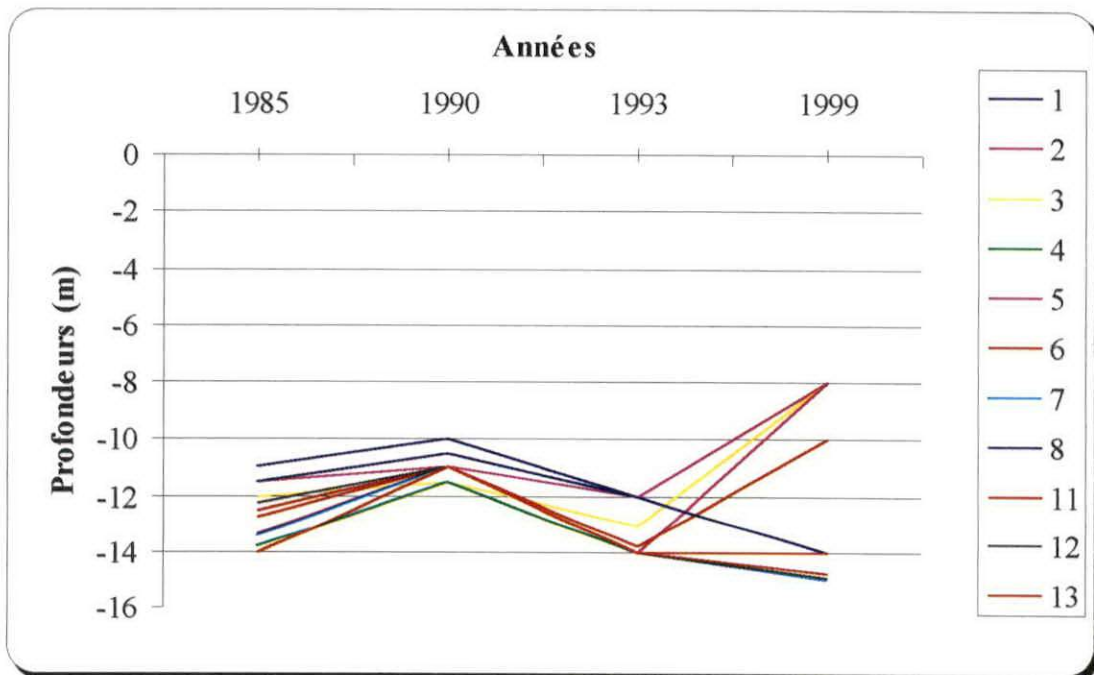


Fig. 18 : Évolution des points de prélèvement dans le port de Annaba entre 1985 et 1999.

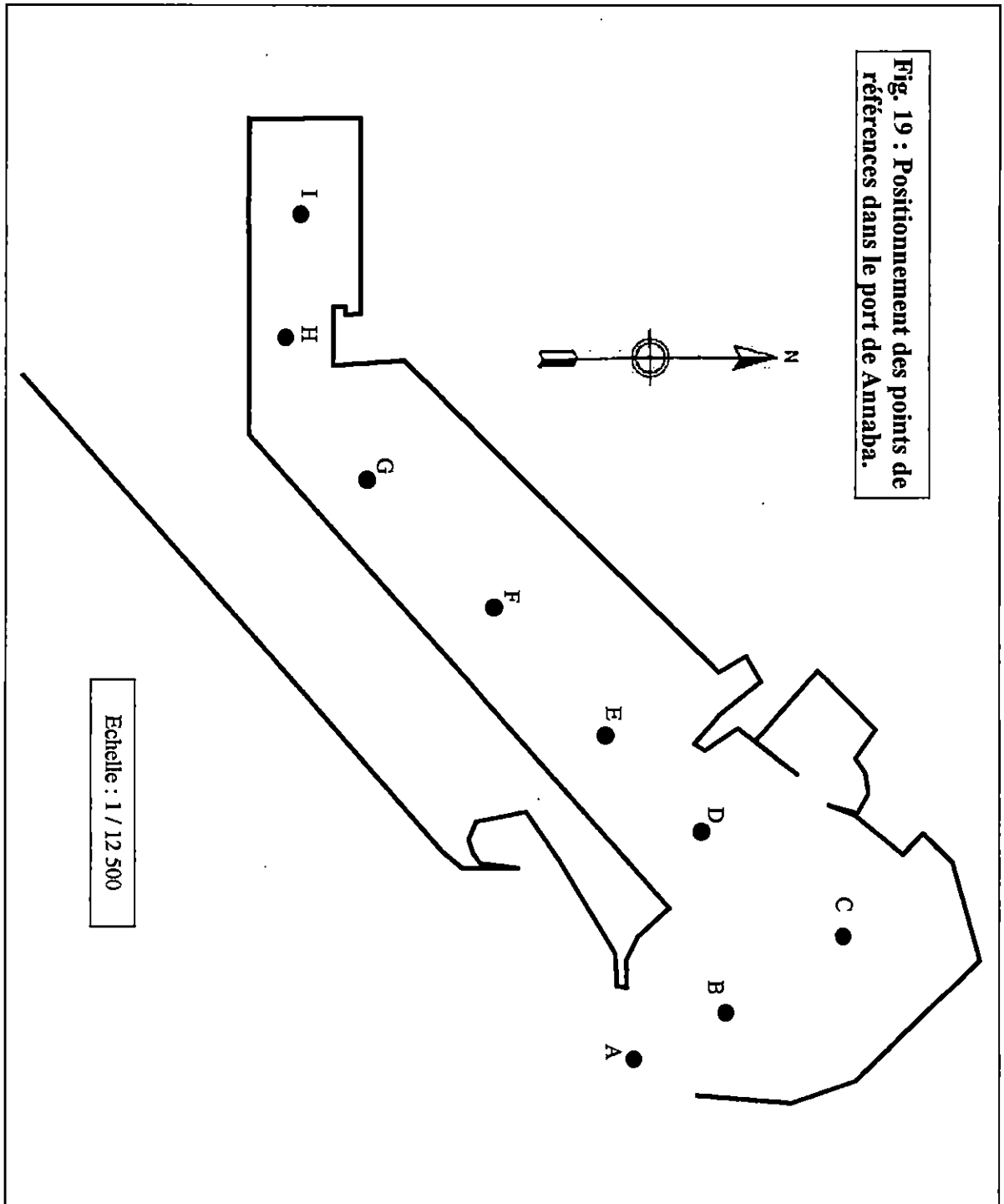


Fig. 19 : Positionnement des points de références dans le port de Annaba.

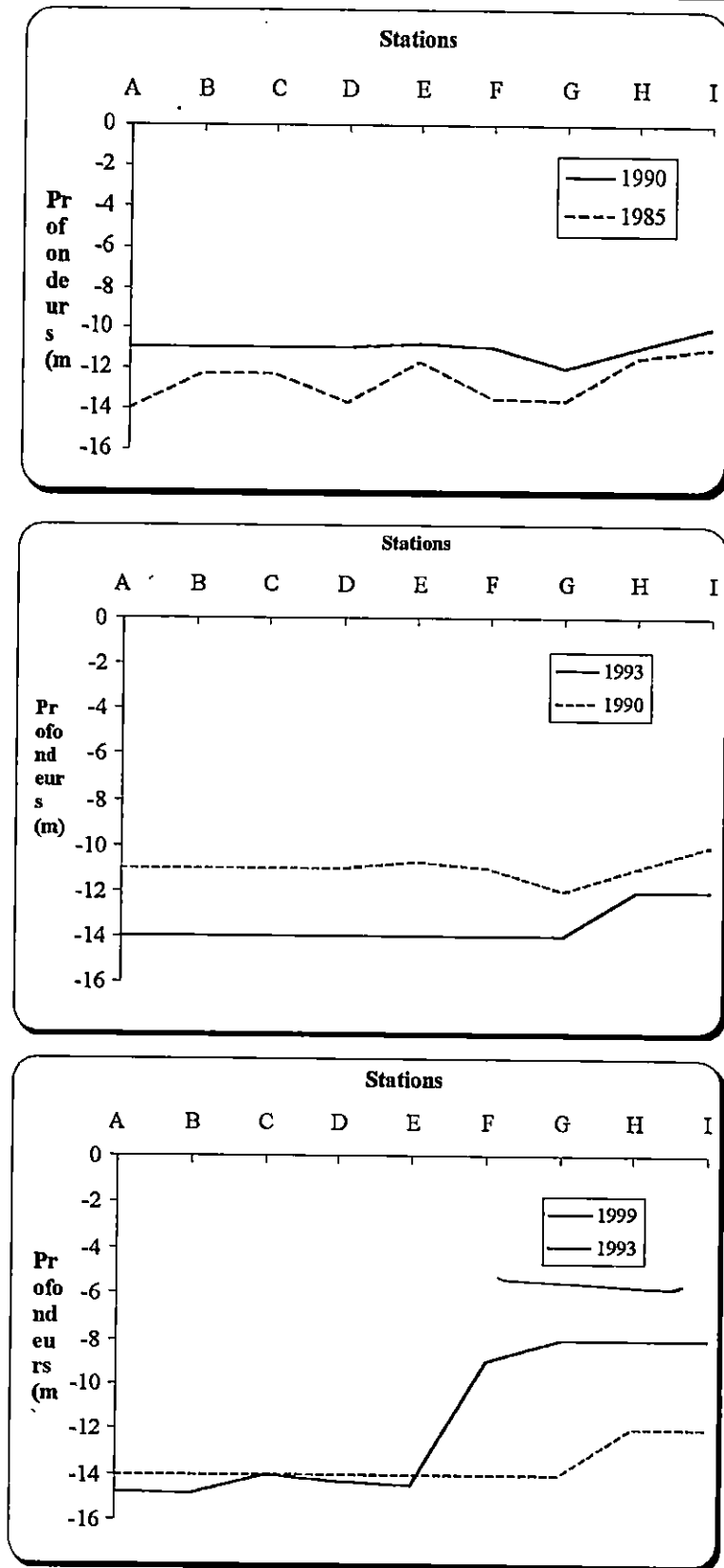


Fig. 20 : Évolution du fond dans le port de Annaba par périodes entre 1985 et 1999.

