

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'Etat en Aménagement du littoral et protection de l'environnement
Option : Aménagement du littoral

Thème :

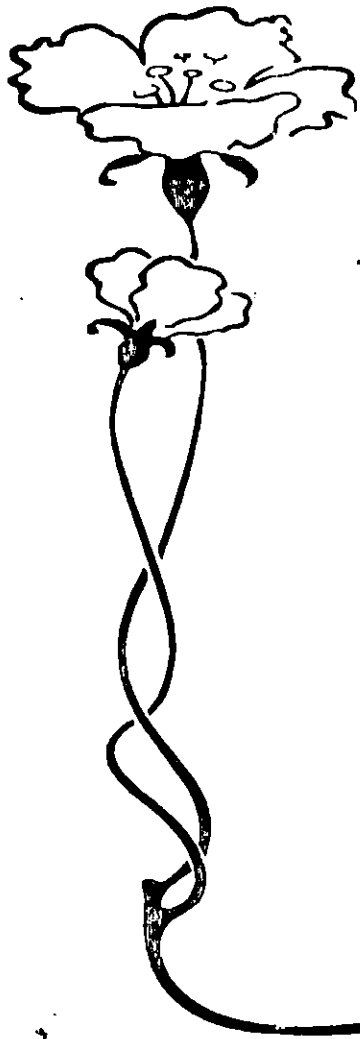
ENSABLEMENT ET DRAGAGE DU PORT DE BENI-SAF :
CONSÉQUENCES ET SITE DE DÉPÔT

Présenté par :

BENZADA KARIMA
DALI KARIMA

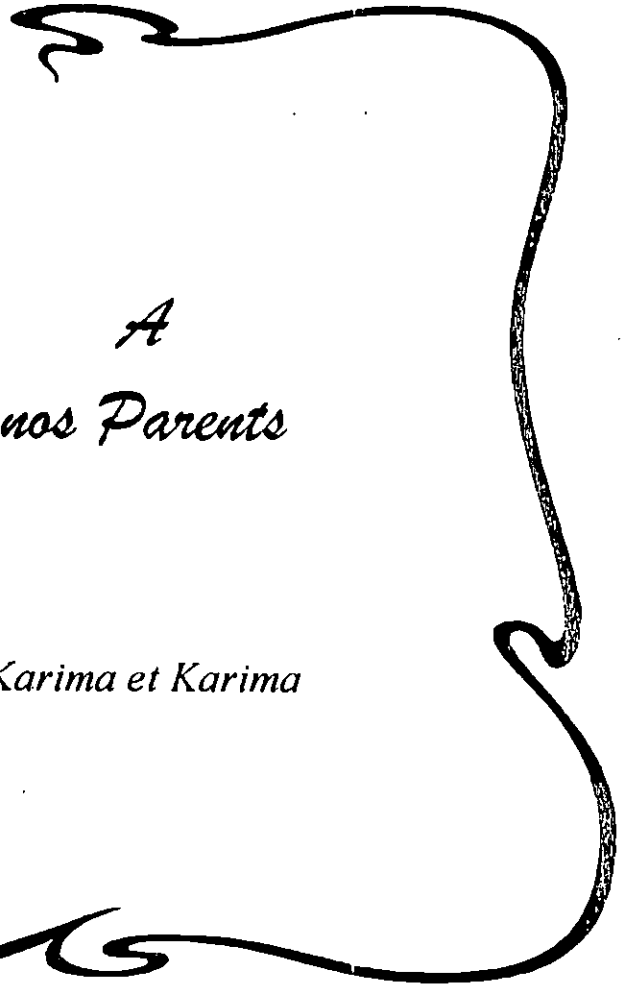
Devant le jury composé de :

R. SEMROUD	Président
R. BELKESSA	Rapporteur
W. REFES	Co-rapporteur
M. LARID	Examineur
M. BOULAHIDID	Examineur



*A
nos Parents*

Karima et Karima



SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: GENERALITES	
1- Historique.....	2
2- Situation géographique.....	2
3- Présentation du Port.....	2
4- Recensement des anomalies observées dans la structure et le fonctionnement du port.....	6
CHAPITRE II: CADRE NATUREL DE LA REGION DE BENI-SAF	
1- Géologie.....	11
2- Géomorphologie.....	14
3- Hydrogéologie.....	16
4- Hydroclimatologie.....	16
CHAPITRE III : HYDRODYNAMISME CÔTIER	
1- La houle.....	21
2- Plans de vagues théoriques.....	25
3- La diffraction.....	28
4- Etude d'agitation sur modèle réduit.....	29
5- Les courants.....	29
6- La marée et les seiches.....	30
7- Estimation du transit sédimentaire.....	30
CHAPITRE IV : EVOLUTION DES FONDS ET DRAGAGES	
1- Entre 1876-1979.....	35
2- Entre 1979-1995.....	40
3- Estimation des volumes de dépôt.....	42
CHAPITRE V : ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE.	
1- Introduction.....	46
2- Méthodologie.....	46
3- Répartition de la fraction vaseuse.....	46
4- Etude des paramètres sédimentologiques.....	46
5 - Répartition des Carbonates.....	55
6 - Analyse modale.....	57
7 - Morphoscopie.....	60

8- Etude minéralogique.....	61
9- Traceur radioactifs et fluorescents.....	62
10- Conclusion.....	63

CHAPITRE VI : ETUDE BENTHIQUE

1- Introduction.....	65
2- Matériel et méthodes.....	65
3- Résultats et discussion.....	69
4- Conclusion.....	78

CHAPITRE VII : POLLUTION

1- Identification des sources de pollution.....	79
2- Pollution par les métaux lourds.....	81

CHAPITRE VIII : DRAGAGES

1- Réglementation des dragages en mer.....	88
2- Techniques des dragages.....	88
3- effet du dragage sur l'environnement.....	90

CHAPITRE VIII : PERSPECTIVES D'AMENAGEMENT

1-Suppression de la porosité et desfranchissements.....	92
2-Réalisation d'un épi perpendiculaire à la jetée Nord.....	92
3- Les dragages.....	95
4- Piège à sable.....	95
5- Extension du port.....	95

CHAPITRE X : SITE DE DEPOT

1- Immersion en mer.....	99
2-Utilisation des matériaux dragués.....	100
3- Dépôt côtier.....	100
4- Dépôt terrestre.....	102

CONCLUSION.....	104
------------------------	------------

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Liste des figures

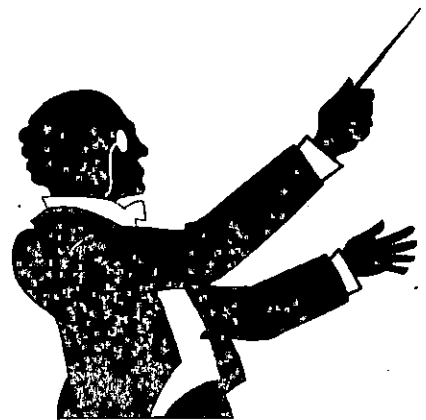
	Page
Figure 1 : Carte de situation géographique de la région de Béni-Saf..	3
Figure 2 : Carte géologique de Béni-Saf.....	13
Figure 3 : Carte géomorphologique du Golfe de NEMOURS.....	15
Figure 4 : Bassin versant de la Tafna.....	17
Figure 5 : Débits liquides et solides mensuels au niveau de la Tafna (1974-1992).....	19
Figure 6 : Taux de précipitation (1974-1994).....	19
Figure 7 : Roses des vents au niveau de la région de Béni-Saf	20
Figure 8 : Roses des houles au niveau de la région de Béni-Saf.....	23
Figure 9 : Plan de vagues théoriques par direction Nord.....	26
Figure 10 : Plan de vagues théoriques par direction Nord-Ouest.....	26
Figure 11 : Plan de vagues théoriques par direction Nord-Est.....	27
Figure 12 : Plan de vagues théoriques par direction Ouest.....	27
Figure 13 : Agitation à l'intérieur du port de Béni-Saf.....	28
Figure 14 : Solution provisoire « INOGON, L.M ».....	33
Figure 15 : Fonctionnement de l'INOGON, L.M.....	34
Figure 16 : Port de Béni-Saf : état 1876.....	36
Figure 17 : Port de Béni-Saf : état 1932.....	37
Figure 18 : Zone de dragage.....	39
Figure 19 : Port de Béni-Saf : état 1979.....	43
Figure 20 : Port de Béni-Saf : état 1995.....	44
Figure 21 : Positionnement des stations.....	47
Figure 22 : Méthodologie.....	48
Figure 23 : Carte des pélites.....	49
Figure 24 : Carte des médianes.....	51
Figure 25 : Répartition de l'indice de classement (S0).....	53
Figure 26 : Répartition de l'indice d'asymétrie (Sk).....	53
Figure 27 : Diagramme de PASSEGA.....	55
Figure 28 : Répartition des carbonates.....	56
Figure 29 : Courbe unimodale.....	58
Figure 30 : Courbe plurimodale.....	58
Figure 31 : Fréquence d'apparition des différents modes.....	58
Figure 32 : Carte des mélanges.....	59
Figure 33 : Schéma des mouvements sédimentaires.....	64
Figure 34 : Carte de positionnement des stations (Benthos).....	66
Figure 35 : Densité des groupes zoologiques.....	71
Figure 36 : Nombre d'espèces des groupes zoologiques.....	71
Figure 37 : Fréquence d'apparition des groupes écologiques.....	72
Figure 38 : Densité de la macrofaune benthique.....	74
Figure 39 : Nombre d'espèces de la macrofaune benthique.....	74
Figure 40 : Zonation biologique du port de Béni-Saf.....	76
Figure 41 : Vue d'ensemble du dispositif expérimental.....	82

Figure 42 : Spectre de fluorescence de l'échantillon SED3.....	84
Figure 43 : Spectre de fluorescence de l'échantillon SED9.....	84
Figure 44 : Niveau de concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels du port de Béni-Saf.....	85
Figure 45 : Niveau de concentration en Fer dans les sédiments superficiels du port de Béni-Saf.....	85
Figure 46 : Epi perpendiculaire à la jetée Nord.....	94
Figure 47 : Piège à sable au niveau de la passe d'entrée.....	96
Figure 48 : Extension du port de Béni-Saf.....	97
Figure 49 : Dépôt côtier.....	101
Figure 50 : Coupe topographique au niveau de la plage Sidi-Boucif.....	103
Figure 51 : Plage Sidi-Boucif : extrait de la carte topographique de Béni-Saf.....	103

Liste des PHOTOS

	Page
Photo 1 : Acheminement du minerai de Fer jusqu'au port.....	5
Photo 2 : Pose de blocs d'enrochements et de blocs cubiques.....	5
Photo 3 : Absence du mur de garde et importance des franchissements.....	8
Photo 4 : Occupation du bassin portuaire.....	8
Photo 5 : Chute des cubes rainurés.....	9
Photo 6 : Plage emergente.....	10
Photo 7 : Balise de repérage au niveau de la passe d'entrée.....	41
Photo 8 : Face interne de la jetée Nord : état 1988.....	45
Photo 9 : Face interne de la jetée Nord : état 1995.....	45
Photo 10 : Bouche d'égout au niveau du port de Béni-Saf.....	80
Photo 11 : Drague à benne preneuse.....	91
Photo 12 : Dépôt de produits dragués.....	91
Photo 13 : Suppression de la porosité de la digue Nord.....	93

INTRODUCTION



INTRODUCTION

Laissées à leurs cours naturel, les rivières transportent progressivement jusqu'à la mer, en période des crues, des quantités importantes de sédiments arrachés aux versants par ruissellement des eaux de pluie.

En aménageant la côte de Béni-Saf par la construction d'un port, le transit naturel de ces sédiments a été modifié, causant ainsi un important problème d'ensablement et une perturbation des activités portuaires.

Pour réduire cet ensablement, des opérations de dragage sont nécessaires. Ces dernières mettent en oeuvre une gamme de techniques sophistiquées et interviennent d'une façon significative dans le coût et la gestion d'un port.

Ces dragages sont à l'origine d'important impacts lors des travaux et du dépôt des produits dragués, surtout si ces derniers sont pollués.

Cette étude constitue une contribution d'une part, à la connaissance des différents facteurs hydrodynamiques et sédimentologiques, susceptibles d'intervenir dans le processus d'ensablement et d'autre part, à l'évaluation des conséquences de ces dragages sur l'environnement, éventuellement sur la macrofaune benthique. Le degré de pollution des sédiments du port, qui feront l'objet des dragages, sera évalué par analyse des métaux lourds.

La synthèse des résultats obtenus nous permettra de proposer des solutions susceptibles de ralentir cet ensablement et un site de dépôt en tenant compte surtout de la protection de l'environnement.

CHAPITRE I

GENERALITES



1- HISTORIQUE

Le port de Béni-Saf a été construit entre 1877 et 1880 pour les besoins de l'économie coloniale axée sur les exportations, suite à la découverte d'un important gisement de minerai de fer dans la région Béni-Saf (photo 1).

Le port est connu également pour ses exportations de vin qui constituent avec le minerai de fer les deux principaux produits d'exportation.

Durant les années 1974 -1976, le port a subi quelques modifications:

- La jetée Est a été d'une part prolongée d'où, une réduction de la passe d'entrée à 140 m et d'autre part élargie par la réalisation d'un quai.

- Le fond du port a été aménagé (réalisation d'une cale de halage et de quais).

Durant la période (1979-1985), le trafic de marchandises a considérablement chuté depuis les baisses enregistrées par ces deux produits principaux d'exportation. Par contre, la pêche a connu un développement très important.

Depuis 1990, le port initialement mixte, est devenu exclusivement un port de pêche. Il a été touché par la tempête destructrice de Décembre 1980, qui a endommagé l'ensemble des embarcations de pêche qui n'était à cette époque que de 51.

Cependant, depuis sa construction, le port souffre d'un ensablement qui se présente sous la forme d'une flèche à l'extrémité de la digue Nord et d'une bande sableuse découvrant le long de la face interne de cette même digue, plus spécialement dans sa moitié Ouest.

Cette situation entraîne une gêne pour la navigation et oblige l'administration portuaire à exécuter des dragages d'entretien évalués à 70.000 m³ par an; mais depuis le dragage massif de 1979, aucun dragage n'a été effectué jusqu'à cette année.

2- SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le port de Béni-Saf (35° 18' N 26" et 1° 23' W 16") est situé sur la côte algérienne (figure 1) à environ 80 km à l'Ouest d'Oran et à 65 km au Nord de Tlemcen, implanté au fond d'une baie qui s'étend sur 14 km du cap ACRA à l'Ouest au cap OULHASSA à l'Est. Cette baie en arc de cercle est très ouverte aux houles des secteurs Ouest, Nord et Est.

La côte entre le cap d'ACRA et le cap OULHASSA est constituée de hautes falaises formées de bancs de grès alternant avec de puissantes couches de sable.

On ne trouve que deux plages de sable, l'une appelée plage du puits s'étend sur environ 1 km immédiatement à l'Ouest du port de Béni-Saf, l'autre dite plage de ROCCHOUS se trouve au débouché d'un Oued important " la TAFNA " entre le cap d'ACRA et le cap ROCCHUS.

3- PRESENTATION DU PORT

Le port de Béni-Saf initialement mixte (pêche, commerce) est devenu exclusivement de pêche depuis 1990; c'est un centre de pêche parmi les plus importants au niveau national, par les unités de pêche existantes, le nombre d'inscrits maritimes et par le volume conséquent de la production halieutique, vouée soit à la consommation directe, soit aux unités de transformations.

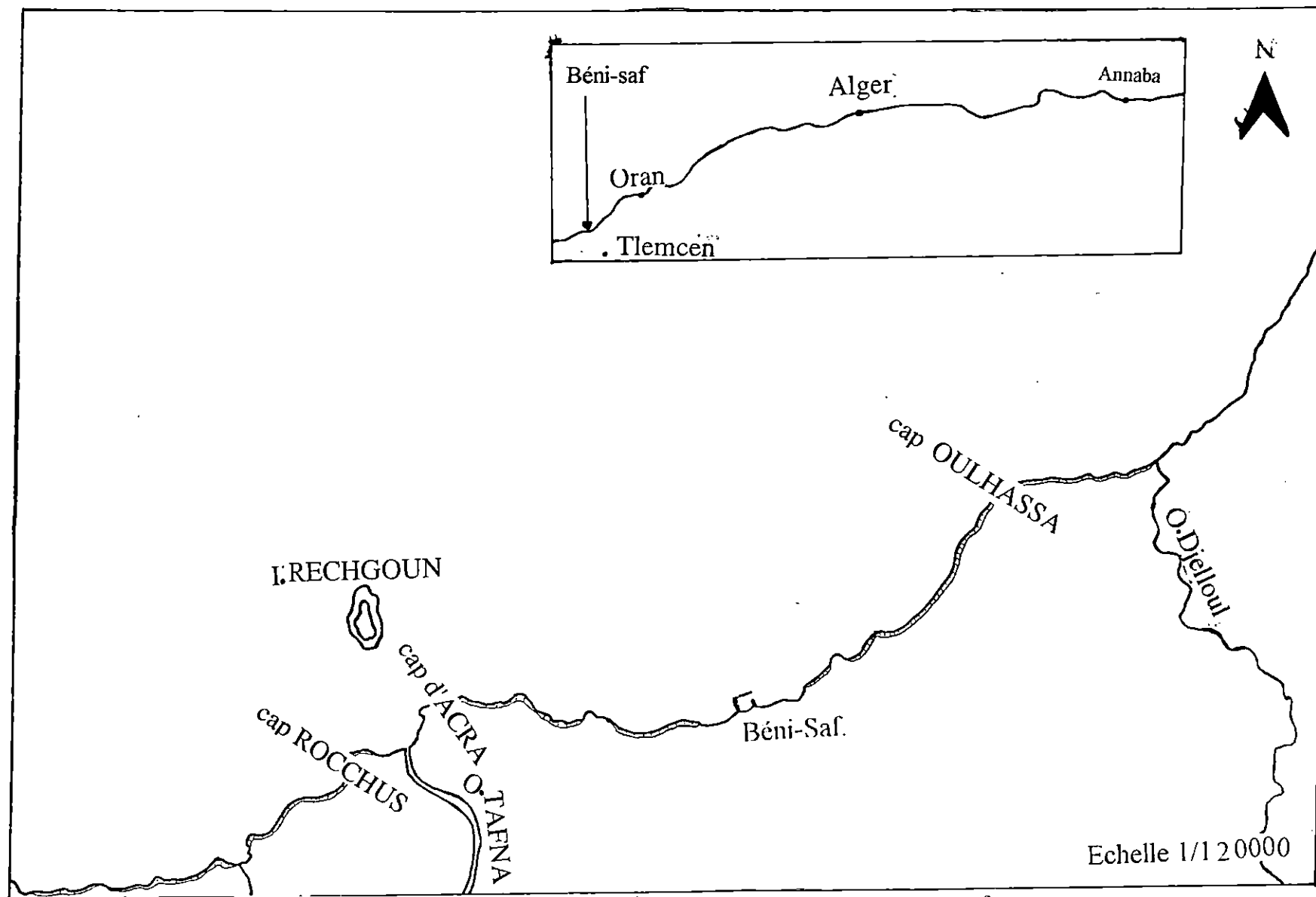


Figure 1 : Carte de situation géographique de la région de Béni-Saf.

3.1- Caractéristiques techniques

De forme sensiblement rectangulaire, le port de Béni-Saf présente un plan d'eau d'environ 180.000 m² délimité par trois jetées, Ouest, Est et Nord.

Les deux premières parallèles entre elles, sont enracinées perpendiculairement au rivage et orientées au 336°(Lambert). La jetée Nord raccordée à la jetée Ouest court dans une direction normale à celle des deux autres.

La passe d'entrée, ouverte à l'Est-Nord-Est, a une largeur initiale de 160 m. Les largeurs respectives des ouvrages sont :

- 440 m pour la jetée Ouest arasée à la côte (+8,00) en moyenne.
- 270 m pour la jetée Est arasée à la côte (+3,75) environ.
- 500 m pour la jetée Nord arasée entre (+7,00) et (+8,00) sur 80 m à son raccordement avec la jetée Ouest entre (+5,00) et (+6,00) pour toute la partie qui couvre le port, elle se prolonge sur 140 m au delà de l'alignement de la jetée Est pour couvrir la passe et l'avant port.
- 200 m pour le quai Est réservé aux navires de pêche.
- 186 m pour le quai Sud composé de deux parties: Un quai de pêche et un quai d'armement.

La surface des terres pleins est de 13 ha avec une surface abritée (hangars) de 1885 m².

Il existe également au niveau du port des infrastructures liées à la pêche telles qu'une conserverie de poisson, des ateliers de constructions et de réparation navale ainsi que des locaux administratifs rattachés à l'Agence Nationale pour le Développement de la Pêche (A.N.D.P).

-Une cale de halage rudimentaire dans la partie Sud du port ne subvenant pas aux besoins de la flottille.

-Les digues ont été confortées par la pose de blocs d'enrochements et de blocs cubiques (photo 2).

3.2- La pêche

3.2.1- Flottille de pêche

La flottille de pêche a incontestablement évoluée depuis 1979 (tableau 1), malgré la destruction d'une grande partie en Décembre 1980 par la tempête ayant sévi à l'Ouest du pays.

Tableau 1 Flottille de pêche (donnes d'après l'A.N.D.P)

Type de navire	Tirant d'eau (m)	Pied de pilote (m)	Nombre de bateaux / an			
			1964	1979	1988	1994
Chalutiers	3.50	0.25	23	19	45	36
Sardiniers	3.00	0.25	14	16	33	28
Petits métiers	1.00	0.55	41	17	34	42
		Totaux	78	52	112	106

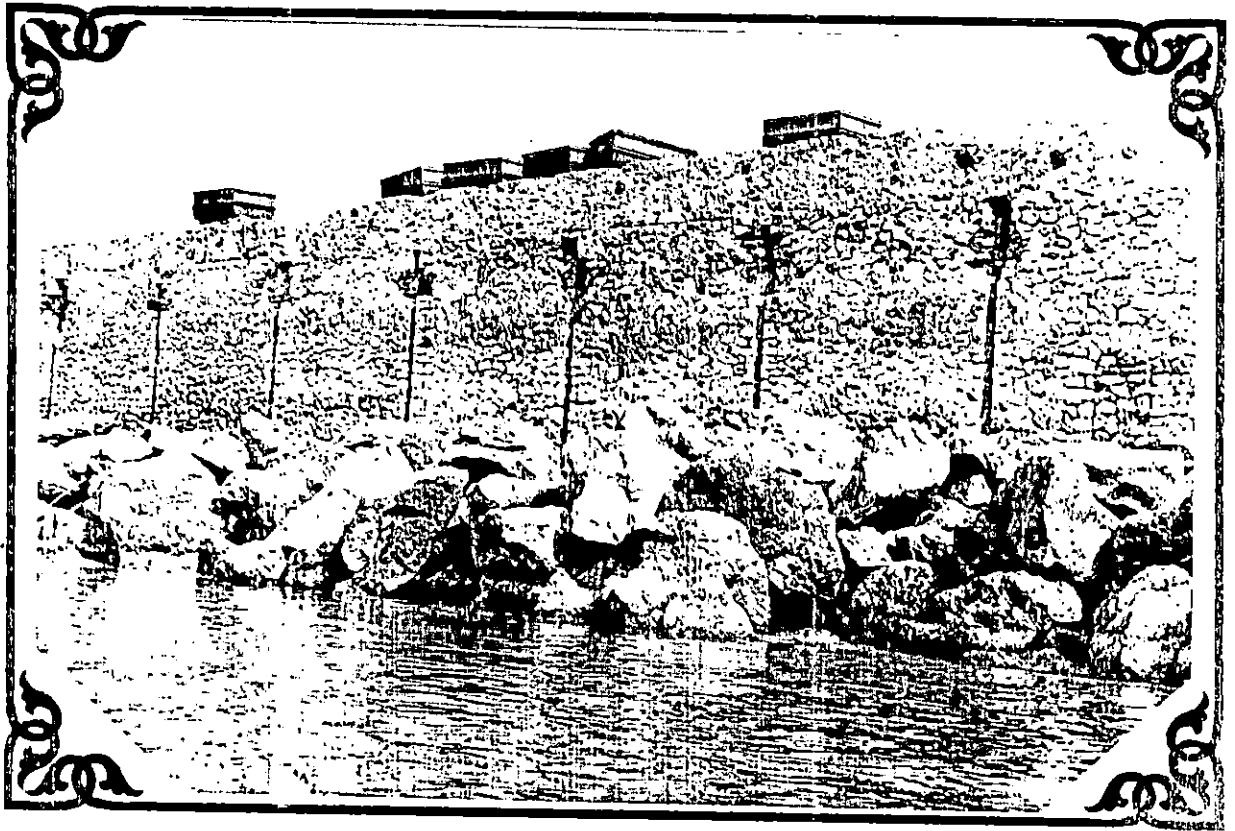


Photo 1 : Acheminement du minerai de fer jusqu'au port.