3 - Nature du dragage :

Ce dragage entre dans le cadre des opérations d'entretien qu'un port doit subir. Il est à rappeler que depuis 1969, trois dragages ont été effectués dans le port de Annaba. Le premier en 1969 dont le volume des déblais extraits est d'un million de m³. Le deuxième, en 1979 sur la zone de l'avant port pour une profondeur de 13,5 m déblayant près de 50 000 m³. Le dernier, en 1993 suite à l'aménagement du terminal à conteneur dans la petite darse. Les profondeurs atteintes sont de 14 -15 m à l'avant port, 14 m à la grande darse et 12 m à la petite darse (DIMA).

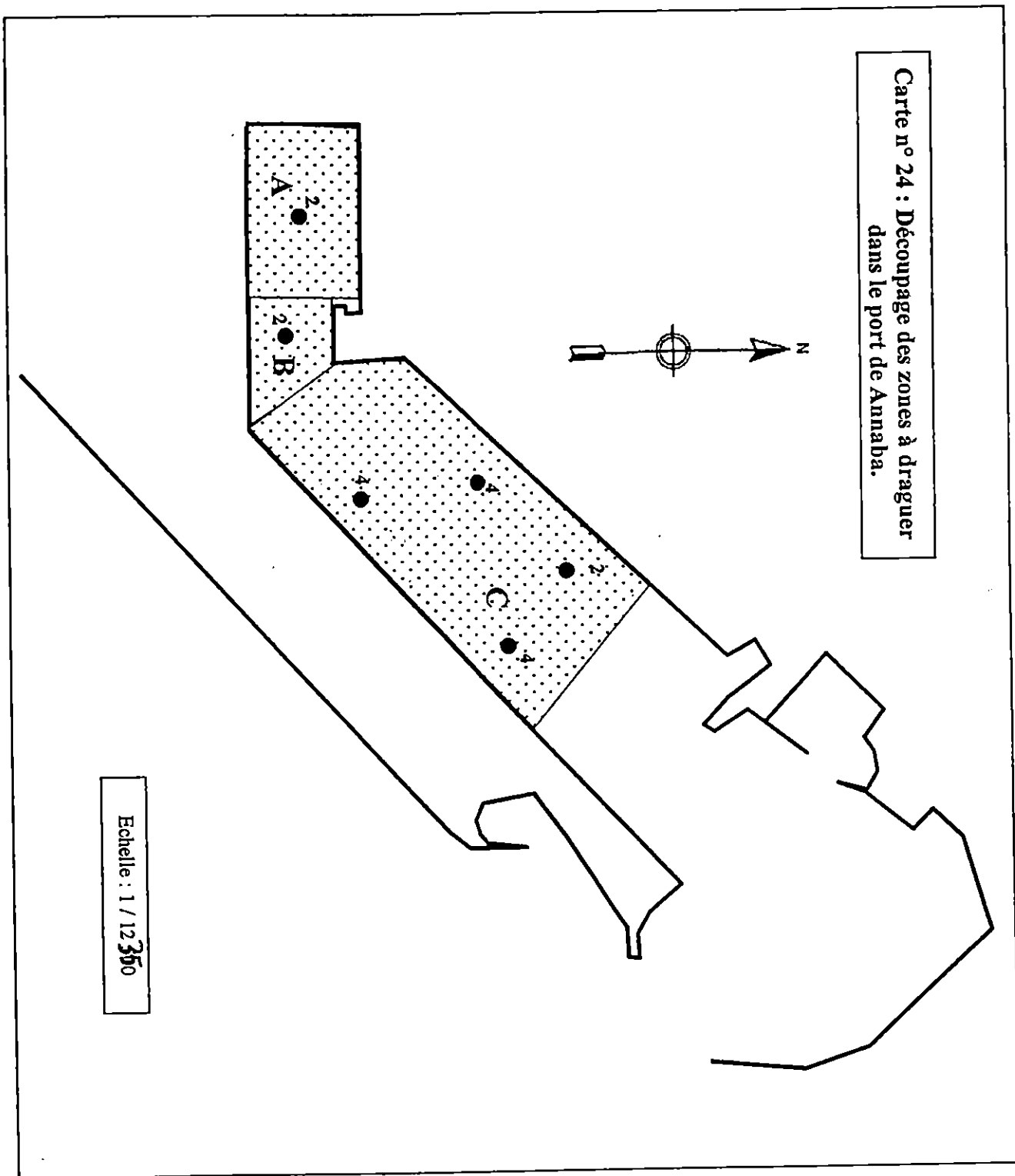
Pour celui ci, les zones touchées sont celles de la grande et petite darse, l'avant port ayant une profondeur moyenne de 14 m. Les côtes nominales sont celle de 1993, 14 m à la grande darse et 12 m à la petite darse. L'engin utilisé sera, faute de moyen, une grue à benne montée sur un ponton flottant (DIMA).

4 - Estimation du volume de déblais :

Pour ce faire, la zone concernée est découpée en petites surfaces (carte n° 24). Une profondeur moyenne est calculée pour chacune d'entre elles. Cette dernière, sera ôter à la côte d'origine donnant l'épaisseur de la couche à extraire. L'épaisseur multipliée par la surface donne le volume de déblais pour chaque partie. La sommes des volumes partiels forme le volume total du déblai à extraire. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau n° 4 : Quantités et qualités du sédiment à draguer dans le port de Annaba.

Compartiment	Surface (m ²)	Profondeur moyenne (m)	Épaisseur moyenne du déblai (m)	Volume (m ³)	Nature du déblai
A	93750	8	4	375 000	Vase
B	35156,25	8	4	140 625	Vase
C	304687,5	8,5	3,5	1 066 406	Vase + Vs
Total	433593,75			1 582 031	



Conclusion :

Le dragage est une opération de maintenance primordiale pour un port. Pour ce, la vérification régulière des ses fonds est nécessaire.

Les fonds du port de Annaba ont connu de multiples changements ces 15 dernières années. Ainsi, de 1985 à 1990, une quantité de 285 000 m³ est entrée chaque année dans le port. L'opération de dragage effectuée en 1993 a excavé une quantité de 2 270 500 m³. Mais de 1993 à 1999 la quantité de sédiment entrant a augmenté de 63 333 m³ par an. Connaissant la nature essentiellement vaseuse des sédiments entrant, ce port subit vraisemblablement un envasement qui, à priori, est de plus en plus rapide.

En ce qui concerne ce dragage, la quantité de sédiments à excaver est donc 1 582 031 m³ de vase dont une petite et néanmoins présente fraction sableuse.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le port étudié est un pôle dans le transport maritime algérien. Ses origines lointaines et sa position et caractéristiques font que son importance et sa capacité actuelle ne sont plus à démontrer.

A l'extrémité Ouest d'un cordant dunaire du pliocène, le port était le siège du déversement de l'Oued Seybousse qui prends source du massif cristallin de l'Edough et longe la plaine quaternaire de Annaba.

Sa situation géographique fait qu'il soit dans une zone à climat méditerranéen à deux périodes distinctes : une sèche et chaude dominée par les vent et les houles de secteur Nord à Est ; une humide et froide dominée par les vents de secteur Sud-ouest à Ouest et les houles de secteur Nord à Ouest. A l'embouchure du port, les houles de secteur Nord à Est sont les plus fréquents. Par ailleurs, il est utile de signaler l'augmentation de la température moyenne, la diminution de la pluviométrie et l'augmentation de la vitesse moyenne des vents.

Le golf de Annaba est servi par trois Oueds charriant principalement de la vase et la déversant sur une large surface près du port avec un taux d'érosion de $1550 \text{ t/km}^2 \cdot \text{an}$. A lui seul, l'oued Seybousse déverse $150\,000 \text{ m}^3/\text{an}$.

La bathymétrie au Nord du port est régulière et a une pente assez raide alors qu'au Sud elle est plus douce. L'embouchure du port avait atteint une profondeur de 14 m alors que la petite darse une profondeur de 12 m en 1993.

Si les sables règnent au Nord du port, le Sud est par contre tapissé de vase provenant des oueds. Ils prédominent dès les - 10 m. Ces deux provinces ne montre aucune communication. Le Nord affiche une certaine stabilité des fonds bien que le Sud voie ses sédiments émigrer vers les fonds de - 10 m. où ils se sédimentent. Ils sont dès lors soumis à un régime les entraînant tantôt vers le sud et l'est et tantôt vers le nord et l'ouest.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Après analyses, l'intérieur du port est tapissé de vase sur tous ses fonds sauf à l'entrée de l'avant port où une fraction de sable assez grossier hétérogène est présente. La grande darse également renferme du sable moyen hétérogène mais dans de moindres proportions. Par ailleurs, les teneurs en fraction carbonatée et organique à l'intérieur du port sont importantes.

Au Nord, les fonds sont tapissés de sable fin peu organique et organogène. Plus au Sud, et jusqu'à l'Est du port, du sable moyen hétérogène moins organogène et peu organique. Au Sud-est de la vase sableuse organogène assez organique.

Ceci dit, les taux similaires des carbonates à l'intérieur et à l'extérieur du port ainsi que la présence de certaines fractions sableuses suggèrent une communication entre ces deux zones

La bathymétrie a augmenté d'une moyenne de 2,2 m. La petite darse a vu ses fonds diminuer de 4 m depuis 1993, la grande darse de 3 m alors que l'avant port affiche une érosion de 0,5 m.

Pour la qualité des sédiments, la matière organique a donnée un aperçu sur le sujet. Si on tient compte des résultats du METAP, tous les sédiments à excaver doivent l'objet d'une analyse portant sur leurs conséquences dans le milieu de rejet. De plus, les différences importantes dans les résultats de la matière organique entre les deux années (1993 - 1999) induisent les mêmes différences dans les concentrations des métaux lourds dans les sédiments. Il est donc primordial de faire cette étude avant leurs rejets.

Par ailleurs, sur la base des données bathymétriques et sédimentologiques, le port de Annaba subi un envasement. La distinction de la station 4 du METAP en est un bon indice. Cet envasement est apparemment en accélération qui peut être due au régime sédimentaire de la région ainsi qu'à l'augmentation des vitesses de vent ou peut être même à l'approfondissement du port. La quantité de sédiment entrant est d'environ 367 333 m³/an. Pour ce, une étude plus poussée est nécessaire pour cerner le problème et comprendre ses mécanismes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Après calculs, la quantité de sédiment à excaver est de 1 585 031 m³ à majorité de vase polluée par les métaux lourds. Si on se fie à la DIMA, le coût moyen d'un m³ dragué est de 500 DA. Sur cette base, le coût estimé pour cette opération est de 791 015 625 DA.

Pour conclure, nous tenons à prévenir que ces chiffres ne sont que des estimations très approximatives basées sur les moyens dont nous disposions et ne sont guère à prendre sans précaution.

BIBLIOGRAPHIE

- **ABDICHE C et DOUDOU S.A, 1998.** Approche de la pollution par les bio-indicateurs : structure et organisation des peuplements macrozoobenthiques du port de Annaba. *Ingénieur écologie marine. ISMAL (Alger)*, 94 p.
- **AINOUCHE N et ZITOUNI R, 1999.** Etude de la qualité physico-chimique des eaux dans le port de Annaba. *D.E.U.A. ISMAL (Alger)*, 62 p.
- **ACJI ou JICA, 1993.** Plan de développement du port d'Alger, d'Oran et de Annaba. Rapport final. *Ministère du transport. TOME II.*
- **BERTHOIS L, 1975.** Étude sédimentologique des roches meubles, techniques et méthodes. *Edition Doin editeurs (Paris)*. 278 p.
- **BOUNOUA M et DJAIDER M, 1993.** Etude du site en vue de l'implantation d'un port de pêche à Annaba. *Ingénieur d'état en géologie marine. U.S.T.H.B. (Alger)*, 102 p.
- **CAUWEN G, 1985.** Dynamique de la matière organique dans le milieu marin et polyhalin, son rôle dans les processus géochimiques aux interfaces. *Doctorat d'état en science, mention océanologie université de Perpignan*. 178 p.
- **CHAMLEY H, 1987.** Sédimentologie. *Edition Dunod*, 175 p.
- **COSSA D et al, 1993.** Le plomb en milieu marin biogéochimie et écotoxicologie. *IFREMER n° 03*. p 47.
- **COSSA D et LASSUS P, 1989.** Le cadmium en milieu marin biogéochimie et écotoxicologie. *IFREMER n° 16*. p 19, 63.
- **DERGALI M.A, 1997.** Reconnaissance du port de Annaba et quelques aspects de son impact sur l'environnement. *Ingénieur d'état en aménagement du littoral. ISMAL (Alger)*.
- **D.I.M.A, 1989.** Aménagement d'un terminal à conteneur dans le port de Annaba. Division des infrastructures maritime. Ministère de l'équipement.
- **DTP, 1993.** Direction des travaux publics. Wilaya de Annaba. Subdivision maritime.
- **EL-MAWRID, 1990.** Dictionnaire Anglais-Arabe. *Edition Dar El Ilm Lilmalayine (Liban)*.
- **EPAN, 2000.** Entreprise portuaire de Annaba. Site Internet www.annaba-port.com.
- **FERNANE A et MAKHLOUF M, 1998.** Contribution à la reconnaissance de la plage de Palm Beach (baie de Bou-Ismaïl) : données morphologiques, bathymétriques et sédimentologiques. *D.E.U.A en aménagement du littoral. ISMAL (Alger)*. 69 p.

-
- **HARRAT A.M, 1990.** Contribution à l'étude des milieux portuaires : port de Annaba. *DES. ISMAL (Alger)*. p 33. .
 - **HILLY J.C, 1957.** Etude géologique du massif de l'Edough et du CAP DE FER. *Edition que sais-je. TOME I.*
 - **JOLEAUD L, 1936.** Etude géologique de la région de bône et de la Câte. *Bulletin du service de carte géologique de l'Algérie. 2^{ème} série.* 184 p.
 - **L.C.H.F, 1974.** Laboratoire central d'hydraulique de France. Extension du port de Annaba. *TOME II. Direction de l'infrastructure et de l'équipement de la wilaya de Annaba.*
 - **LECLAIRE L, 1972.** La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares. *Edition du muséum national d'histoire naturelle. TOME XXIV.* 86-87p.
 - **MAYET J, 1994.** La Pratique de l'eau. 2^{ème} édition *Le Moniteur, Paris.* p 23.
 - **METAP, 1994.** Etude de la protection contre la pollution des ports et du littoral algérien. Rapport final, Banque européenne d'investissement. Ministère des transport. Direction des ports, Algérie. Réalisé par *l'institut pour la qualité des eaux (Danemark), LEM, DORSCH consult (Allemagne) et l'institut danois d'hydraulique.* 170 p.
 - **MILLOT C, 1985.** Some features of the algerian currents. *Edition Masson (Paris).* 259p.
 - **RIVIERE A.** Méthodes granulométriques, techniques et interprétations. Techniques et méthodes de sédimentologie. *Edition Masson (Paris).* 170 p.
 - **TOUBAL A.C, 1983.** Etude hydr-géologique du massif dunaire de Boutheldja. *Doctorat 3^{ème} cycle en géologie appliquée. TOMI I.* 266 p.
 - **VATAN A.** Manuel de sédimentologie. *Edition technip.* 397 p.

LISTE DES CARTES

Carte n° 1 : Position géographique du port de Annaba. -----	1 5
Carte n° 2 : Carte géologique de la région de Annaba. -----	2 0
Carte n° 3 : Carte bathymétrique du port de Annaba (1985). -----	3 1
Carte n° 4 : Carte de sondage du port de Annaba (1990). -----	3 2
Carte n° 5 : Carte bathymétrique du port de Annaba (1993). -----	3 3
Carte n° 6 : Carte bathymétrique de la région portuaire de Annaba. -----	3 4
Carte n° 7 : Carte bathymétrique à proximité de la jetée Sud. -----	3 5
Carte n° 8 : Évolution des fonds entre 1924 et 1974. -----	3 6
Carte n° 9 : Carte sédimentologique du port de Annaba. -----	3 9
Carte n° 10 : Carte de positionnement des stations. -----	4 3
Carte n° 11 : Répartition des pélites dans le port de Annaba. -----	50 49
Carte n° 12 : Répartition des médianes dans le port de Annaba. -----	5 2
Carte n° 13 : Répartition des quartiles inférieurs dans le port de Annaba. -----	5 3
Carte n° 14 : Répartition des quartiles supérieurs dans le port de Annaba. -----	5 4
Carte n° 15 : Répartition des déciles inférieurs dans le port de Annaba. -----	5 5
Carte n° 16 : Répartition des déciles supérieurs dans le port de Annaba. -----	5 6
Carte n° 17 : Répartition du mode 100 dans le port de Annaba. -----	5 9
Carte n° 18 : Répartition du mode 160 dans le port de Annaba. -----	6 0
Carte n° 19 : Répartition du mode 200 dans le port de Annaba. -----	6 1
Carte n° 20 : Répartition du mode 250 dans le port de Annaba. -----	6 2
Carte n° 21 : Répartition des carbonates dans le port de Annaba. -----	6 4
Carte n° 22 : Répartition de la matière organique dans le port de Annaba. -----	6 5
Carte n° 23 : Carte de sondage dans le port de Annaba (1999). -----	6 6
Carte n° 24 : Découpage des zones à dragué dans le port de Annaba. -----	8 9