Photo 2 : Pose de blocs d'encrochements et de blocs cubiques.

3.2.2-La population de pêcheurs:

On compte 2000 inscrits maritimes dont 150 patrons de pêche. Elle est caractérisée par un âge moyen de 35 ans, un faible niveau scolaire et un manque de qualifications. Les navires sont équipés d'un sondeur, d'un poste de radio émetteur-récepteur et quelquefois d'un radar (pour les chalutiers).

3.2.3- La production halieutique

Au cours de ces quinze dernières années, la production halieutique (en tonnes) s'est multipliée. le poisson bleu représente les débarquements les plus importants (tableau 2).

Tableau 2 : Production halieutique (Données d'après A.D.N.P)

Année	Poisson blanc	Poisson bleu	Crustacés	Total
1979	1.175	3.394	111	4.681
1988	1.280	6.975	265	8.503
1994	1069	8655	225	9949

4- RECENSEMENT DES ANOMALIES OBSERVEES DANS LA STRUCTURE ET LE FONCTIONNEMENT DU PORT

Les observations personnelles effectuées en MAI 1995, ont permis de recenser les anomalies suivantes dans la structure du port de Béni-Saf:

- Inexistence d'une cale de halage pouvant répondre à la forte demande de mise à sec.
- Le plan d'eau de 18 ha ne suffit pas pour abriter un nombre important de navires.
- Existence de cavernes et affouillements importants du côté intérieur du port, localisés surtout sur le dernier tronçon de la jetée Nord où le mur de garde est inexistant et les franchissements les plus importants sont destructeurs. Leur volume total a été estimé à 200 m³ (photos 3 et 8).
- Les 120 derniers mètres de la jetée Nord sont dépourvus de mur de garde (photo 2), ce qui aggrave l'affouillement à l'arrière de la superstructure actuelle, par la création de cavités laissant passer également de grandes quantités de sable vers l'intérieur au cours des tempêtes. L'agitation à l'intérieur du port est aussi amplifiée à cause de cela.

- Le problème inhérent aux conditions d'accostage et de sécurité de la flottille demeure posé, lorsqu'on sait que celle-ci totalise une longueur de 2144 mètres et n'utilise actuellement que 219 m.
- L'occupation du bassin portuaire par les navires de pêche limite inévitablement le plan d'eau et par conséquent rétrécit le cercle d'évitage nécessaire à la manoeuvre des navires (photos 4).
- Les cubes rainurés et enrochements déposés pour renforcer la jetée Nord sont tombés (photo 5).
- L'ensablement de la passe d'entrée et du bassin gênent l'entrée des navires. Une plage émergente apparaît même dans l'angle Ouest de la digue Nord (photo 6).

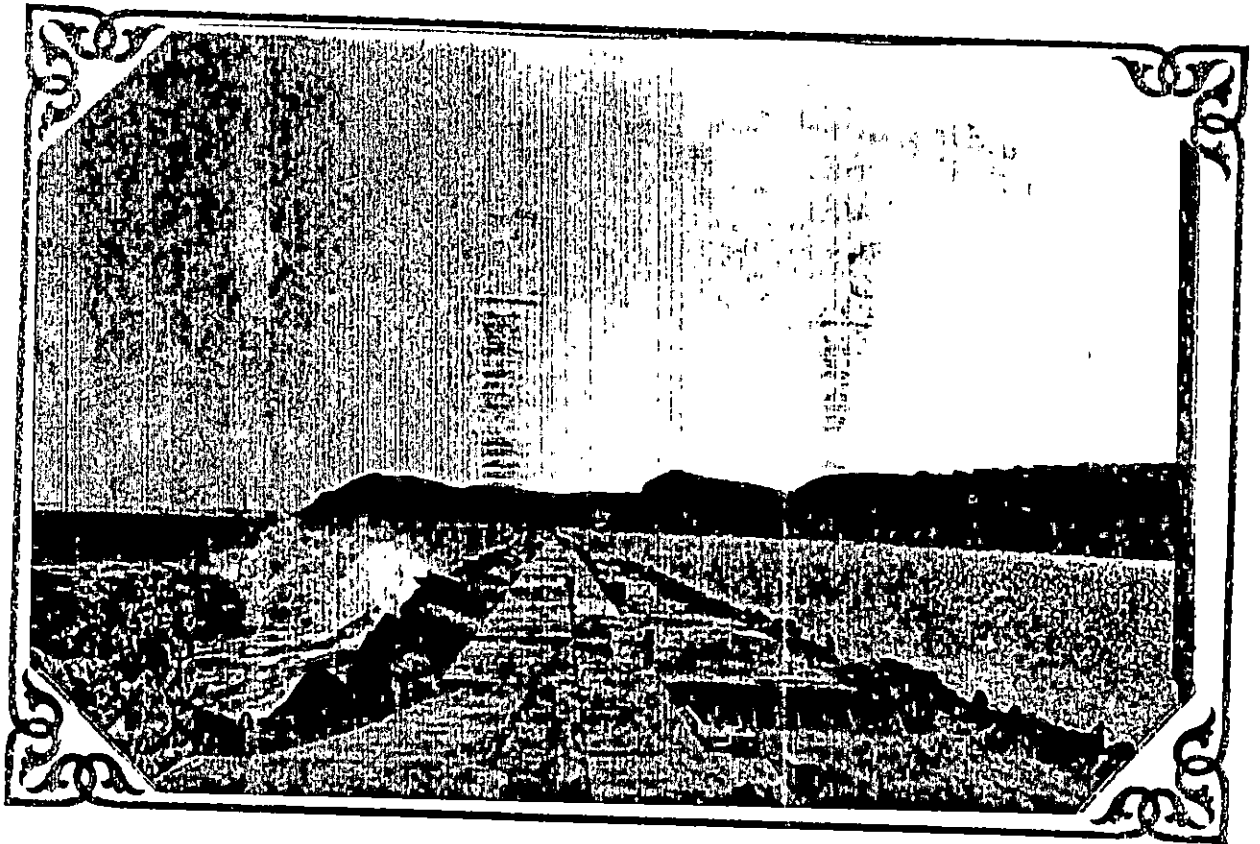


Photo 3 : Absence du mur de garde et importance des franchissements.

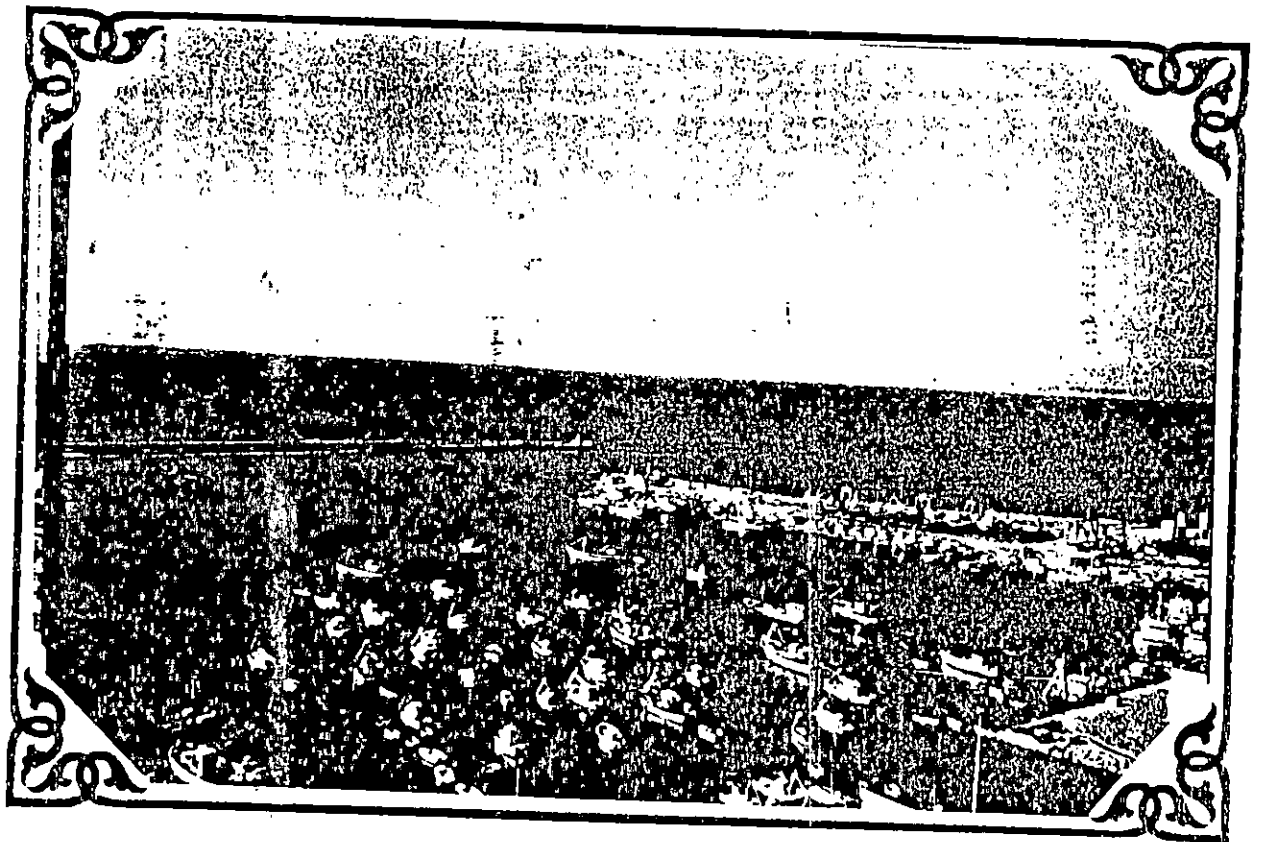


Photo 4 : Occupation du bassin portuaire.

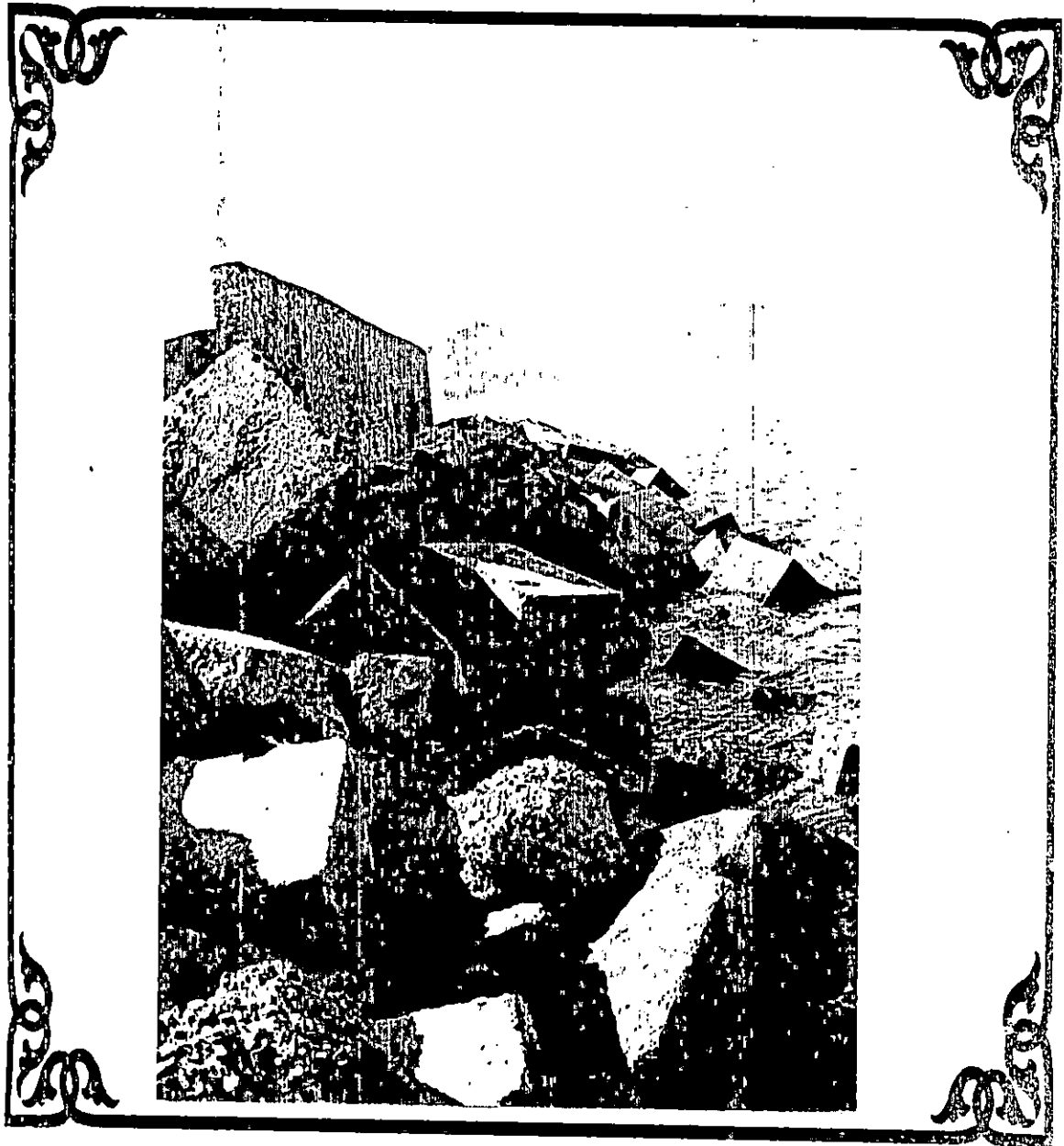


Photo 5 : Chute des cubes rainurés.

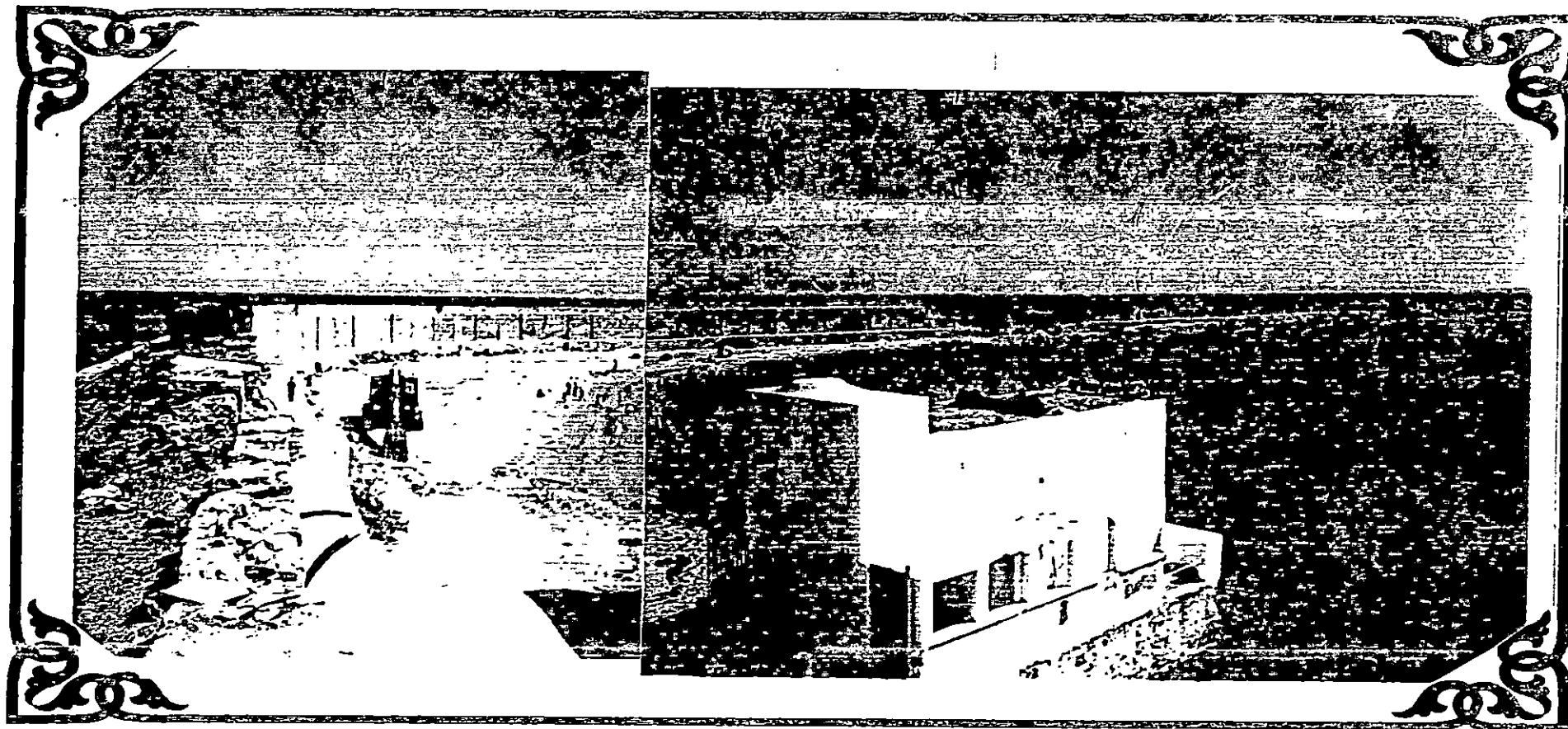
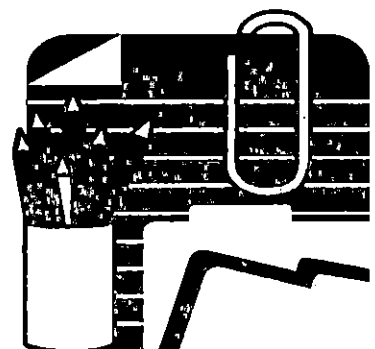


Photo 6 : Plage emergente.

CHAPITRE II
CADRE NATUREL
DE LA REGION DE
BENI-SAF



1- GEOLOGIE

1.1- Stratigraphique

La séquence stratigraphique et lithologique présentée dans cette région (figure 2) est la suivante (SADRAN, 1958):

□ **Primaire** : A la lumière des travaux récents, seuls les schistes du massif des Traras peuvent être attribués au Primaire. Les autres ont livré quelques rares vestiges d'organismes qui permettent de les rattacher à des formations plus récentes.

□ **Permo-Trias** : Dans la plus part des gisements littoraux, le Permo-Trias apparaît localement suivant le jeu de la tectonique locale. Il est représenté par un conglomérat grossier fortement induré, formé de galets de quartz laiteux et de quartzite.

□ **Jurassique** : Lias inférieur et moyen représenté par des calcaires massifs à megalodontidés passant parfois à des calcaires à gros silex.

A l'Est de la Tafna, la sédimentation Jurassique qui a pu être compréhensive et englobé une partie du Crétacé, est représentée par une épaisse série de calcaires et de schistes, dans laquelle le seul fossile trouvé est un perisphinctidé mal conservé mais reconnu comme appartenant à la période « Jurassique supérieur ».

□ **Eocène** : D'après les travaux récents de A. Perrodon et Tempéré (1953) in SADRAN (1958), l'Eocène en position stratigraphique normale, ferait défaut dans toute la zone comprise entre le bord de la Tafna et Béni-Saf.

□ **Miocène** : C'est le groupe le plus largement représenté dans toute la zone étudiée.

- **Miocène inférieur** : parmi les sédiments attribués à cet âge, figurent les faciès marneux et gréseux qui affleurent largement dans les positions orientales et occidentales de la zone étudiée; ainsi que le long du cours moyen de la Tafna. Un âge du miocène inférieur reste probable pour les marnes grises du cours moyen de la Tafna. Elles sont, en effet, surmontées par des formations détritiques grossières qui marquent la transgression du miocène supérieur.

- **Miocène moyen** : La partie supérieure de cet étage est gréseuse. Elle forme les falaises tout le long de la côte.

A Béni-Saf, cette assise débute par un grès grossier, duquel a été extraite une faune de clypeostres associée à des pectens. Au dessus, l'assise se continue par des grès sableux.

- **Miocène supérieur** : représenté par un calcaire blanc qui forme principalement le plateau de Sidi-Safi. Quelques lambeaux démantelés s'observent encore dans la vallée de l'Oued Djelloul.

□ **Pliocène** : Le Pliocène récent est représenté par un sable rouge, quelquefois argileux, dunes ou alluvions anciens avec faunes de mollusques terrestres. le plus souvent à l'état de moules indéterminables. Ces sables forment une bande discontinue le long de la falaise située à l'Est et au Sud du port à une altitude d'une centaine de mètres.

-**Pliocène supérieur** : Le massif volcanique de Béni-Saf et de la basse Tafna, correspond à un ensemble important de déjections basaltiques qui couvre une superficie d'environ 200 km². Il s'étend sur 30 km de côte entre le cap Oulhassa au Nord-Est et la cap Sidi-Mohamed El Ourdani au Sud-Ouest. Entre Béni-Saf et le cap Oulhassa, il se réduit à quelques pointements isolés dans les formations sédimentaires.

Le long des 7 km de falaises qui séparent Béni-Saf de la Tafna, ces formations basaltiques présentent une variété que l'on ne retrouve en aucun autre point du littoral.

□ **Le Quaternaire** : Le Quaternaire ancien est largement représenté sous le faciès continental villafranchien, entre l'embouchure de la Tafna et celle de l'Oued El Hallouf. Cette formation de dunes anciennes dessine un cordon littoral étroit de sable rouge à Hélix qui surmonte les niveaux du miocène supérieur. Elle n'est recouverte dans cette région que par les formations volcaniques ou par les dépôts dunaires actuels.

1.2- La tectonique

Bien qu'elle n'a été envisagée que d'un point de vue schématique, l'étude tectonique de cette région révèle l'existence d'un véritable « carrefour » structural. La rencontre d'unités tectoniques de style entièrement différent paraît avoir été le facteur déterminant d'une activité volcanique extraordinaire.

Les failles principales ont une orientation (Sud-Sud-Ouest, Nord-Nord-Est), se situant principalement le long de l'Oued Tafna et au Sud du port de Béni-Saf.