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1 : Position des installations existantes dans le port de Annaba. -----	16
Figure n° 2 : Répartition des températures et précipitations moyennes dans la région de Annaba. -----	21
Figure n° 3 : Répartition des vitesses moyennes des vents dans la région de Annaba. -----	23
Figure n° 4 : Rose des vents. -----	23
Figure n° 5 : Répartition des vents dominants dans la région de Annaba. -----	23
Figure n° 6 : Rose des houles au large de Annaba. -----	25
Figure n° 7 : Répartitions des houles à l'embouchure du port de Annaba. -----	26
Figure n° 8 : Courants marins à proximité du port de Annaba. -----	27
Figure n° 9 : Réseau hydrographique de la région de Annaba. -----	29
Figure n° 10 : Répartition et mouvements sédimentaires dans la région du port de Annaba. -----	40
Figure n° 11 : Courbes cumulatives des différentes stations. -----	50
Figure n° 12 : Les indices de classement et d'asymétrie des différentes stations. -----	57
Figure n° 13 : Schéma de la sédimentologie dans le port de Annaba. -----	68
Figure n° 14 : Positionnement des stations prélevées par le METAP en 1993. -----	72
Figure n° 15 : Comparaison des teneurs en matière organique entre 1993 et 19899. -----	74
Figure n° 16 : Répartition des teneurs en métaux lourds dans les sédiments du port de Annaba. -----	80
Figure n° 17 : Évolution diachronique des fonds du port de Annaba entre 1985 et 1999. -----	85
Figure n° 18 : Évolution des points de sondes effectués dans le port de Annaba entre 1985 et 1999. -----	85
Figure n° 19 : Positionnement des points de référence dans le port de Annaba. -----	86
Figure n° 20 : Évolution des fonds du port de Annaba par périodes entre 1985 et 1999. -----	87

ANNEXE

ANNEXE

Tableau n°1 : Répartition des températures, précipitations et vents dans la région de Annaba.

ONM 1993 - 1999													
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy
T°C moyenne	10,6	10,4	12,2	15,2	18,8	21,8	24,6	25,9	23,8	20,9	15,5	12,8	17,71
Précipitations (mm)	83,7	42	81	58,7	66,2	3,1	0	4,3	29,1	54,8	20,8	156	49,98
Vents (m/s)	3,65	3,83	3,70	3,93	3,68	3,97	4,02	3,93	3,58	3,40	3,68	3,77	3,76
AJCI 1975 - 1984													
T°C Moyenne	11,1	11,4	12,5	14,3	17,6	21,4	24,4	24,6	22,6	18,9	14,6	12,1	17,13
Précipitation (mm)	87	77	71	64	34	17	3	10	31	90	113	91	57,33
vents (m/s)	3,5	3,2	3,2	3,2	3	3,3	3,3	3,5	3,2	2,9	3,1	3,4	3,23

**Tableau n° 2 : Fréquence des vents dominants (> 10 m/s)
(1984 - 1990 : 8 observation par jour. Unité : fois)**

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1	3	3	2								1	4	13	7	7	5	45
2	3	3								3	1		7	7	2	4	30
3					2	1				1		1	10	12	4	1	32
4	2	4		4				2	1	1	2	3	12	5	2	6	44
5	11	8	2	5	1								2	2		2	33
6	20	19	3										1	1		4	48
7	23	29	11	3	3								3	1		10	83
8	9	19	15	12	1												56
9	13	11	5	6	2										1		38
10	1	2		1									1				5
11	5	4			3							3		2	1	4	22
12	14	15	1	1								6	7	5	3	7	59
Total	104	117	39	32	12	1	0	2	1	5	4	17	56	42	20	43	495

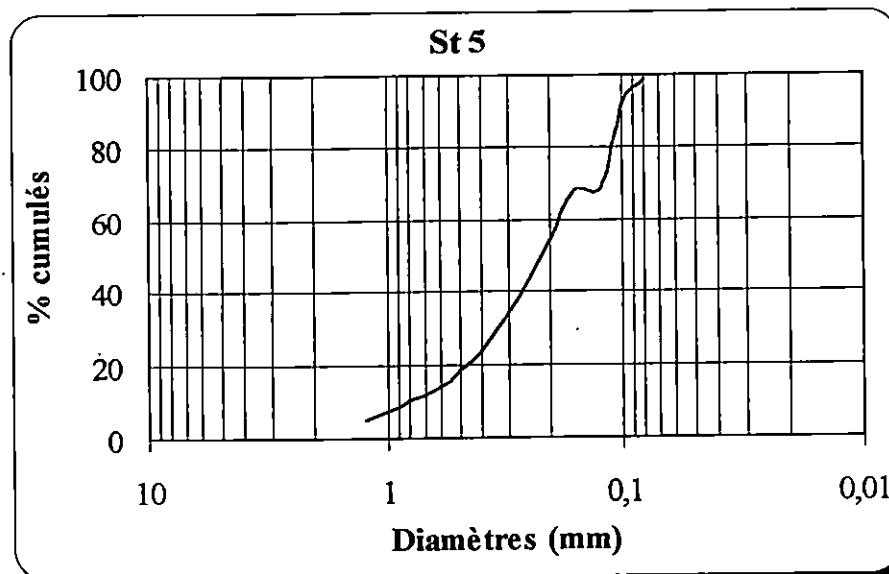
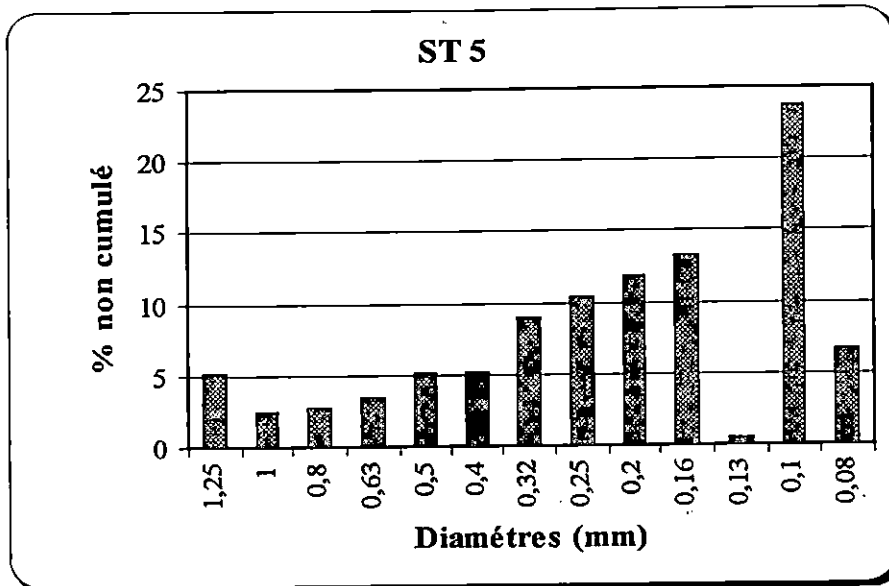
ANNEXE

TABLEAUX, HISTOGRAMMES DE FRÉQUENCE ET COURBES CUMULATIVES.

Station 5

Poids final = 31,11 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	% PC
1,25	1,6	5,14	1,6	5,14
1	0,76	2,44	2,36	7,59
0,8	0,82	2,64	3,18	10,22
0,63	1,07	3,44	4,25	13,66
0,5	1,6	5,14	5,85	18,80
0,4	1,59	5,11	7,44	23,92
0,315	2,77	8,90	10,21	32,82
0,25	3,21	10,32	13,42	43,14
0,2	3,67	11,80	17,09	54,93
0,16	4,1	13,18	21,19	68,11
0,125	0,13	0,42	21,32	68,53
0,1	7,38	23,72	28,7	92,25
0,08	2,08	6,69	30,78	98,94