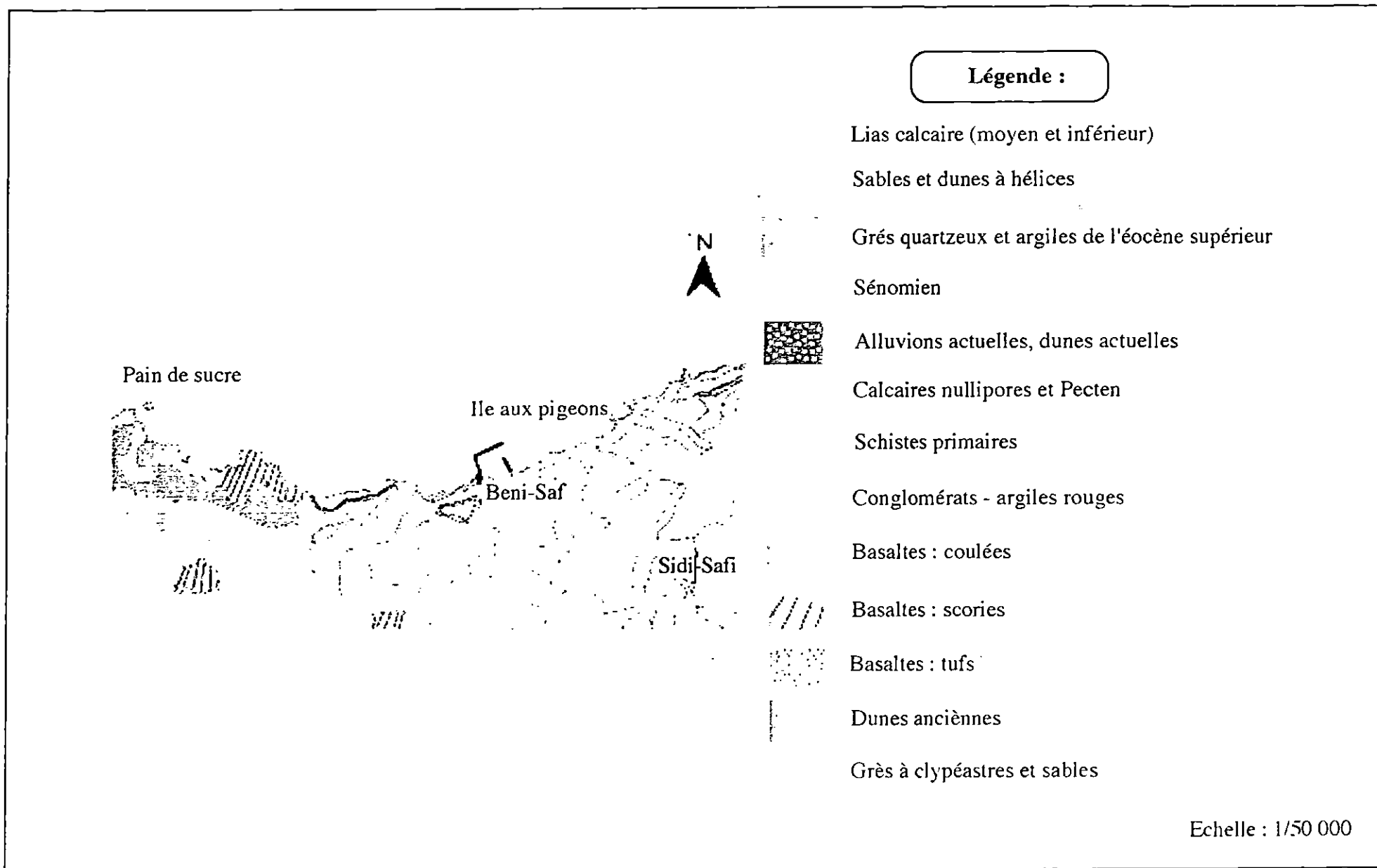


FIG. 2 : Carte géologique de Beni-Saf (Gentil, 1900)

2- GEOMORPHOLOGIE

2.1- Morphologie du plateau continental

Du cap des trois farouches (Maroc) au cap Figalo, la ligne du rivage dessine un grand golfe très ouvert sur la Méditerranée : le Golfe de Nemours. La partie algérienne qui le borde est le prolongement morphologique du plateau méditerranéen du Maroc. Très homogène d'aspect, il est large : plus de quinze kilomètres en moyenne et présente trois zones différentes : une bordure littorale de 0 à 50 m, de pente plus forte que la plate-forme continentale qui lui fait suite de 50 à 150 m. Cette plate-forme est limitée à son tour vers le large par le rebord continental, nettement dessiné, qui descend au dessous de 200 m sur un glacis de faible déclivité formant le début de la pente continentale. La bordure littorale peut être abrupte voire même subverticale (cap Noé) tandis que la plate-forme continentale est superficiellement en reliefs peu prononcés.

Il est à remarquer qu'aucune vallée sous-marine ni aucun canyon ne perturbe la régularité de ce plateau. (LECLAIRE, 1972).

2.2- Répartition des sédiments dans le Golfe de Nemours (figure 3)

2.2.1- Les sédiments calcaires

- *Les sables, graviers et vases calcaires* : sont répandus dans le golfe de Nemours. Ils forment quelques petits « Ilots » disséminés entre les isobathes 100 et 150 m.
- *Les vases calcaréo-argileuses* : acquièrent dans cette région une grande extension. Elles se développent suivant une « grande écharpe » ne recouvrant pratiquement que la plate-forme continentale comprise entre les isobathes 100 et 150m.
- *Les vases calcaréo-siliceuses* : participent à l'édification de la bordure littorale meuble entre le cap Noé et l'embouchure de la Tafna.
- *Les boues calcaréo-argileuses* : sont un cas très particulier dans le golfe de Nemours où elles font la transition entre les vases calcaréo-argileuses et les boues argilo-calcaires.

2.2.2- Les sédiments siliceux

- *Les sables et sablons siliceux* : La frange littorale est très réduite du cap Figalo à Nemours, elle forme cependant quelques belles plages au fond de criques et d'anses entaillées dans la côte élevée de cette région, aux débouchés d'oueds.

A Béni-Saf et aux débouchés des Oueds El Hallouf et Sidi-Djelloul, cette frange sablonneuse est formée par un sable roux fin bien calibré à quartz émoussé et de débris calcaires.

Au débouché de la Tafna, les sables sont plus grossiers et plus mal classés.

- *Les vases Silico-Calcaires* : Ces sédiments forment quelques petites vasières littorales échelonnées du cap Figalo au cap Traras et qui s'intercalent entre les sables et sablons siliceux et les vases calcaréo-argileuses.

- *Les boues silico-argileuses* : Les boues du large, au droit de Béni-Saf, semblent être un cas exceptionnel. Elles sont semblables aux boues argilo-siliceuses avoisinantes.

Devant Béni-Saf et en bordure de la frange sablonneuse qui s'étend de Nemours au cap Millonia, c'est un mélange de la partie la plus fine des sablons de l'avant plage.

2.2.3- Les sédiments argileux

- *Les boues argilo-calcaires* : constituent un véritable faciès à caractères propres, très étendu sur la plate forme continentale et le rebord du golfe de Nemours.

- *Les boues argilo-siliceuses* : sont de deux types : les boues du large et du rebord continental et les boues des vasières côtières. La différence entre ces deux types se situe au niveau de la fraction arénitique.

- *Les vases argilo-calcaires* : sont un cas particulier des vases calcaréo-argileuses, seule la teneur en argile en fait, les différencie.

3- HYDROGÉOLOGIE

Il ne peut échapper au lecteur qu'une étude hydrogéologique est indispensable pour montrer les zones probables de dépôt, ayant des fonds perméables pouvant être contaminer par les eaux d'infiltration du dépôt des déblais dragués.

Dans cette région, les formations du miocène et du pliocène sont importantes et présentent quelques intérêts hydrogéologiques. Les calcaires du miocène supérieur sont fortement fissurés et très perméables. La nappe du plateau calcaire de Sidi-Safi s'écoule vers le Nord en direction de la mer. À la faveur de la tectonique, une partie s'en échappe, toutefois pour donner naissance à quelques petites sources en bordures Sud du plateau et à la source importante de Ain-Tinekrempte en bordure Ouest.

À l'extrémité Nord du plateau, la nappe des calcaires se regroupe dans des horizons conglomératiques du pliocène de la basse vallée de l'Oued Djelloul.

L'alimentation en eau potable de Béni-Saf se fait actuellement à partir des sources situées dans son voisinage dont la plus importante est celle de « Ain Tinekrempte » et du forage de Sidi-Djelloul.

4- HYDRO-CLIMATOLOGIE

4.1- Hydrologie

Le réseau hydrographique débouchant dans notre zone d'étude (figure 3) est constitué essentiellement de trois Oueds :

- Oued Tafna
- Oued El Hallouf
- Oued Djelloul

Le plus important, étant l'oued Tafna, couvre une superficie totale de 6900 km² dont un peu moins du tiers est situé sur le territoire Marocain (figure 4). Son réseau hydrographique se présente sous forme de deux branches principales : l'Isser à l'Est, la Tafna à l'Ouest; recevant chacune de nombreux affluents descendant des monts de Tlemcen.

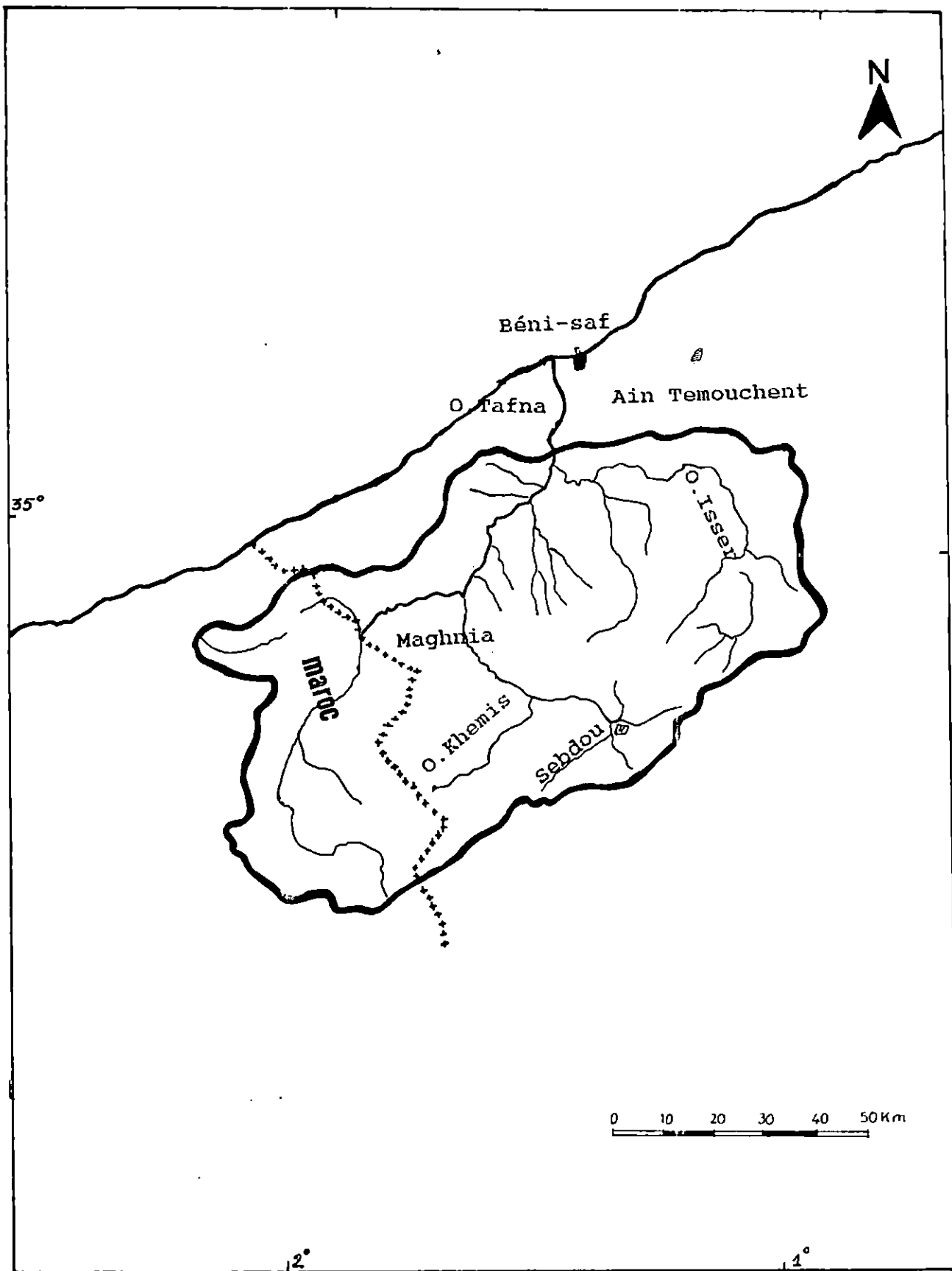


FIG 4 : Bassin versant de la Tafna .