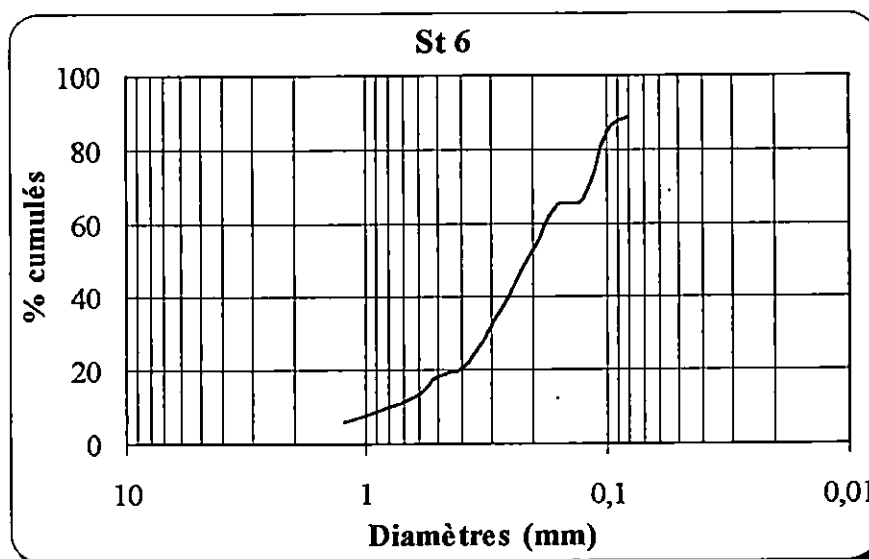
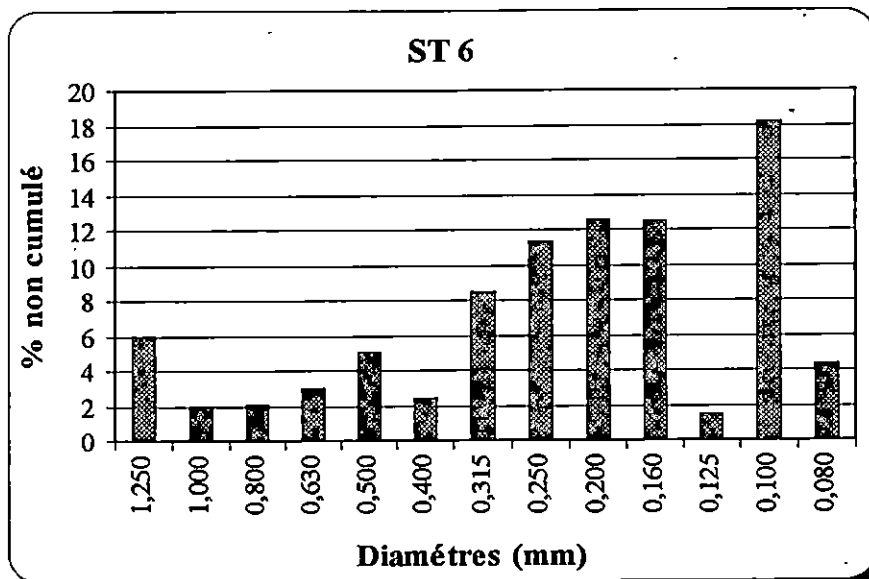


ANNEXE

Station 6

Pf = 27,57 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	1,63	5,91	1,63	5,91
1	0,55	1,99	2,18	7,91
0,8	0,58	2,10	2,76	10,01
0,63	0,82	2,97	3,58	12,99
0,5	1,4	5,08	4,98	18,06
0,4	0,67	2,43	5,65	20,49
0,315	2,32	8,41	7,97	28,91
0,25	3,11	11,28	11,08	40,19
0,2	3,46	12,55	14,54	52,74
0,16	3,44	12,48	17,98	65,22
0,125	0,4	1,45	18,38	66,67
0,1	5	18,14	23,38	84,80
0,08	1,2	4,35	24,58	89,15

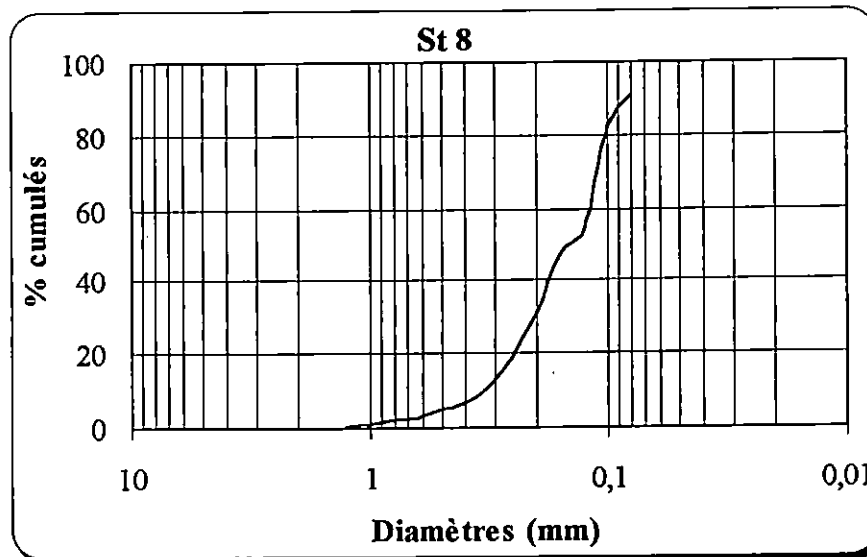
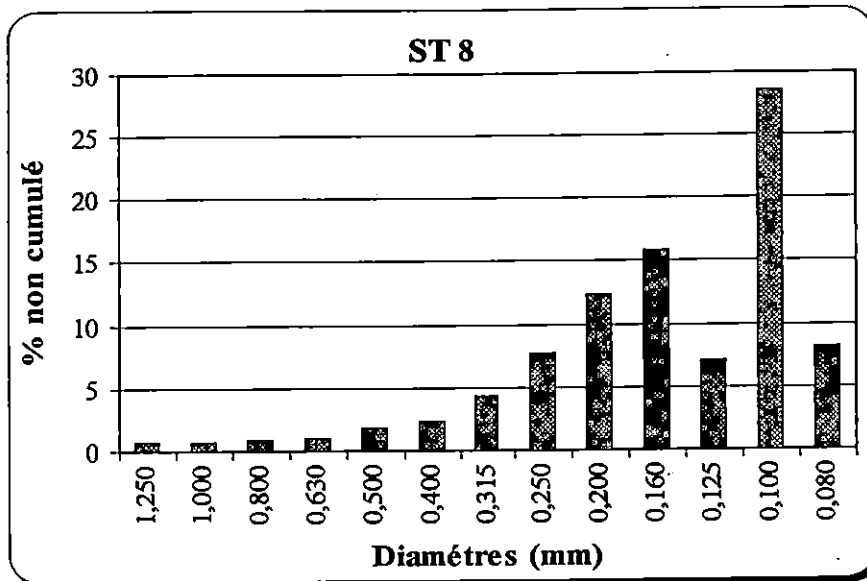


ANNEXE

Station 8

Pf = 28,35 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	0,19	0,67	0,19	0,67
1	0,16	0,56	0,35	1,23
0,8	0,22	0,78	0,57	2,01
0,63	0,29	1,02	0,86	3,03
0,5	0,49	1,73	1,35	4,76
0,4	0,62	2,19	1,97	6,95
0,315	1,25	4,41	3,22	11,36
0,25	2,19	7,72	5,41	19,08
0,2	3,5	12,35	8,91	31,43
0,16	4,49	15,84	13,4	47,27
0,125	2	7,05	15,4	54,32
0,1	8,1	28,57	23,5	82,89
0,08	2,31	8,15	25,81	91,04

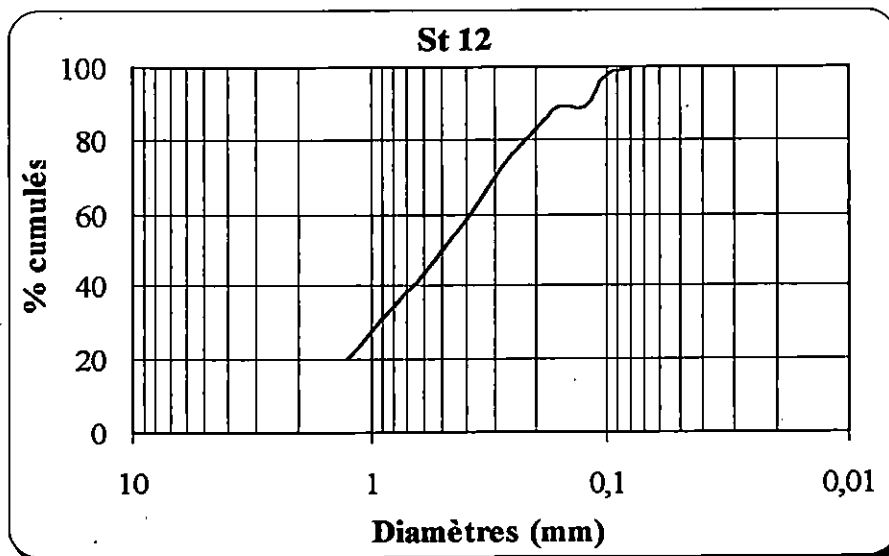
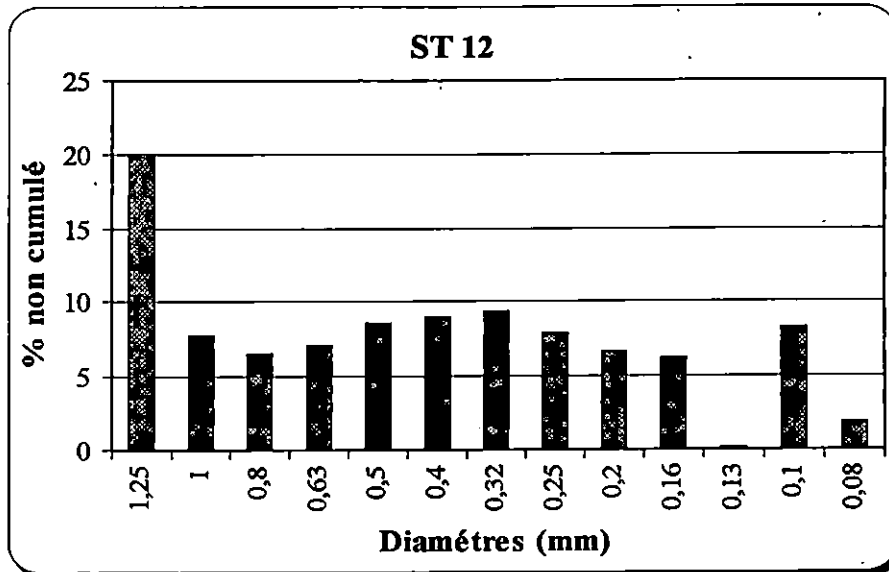


ANNEXE

Station 12

Pf = 33,66 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	6,71	19,93	6,71	19,93
1	2,6	7,72	9,31	27,66
0,8	2,2	6,54	11,51	34,19
0,63	2,38	7,07	13,89	41,27
0,5	2,9	8,62	16,79	49,88
0,4	3,04	9,03	19,83	58,91
0,315	3,16	9,39	22,99	68,30
0,25	2,66	7,90	25,65	76,20
0,2	2,26	6,71	27,91	82,92
0,16	2,1	6,24	30,01	89,16
0,125	0,03	0,09	30,04	89,25
0,1	2,78	8,26	32,82	97,50
0,08	0,65	1,93	33,47	99,44

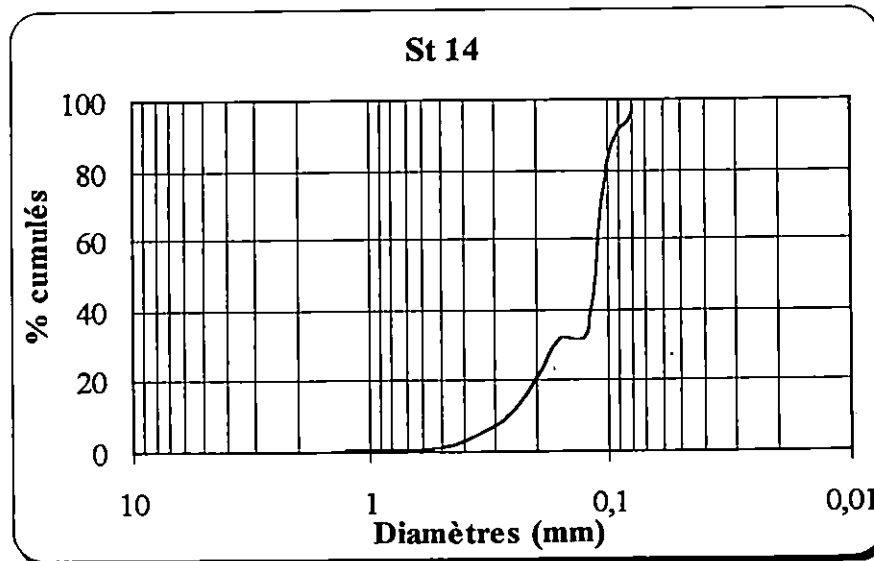
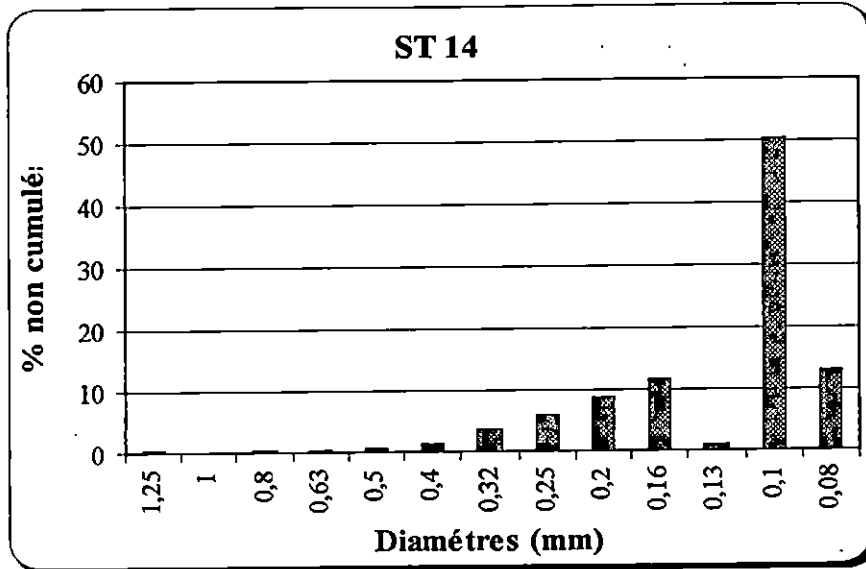


ANNEXE

Station 14

Pf = 122,55 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	0,38	0,31	0,38	0,31
1	0,16	0,13	0,54	0,44
0,8	0,22	0,18	0,76	0,62
0,63	0,25	0,20	1,01	0,82
0,5	0,71	0,58	1,72	1,40
0,4	1,71	1,40	3,43	2,80
0,315	4,26	3,48	7,69	6,27
0,25	7,1	5,79	14,79	12,07
0,2	10,48	8,55	25,27	20,62
0,16	14,13	11,53	39,4	32,15
0,125	1,13	0,92	40,53	33,07
0,1	61,61	50,27	102,14	83,35
0,08	15,75	12,85	117,89	96,20

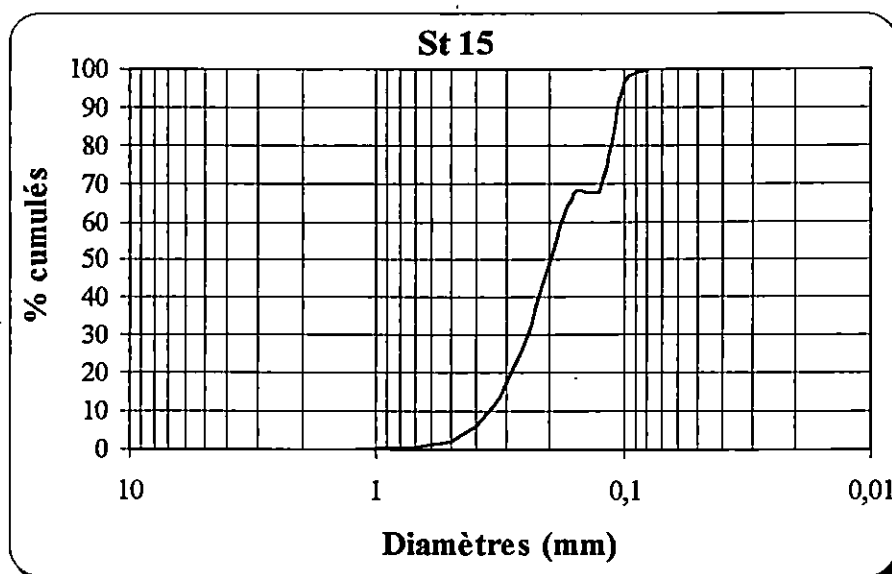
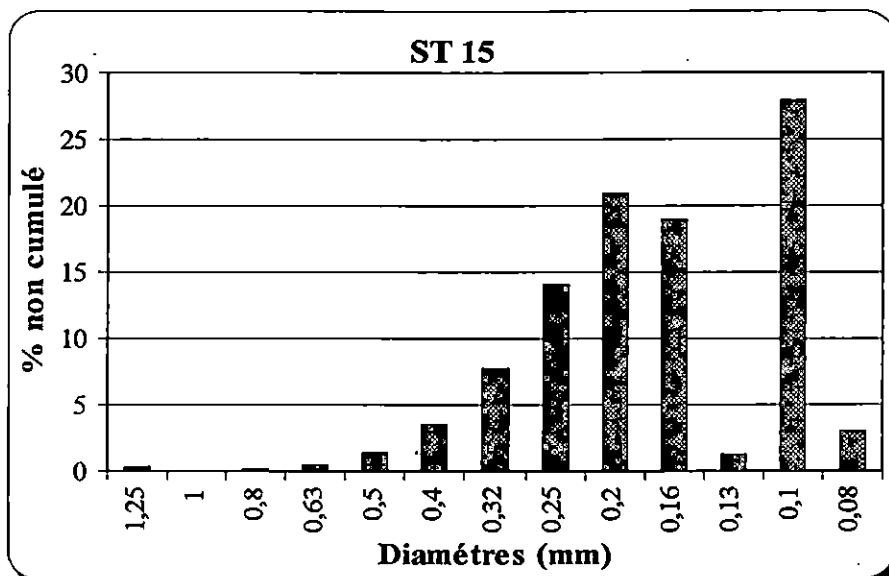