Les données de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), prises au niveau de la station *Pierre du chat* (Oued Tafna), pour la période (1974-1992), estiment son débit liquide moyen à 5.97 m³/s et ses possibilités de débit solide à 22.66 10⁻³m³/s, constitué en grande partie de sable et d'éléments fins pélitiques.

La distribution de ces débits au cours de cette période indique que les maximums des débits liquides et solides sont observés en Mars avec respectivement des débits de 17.39 m³/s et 87.55 10⁻³ m³/s.

Les minimums sont observés en Août avec 0.025 m³/s pour les débits liquides et 0.18 10⁻³m³/s pour les débits solides (figure 5).

4.2- Pluviométrie

Notre étude est fondée sur des données qui nous ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) concernant la station Pierre du chat au niveau de l'oued Tafna.

Cette étude a permis d'établir un diagramme de précipitations (figure6) pour une période comprise entre 1974 et 1994; durant laquelle les quantités moyennes inter annuelles ont été estimées à 322 mm/an.

On a pu mettre en évidence durant une même année, deux saisons; une saison sèche entre Avril et Septembre; la deuxième saison dite pluvieuse est comprise entre Octobre et Mars.

Le régime des cours d'eau, dépend de ces variations saisonnières; ainsi durant la saison sèche, les sols s'effritent sous l'effet de la sécheresse et les matériaux qui les constituent seront transportés durant la plupart des crues de l'année. Les premières crues sont caractérisées par des débits solides importants.

4.3- Les vents

Les vents jouent un rôle très important dans la dynamique des eaux marines. Ils sont générateurs de houles et de courants superficiels (GUILCHER,1971).

Les résultats des observations, effectués par l'Office National de Météorologie (O.N.M) dans la zone de Béni-saf sont reportés sous forme de roses des vents saisonnières et annuelles(figure7).

Pour les vents du secteur proprement maritime, les roses saisonnières montrent que :

- Pendant la période hivernale (Octobre-Mars), les vents du secteur Sud-Ouest à Ouest sont dominants et qu'une grande partie de ces vents présente une vitesse supérieure à 10 m/s.

- Pendant la période estivale (Avril-Septembre) les vents de Nord à Nord-Est ont une fréquence de l'ordre de 20 %. Le Nord-Ouest est fréquent et fort en Avril, Mai et Juin avec des fréquences de 20 à 25 %.

Ces données relatives aux vents confirment celles des directions de houles. En effet, c'est en hiver que les vents d'Ouest prédominent et ce sont souvent des vents de tempêtes. Des tempêtes moins fréquentes soufflent aussi en hiver du secteur Nord à Nord-Est.

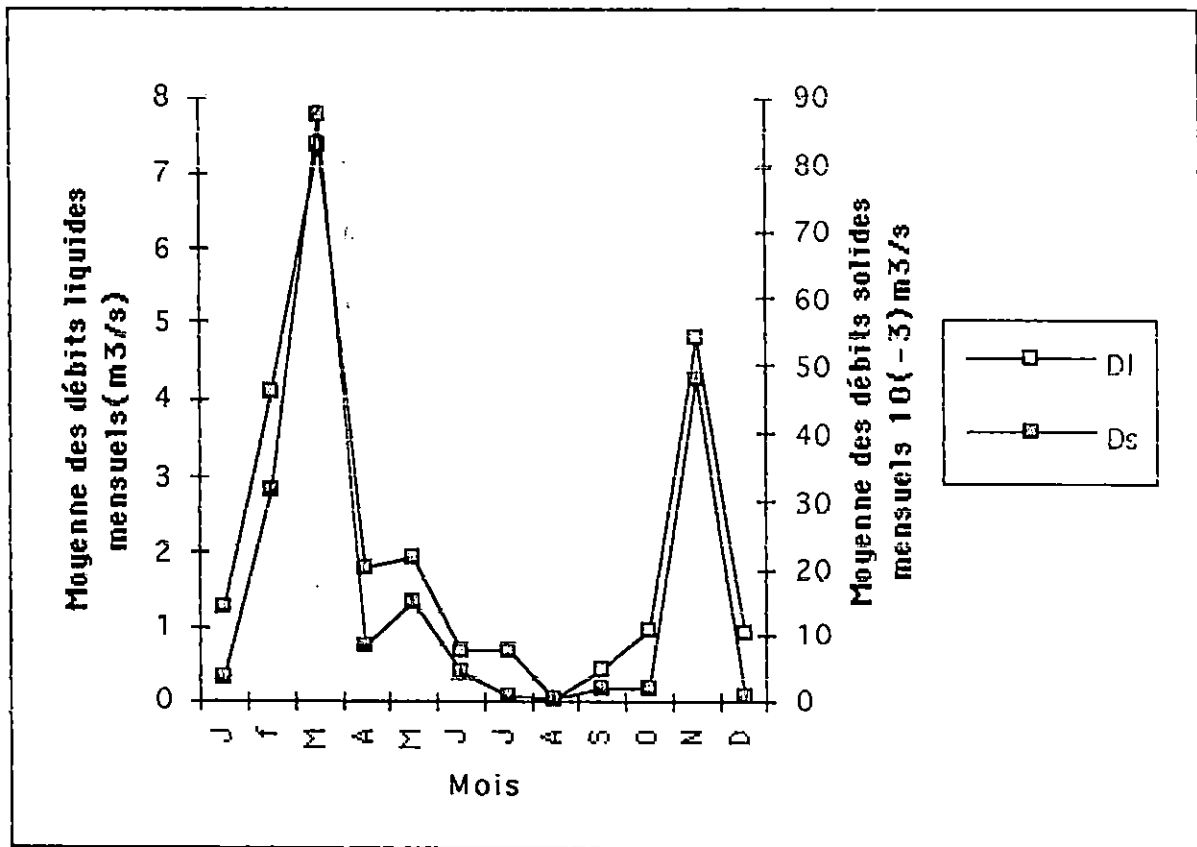


FIG 6 :Débits liquides et solides mensuels de l'Oued Tafna pendant la période (1974-1992). (données A.N.R.H)

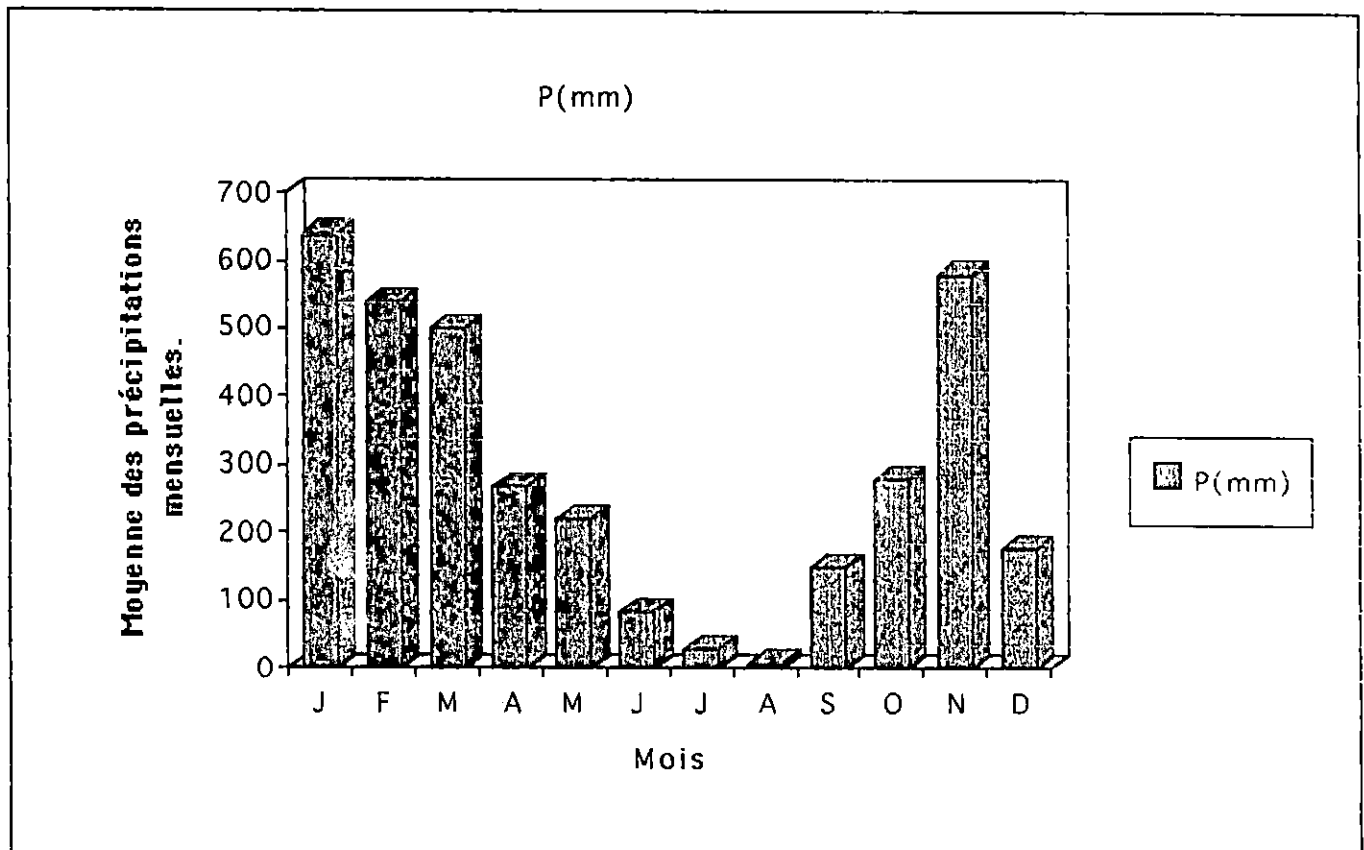


FIG 6: Taux de précipitation pendant la période (1974-1994). (Données A.N.R.H).

2- LA HOULE

La houle est le mouvement ondulatoire que subit la surface de la mer, sous l'influence du vent. Elle se traduit par ce que l'on appelle couramment les vagues.

Au voisinage de la côte, lorsque la profondeur devient faible, inférieure à la demi longueur d'onde, la houle subit un certain nombre de modifications importantes, dont certaines affectent directement le transport des sédiments (OTTMAN, 1965).

L'étude statistique a montré que la houle à Béni-Saf accuse fréquemment une incidence notable par rapport au littoral, les directions de provenances sont comprises entre le Ouest-Nord-Ouest et le Nord-Nord-Est et sont rarement frontales. Ceci est la conséquence des directions dominantes des vents qui, plus de 30 % du temps, proviennent de l'Est ou de l'Ouest.

1.1- Houle au large

La détermination des conditions de houles au large a été établie sur la base de données de l'Institut Hollandais de Météorologie (K.N.M.I). L'échantillon de base est constitué de 24 497 observations, faites entre 1961 et 1980 par des bateaux sélectionnés, dans la zone limitée par les parallèles 35°5N-36°5N et la côte d'une part et les méridiens 0°5W-3°W d'autre part.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Valeurs des amplitudes significatives de la houle (Hs (m))

Direction	Période de retour (ans)				
	2	5	10	20	50
Nord-Ouest	3.30	4.40	5.10	5.70	6.50
Nord	3.75	5.25	6.30	7.20	8.50
Nord-Est	5.90	7.20	8.00	8.80	9.60

L'analyse statistique de ces données, pour le secteur Nord-Ouest à Nord-Est, donne un Hs50 variant entre 6.50 et 9.60 m.

Les caractéristiques des houles extrêmes susceptibles d'être rencontrées au large de Béni-Saf se situeraient autour de Hs = 9.60 m. La période de pointe associée à cette houle extrême est de l'ordre de 15 secondes.

1.2- Houle à la côte

La détermination des conditions de houle à la côte a été établie sur la base d'observations (toutes directions confondues) effectuées pendant la période 1952-1955 et la période 1964-1968 par le laboratoire central d'hydraulique de France (L.C.H.F).

Ces résultats sont reportés sous forme de roses de houles saisonnières et annuelles (figure 8).

-Répartition mensuelle des amplitudes

Les états de mer les plus forts se rencontrent essentiellement entre Novembre et Avril, tandis que les états de mer les plus faibles se rencontrent entre Mai et Octobre.

Ceci conduit à séparer l'année en deux périodes distinctes :

- Une période estivale, allant de Mai à Octobre, pendant laquelle la probabilité d'existence de forte tempête est quasiment nulle et, où les états de mer 1, 2, 3 sont fréquents.
- Une période hivernale, allant de Novembre à Avril, pendant laquelle sévissent les tempêtes en provenance du secteur Ouest-Nord-Ouest et, où les états de mer 1, 2, 3 ont une importance relativement faible.

L'étude de la répartition fréquentielle de l'état de la mer établi par le L.C.H.F pour l'étude de l'extension du port de Béni-Saf (Janvier, 1979) a montré que l'amplitude significative Hs dépassera :

- 3,20 m	30 jours par an
- 4,70 m	05 jours par an
- 6,20 m	01 jours par an

Cette étude a permis aussi la détermination de l'amplitude des tempêtes exceptionnelles telles que les houles décennales ou centennales. Les valeurs obtenues sont :

- Hs \geq 8,20 m	1 jour tous les 10 ans
- Hs \geq 10,30 m	1 jour tous les 100 ans

-Répartition des amplitudes par direction

La répartition des amplitudes par saison et par direction a été effectuée à partir des données de GHAZAOUET (1964-1968) et des données obtenues au large à partir des observations effectuées par le L.C.H.F dans le secteur 35-37° N-0-5°W d'une part et dans le secteur 35-6°N-0-3°W d'autre part donnant les degrés d'agitation par secteur.

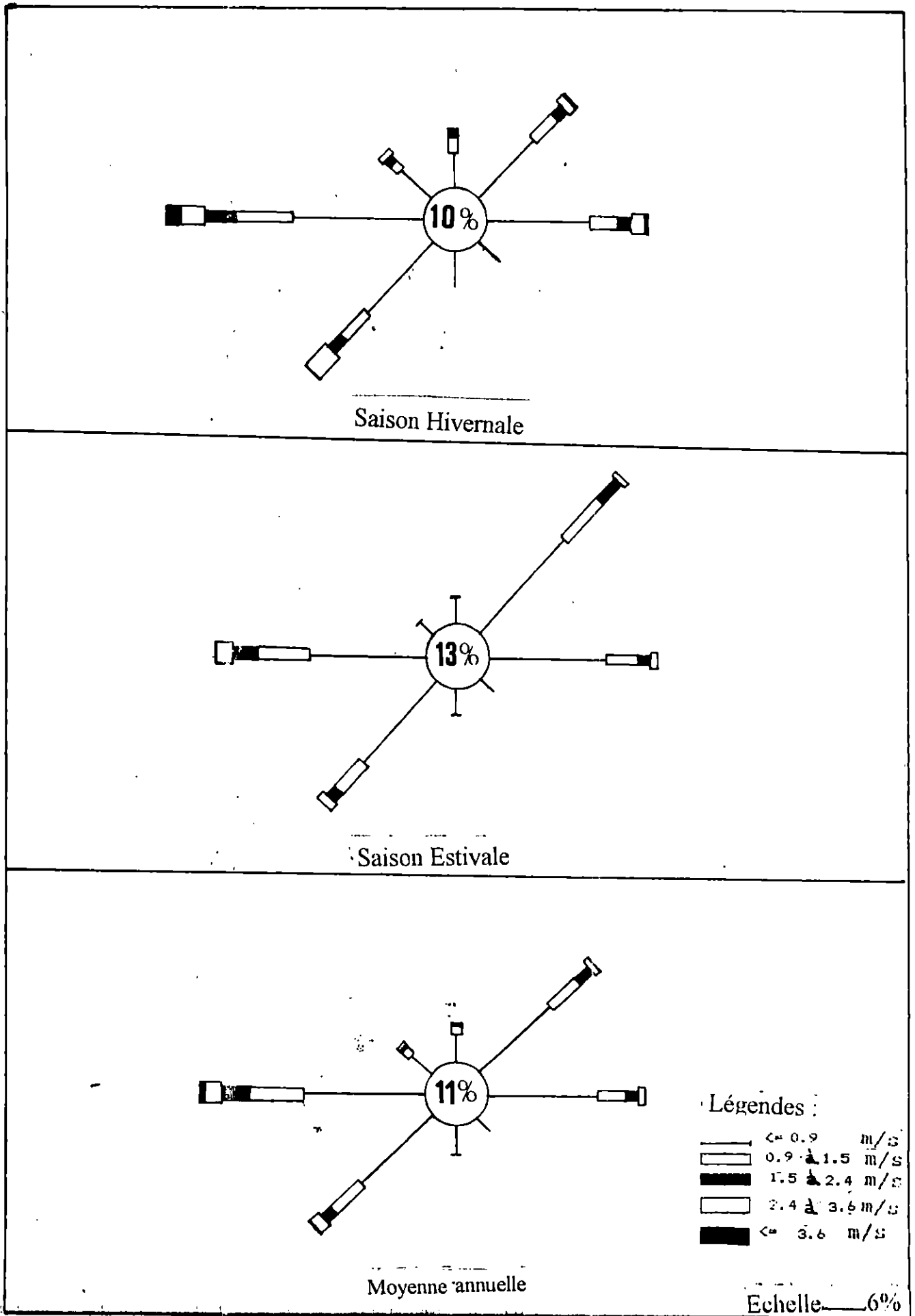


FIG 8 : Roses des houles au niveau de Béni-saf.
(données L.C.H.F.).

N° de mer	H1/3 (m)	Secteur Ouest		Secteur Nord Ouest Année	Secteur Nord Année	Secteur Nord-Est		TOTAL
		Eté	Hiver			Eté	Hiver	
0-1-2	0-1	10.7	12.1	5.1	6.1	12.9	7	54.9
3-4	1-2.5	6.7	8.5	2.2	4.6	8.3	4.5	34.8
5-6	2.5-4.5	1.8	4.5	1.1	0.4	0.6	1.9	10.3
7-8	4.5-7	/	0.7	/	/	/	0.3	1
Total par secteur et par direction		19.2	24.8	8.4	11.1	21.8	13.7	100
Total par secteur (%)		44		8.4	11.1	35.5		100

Cette répartition montre que :

- Les états de mer de degrés élevés (> 5) ne sont observés qu'en hiver et sont deux fois plus fréquents au secteur Ouest qu'au secteur Nord-Est.
- Les états de mer de degrés moins élevés (0 à 4) sont plus fréquents en été au secteur Nord-Est qu'au secteur Ouest. Ce phénomène se s'inverse en hiver.

2- PLANS DE VAGUES THEORIQUES

Dans le but d'une meilleure compréhension de la dynamique sédimentaire de la zone d'étude, des plans de houle ont été effectués suivant les directions auxquelles est exposé notre site d'étude.

En effet, huit plans de vagues ont été établis selon la méthode de (LARRAS, 1978) suivant les quatre directions dominantes (Nord, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest) avec les périodes les plus fréquentes(6 et 8 secondes).

2.1- Houles du Nord (figure 9 et annexe 1)

Les houles du secteur Nord présentent 11,1% du pourcentage annuel. La distance entre les orthogonales qui atteignent le site est relativement identique. Les houles du large arrivent sur la côte avec environ la même énergie. Une légère concentration d'énergie est observée au niveau du musoir

2.2- Houles du Nord-Ouest (figure 10 et annexe 1)

Ce sont des houles hivernales, fréquentes d'Octobre à Mars. Les orthogonales sont plus ou moins régulières avec une légère convergence favorisant un dépôt de matériaux transportés par ces houles.

La houle de ce secteur frappe la jetée Nord de front et crée une faible agitation à l'intérieur du port.

2.3- Houles du Nord-Est (figure 11 et annexe 1)

Suivant les données météorologiques, les houles du secteur Nord-Est, sont dominantes pendant la saison estivale, elles affectent notre site sensiblement aux mêmes endroits que les houles du Nord-Ouest.

Ces houles pénètrent directement à l'intérieur du port, et créent ainsi une agitation de forte amplitude.

2.4- Houle de l'Ouest (figure 12 et annexe 1)

Ces houles présentent 44% du pourcentage annuel. Elles sont fréquentes en hiver. La figure 12 montre des orthogonales irrégulières avec une légère concentration d'énergie au niveau du coude. D'autre part, une convergence des orthogonales est observée de part et d'autre du port, favorisant ainsi le dépôt des matériaux transportés par ces houles. Ce sont ces houles qui sont à l'origine de la formation de la flèche sableuse.