ANNEXE

Station 15

Pf = 140,13 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	0,36	0,26	0,36	0,26
1	0,03	0,02	0,39	0,28
0,8	0,31	0,22	0,7	0,50
0,63	0,68	0,49	1,38	0,98
0,5	2	1,43	3,38	2,41
0,4	4,84	3,45	8,22	5,87
0,315	10,9	7,78	19,12	13,64
0,25	19,82	14,14	38,94	27,79
0,2	29,25	20,87	68,19	48,66
0,16	26,55	18,95	94,74	67,61
0,125	1,63	1,16	96,37	68,77
0,1	39,1	27,90	135,47	96,67
0,08	4,16	2,97	139,63	99,64

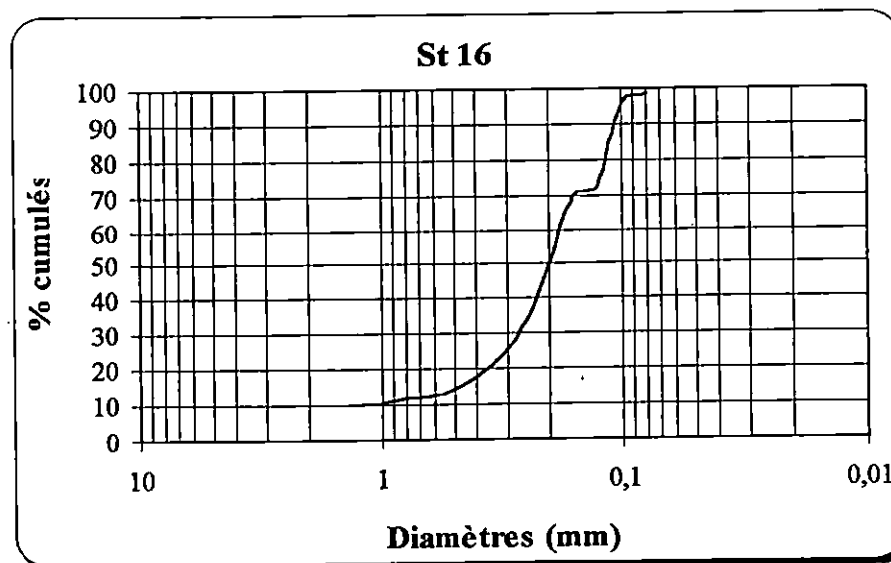
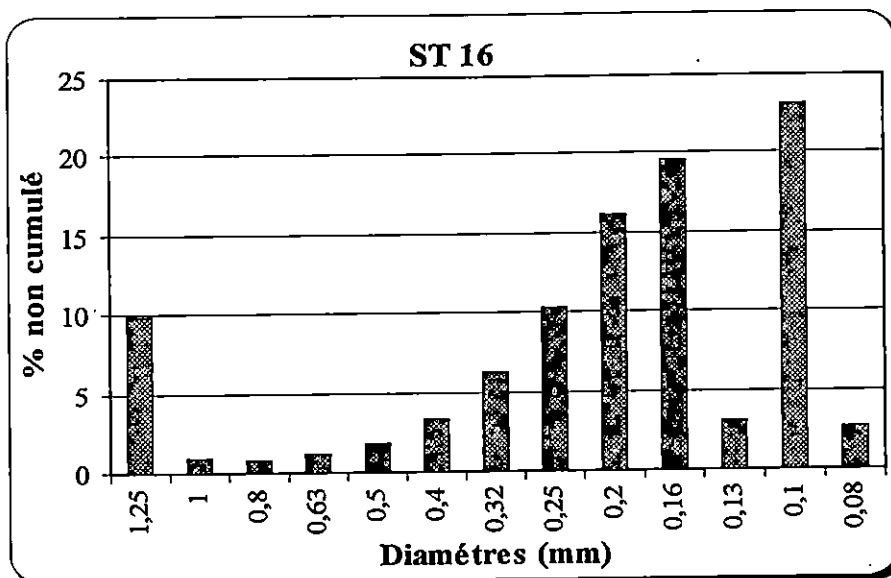


ANNEXE

Station 16

Pf = 90,83 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	9	9,91	9	9,91
1	0,85	0,94	9,85	10,84
0,8	0,68	0,75	10,53	11,59
0,63	1	1,10	11,53	12,69
0,5	1,58	1,74	13,11	14,43
0,4	3	3,30	16,11	17,74
0,315	5,66	6,23	21,77	23,97
0,25	9,36	10,30	31,13	34,27
0,2	14,6	16,07	45,73	50,35
0,16	17,7	19,49	63,43	69,83
0,125	2,79	3,07	66,22	72,91
0,1	21	23,12	87,22	96,03
0,08	2,45	2,70	89,67	98,72

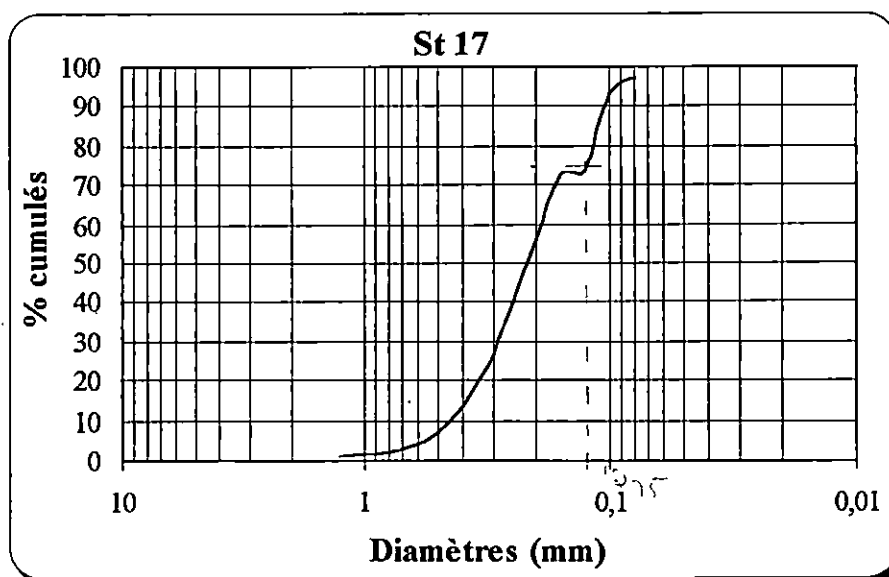
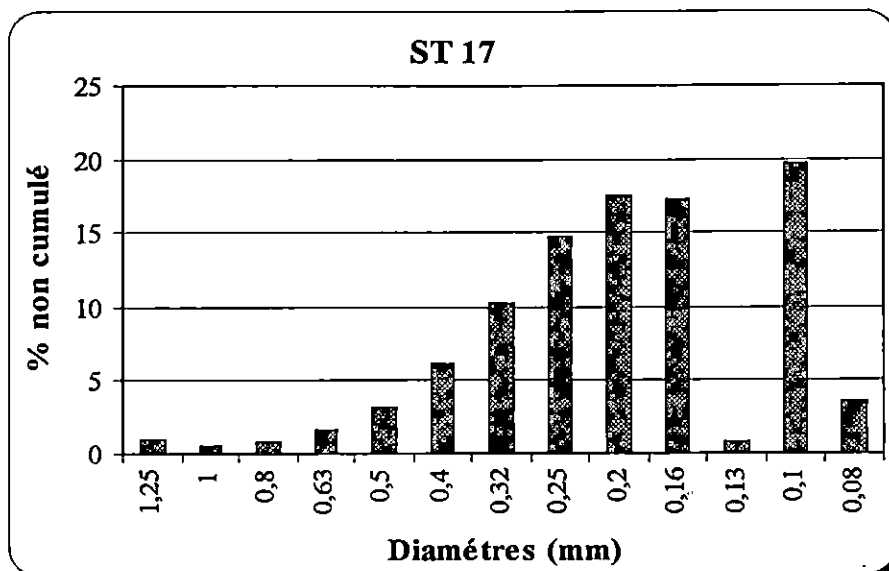


ANNEXE

Station 17

Pf = 134,63 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	1,35	1,00	1,35	1,00
1	0,79	0,59	2,14	1,59
0,8	1,15	0,85	3,29	2,44
0,63	2,18	1,62	5,47	4,06
0,5	4,29	3,19	9,76	7,25
0,4	8,21	6,10	17,97	13,35
0,315	13,82	10,27	31,79	23,61
0,25	19,87	14,76	51,66	38,37
0,2	23,51	17,46	75,17	55,83
0,16	23,2	17,23	98,37	73,07
0,125	1,18	0,88	99,55	73,94
0,1	26,49	19,68	126,04	93,62
0,08	4,84	3,60	130,88	97,21

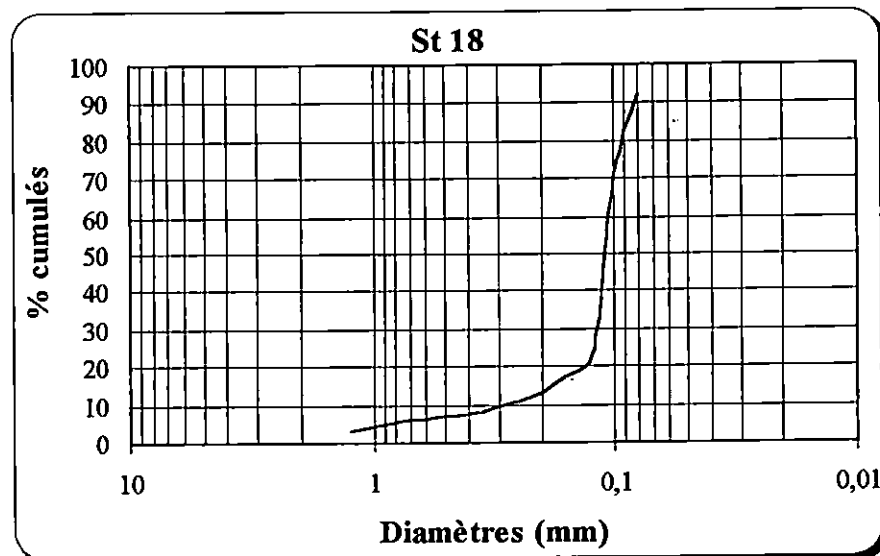
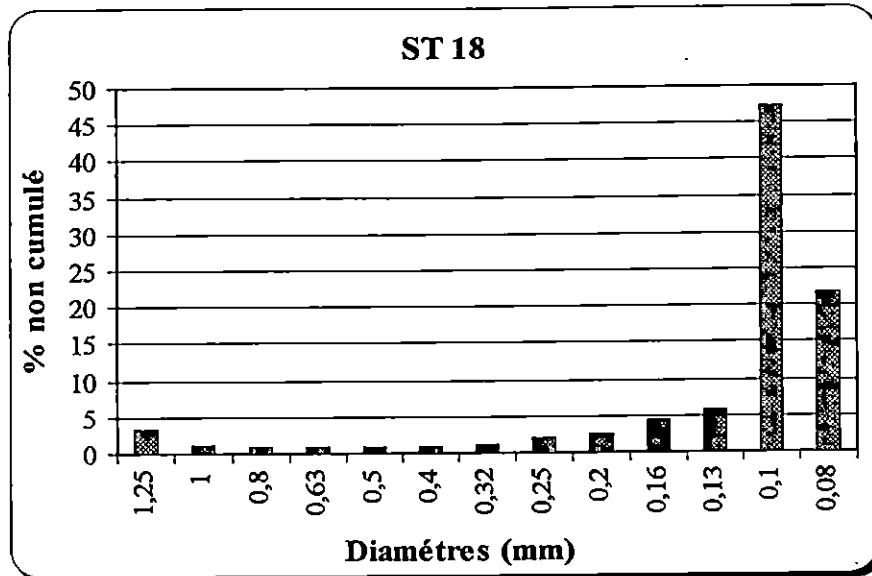


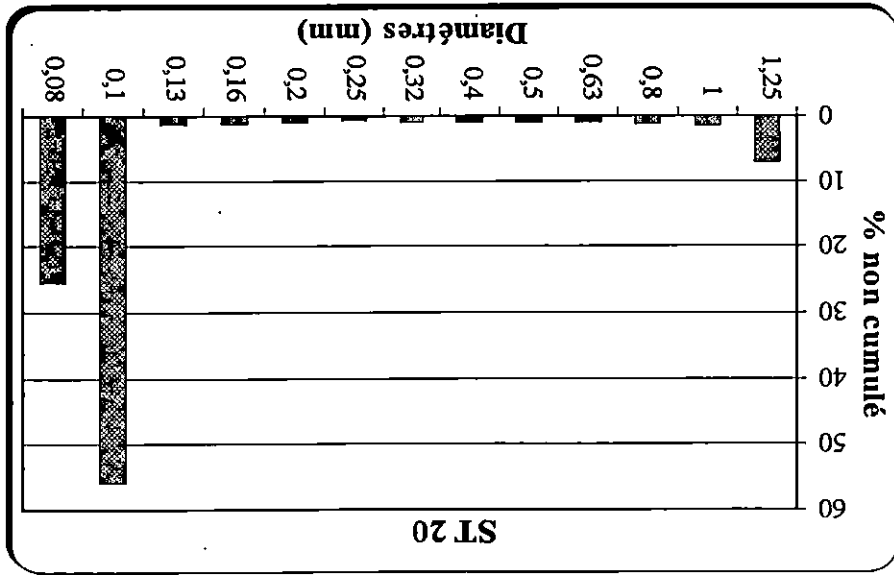
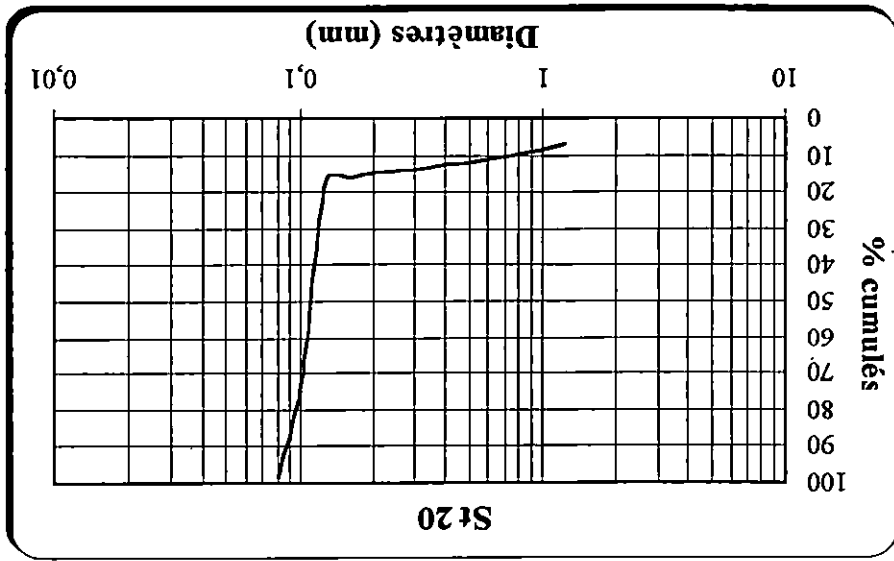
ANNEXE

Station 18

Pf = 20,72 g

Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
1,25	0,69	3,33	0,69	3,33
1	0,2	0,97	0,89	4,30
0,8	0,19	0,92	1,08	5,21
0,63	0,19	0,92	1,27	6,13
0,5	0,18	0,87	1,45	7,00
0,4	0,18	0,87	1,63	7,87
0,315	0,24	1,16	1,87	9,03
0,25	0,38	1,83	2,25	10,86
0,2	0,49	2,36	2,74	13,22
0,16	0,91	4,39	3,65	17,62
0,125	1,19	5,74	4,84	23,36
0,1	9,8	47,30	14,64	70,66
0,08	4,49	21,67	19,13	92,33





Diamètre (mm)	PNC (g)	% NC	PC (g)	PC
0,08	10,62	25,48	41,02	98,42
0,1	23,23	55,73	30,4	72,94
0,125	0,45	1,08	7,17	17,20
0,16	0,5	1,20	6,72	16,12
0,2	0,35	0,84	6,22	14,92
0,25	0,2	0,48	5,87	14,08
0,315	0,38	0,91	5,67	13,60
0,4	0,4	0,96	5,29	12,69
0,5	0,35	0,84	4,89	11,73
0,63	0,4	0,96	4,54	10,89
0,8	0,5	1,20	4,14	9,93
1	0,7	1,68	3,64	8,73
1,25	2,94	7,05	2,94	7,05
PC				

PF = 41,68 g

Station 20

ANNEXE

Tableau n° 3 : Évolution diachronique du fond.

Station	1985	1990	Diff	1993	Différence	1999	Différence
1	-11	-10	1	-12	-2	-8	4
2	-11,5	-11	0,5	-12	-1	-8	4
3	-12	-11,5	0,5	-13	-1,5	-8	5
4	-13,8	-11,5	2,3	-14	-2,5	-8	6
5	-13,3	-11	2,3	-14	-3	-8	6
6	-12,7	-11	1,7	-13,8	-2,8	-10	3,8
7	-13,4	-11	2,4	-14	-3	-15	-1
8	-11,5	-10,5	1	-12	-1,5	-14	-2
11	-12,5	-11	1,5	-14	-3	-14	0
12	-12,3	-11	1,3	-14	-3	-14,9	-0,9
13	-14	-11	3	-14	-3	-14,8	-0,8
Moyenne	-12,55	-10,95	1,591	-13,35	-2,39	-11,15	2,19

Tableau n° 4 : Évolution des points de référence entre 1985 et 1999.

Station	1985	1990	Diff	1993	Différence	1999	Différence
A	-14	-11	3	-14	0	-14,8	-0,8
B	-12,3	-11	1,3	-14	-1,7	-14,9	-0,9
C	-12,3	-11	1,3	-14	-1,7	-14	0
D	-13,7	-11	2,7	-14	-0,3	-14,3	-0,3
E	-11,7	-10,75	0,95	-14	-2,3	-14,5	-0,5
F	-13,5	-11	2,5	-14	-0,5	-9	5
G	-13,6	-12	1,6	-14	-0,4	-8	6
H	-11,5	-11	0,5	-12	-0,5	-8	4
I	-11	-10	1	-12	-1	-8	4