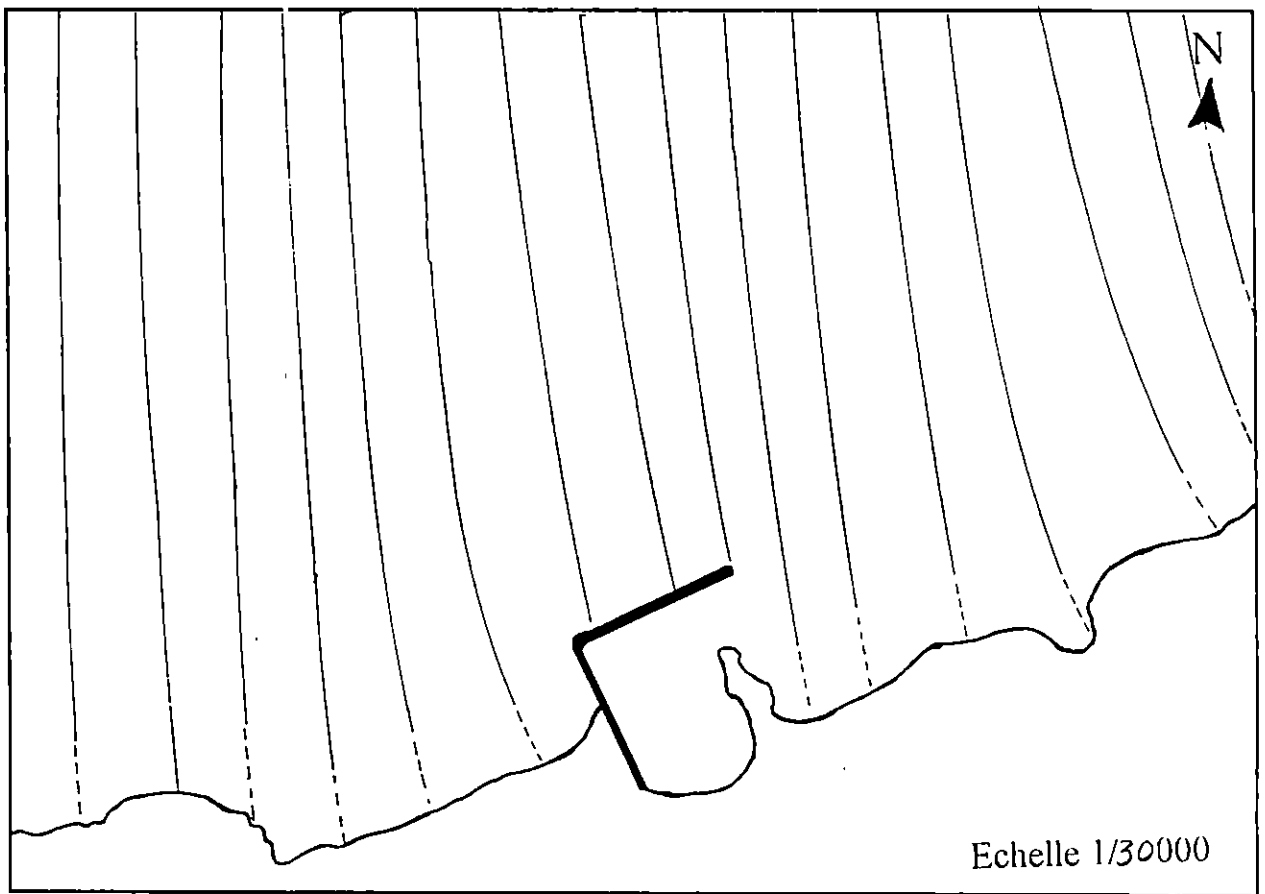


FIG9: Plan de vague théorique par direction Nord
 $T = 8s, Lo = 100 m$

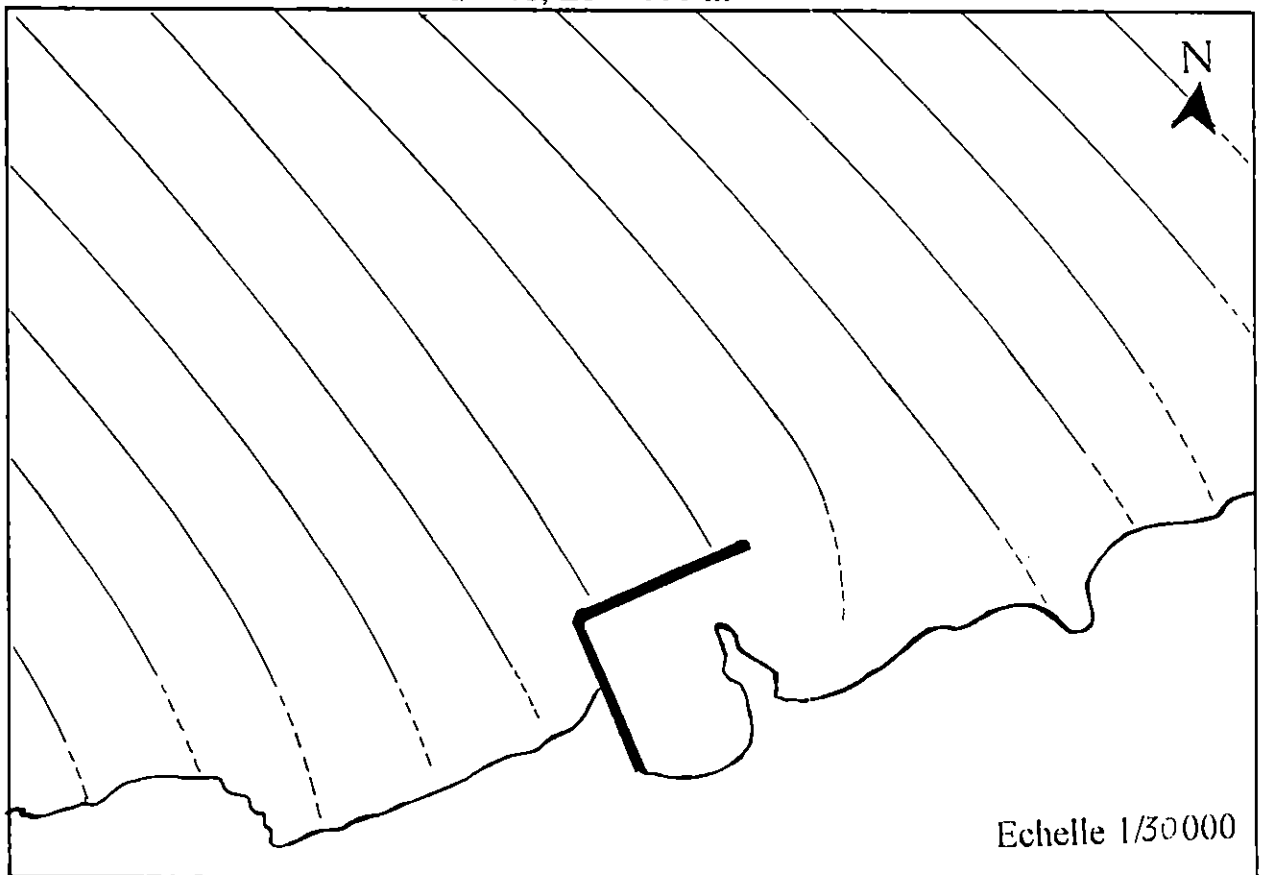


FIG10: Plan de vague théorique par direction Nord-Ouest
 $T = 8s, Lo = 100 m$

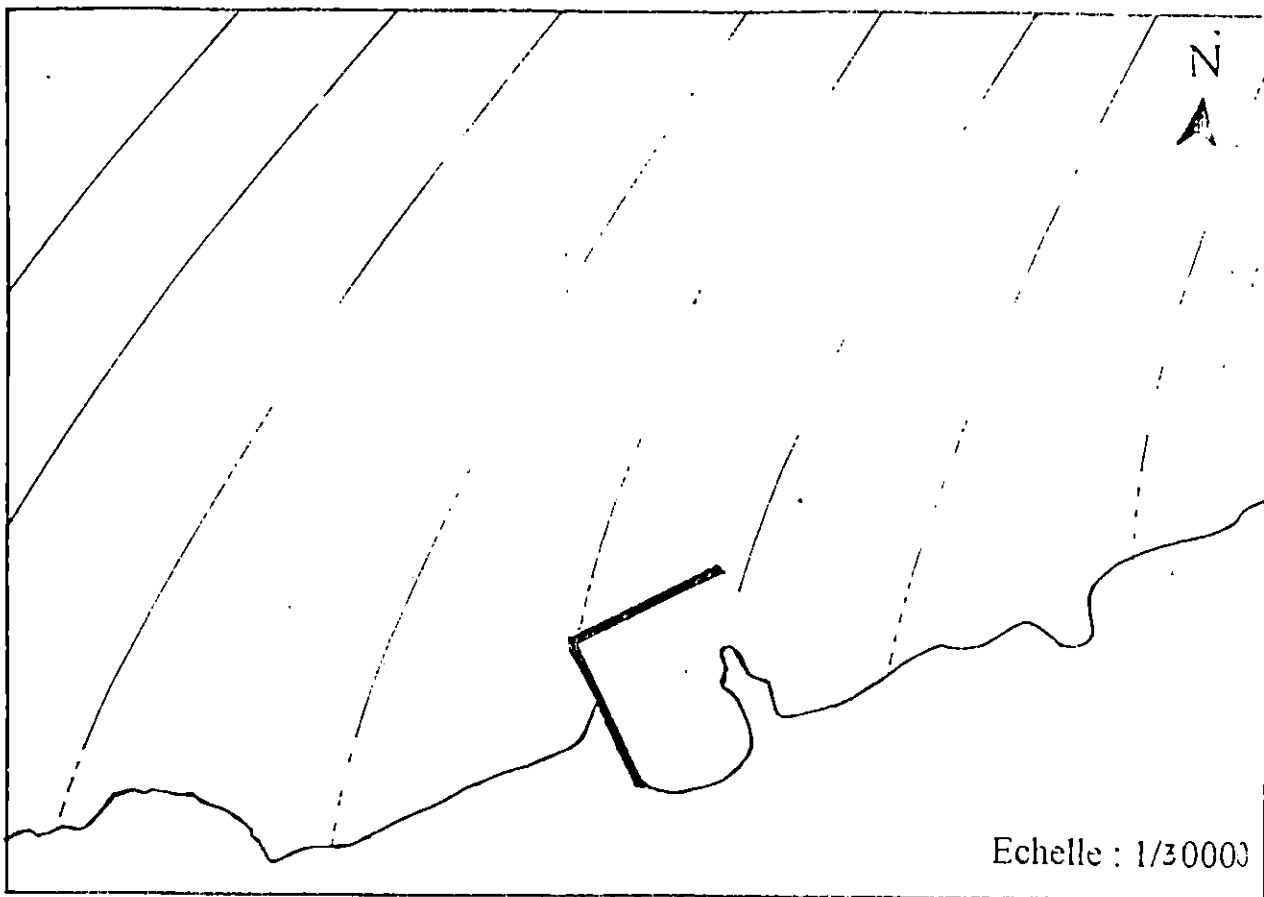


FIG1: Plan de vague théorique par direction Nord-Est
 $T = 8s, L_o = 100 m$

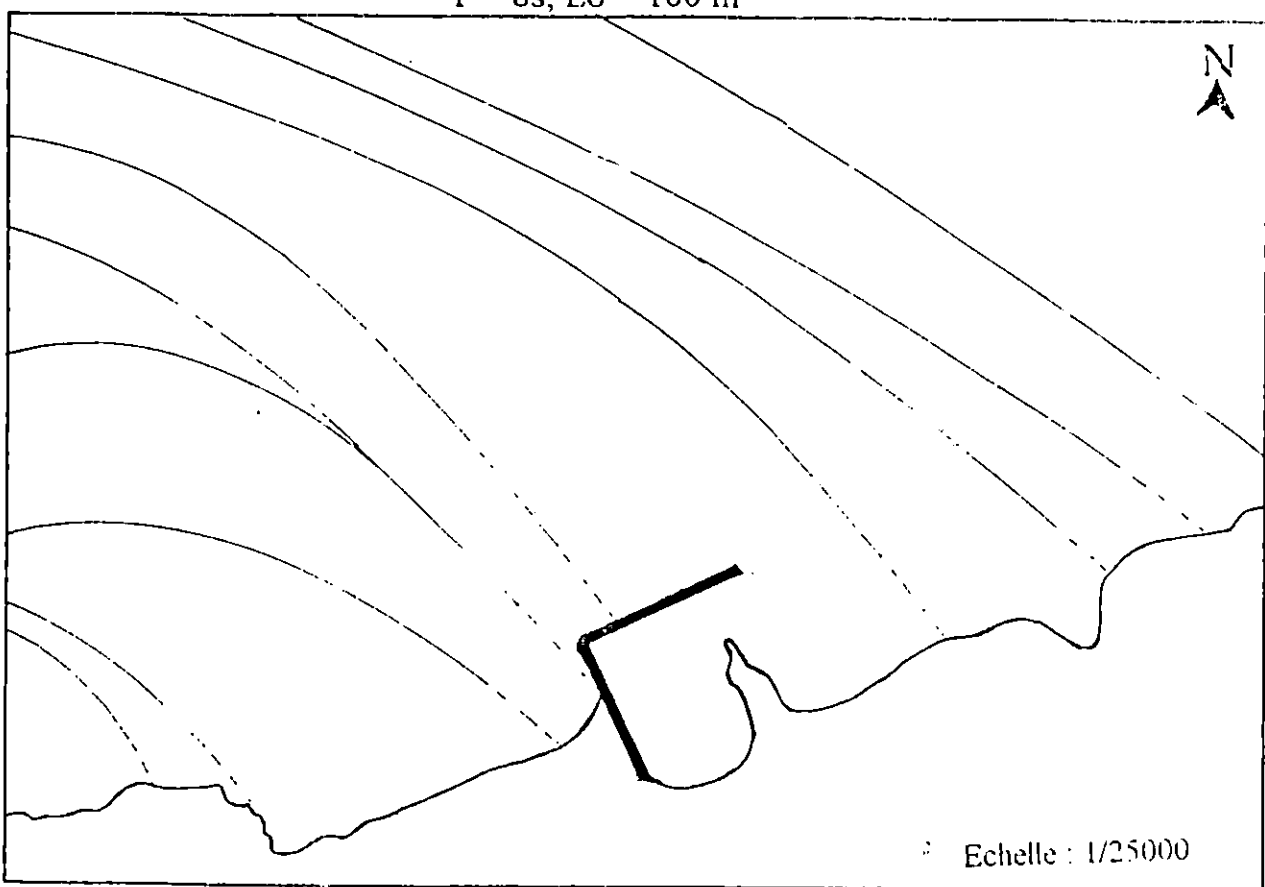


FIG2: Plan de vague théorique par direction Ouest
 $T = 8s, L_o = 100 m$

3-LA DIFFRACTION

L'agitation à l'intérieur du port de Béni-Saf, a été étudiée sur la base de l'abaque de Weigel (1962), pour une période de 7 secondes et la direction Nord-Est qui s'avère être la plus dangereuse au niveau du port, vu l'ouverture de ce dernier sur cette direction.

Les coefficients de diffraction calculés à partir de cet abaque sont représentés sous forme de courbes de même niveau d'agitation à l'intérieur du port (figure 13).

Les résultats obtenus montrent une agitation assez importante, avec des coefficients de diffraction dépassant 0.5, au niveau de la passe d'entrée et parallèlement à la jetée Nord. Cette agitation devient de plus en plus faible au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette dernière.

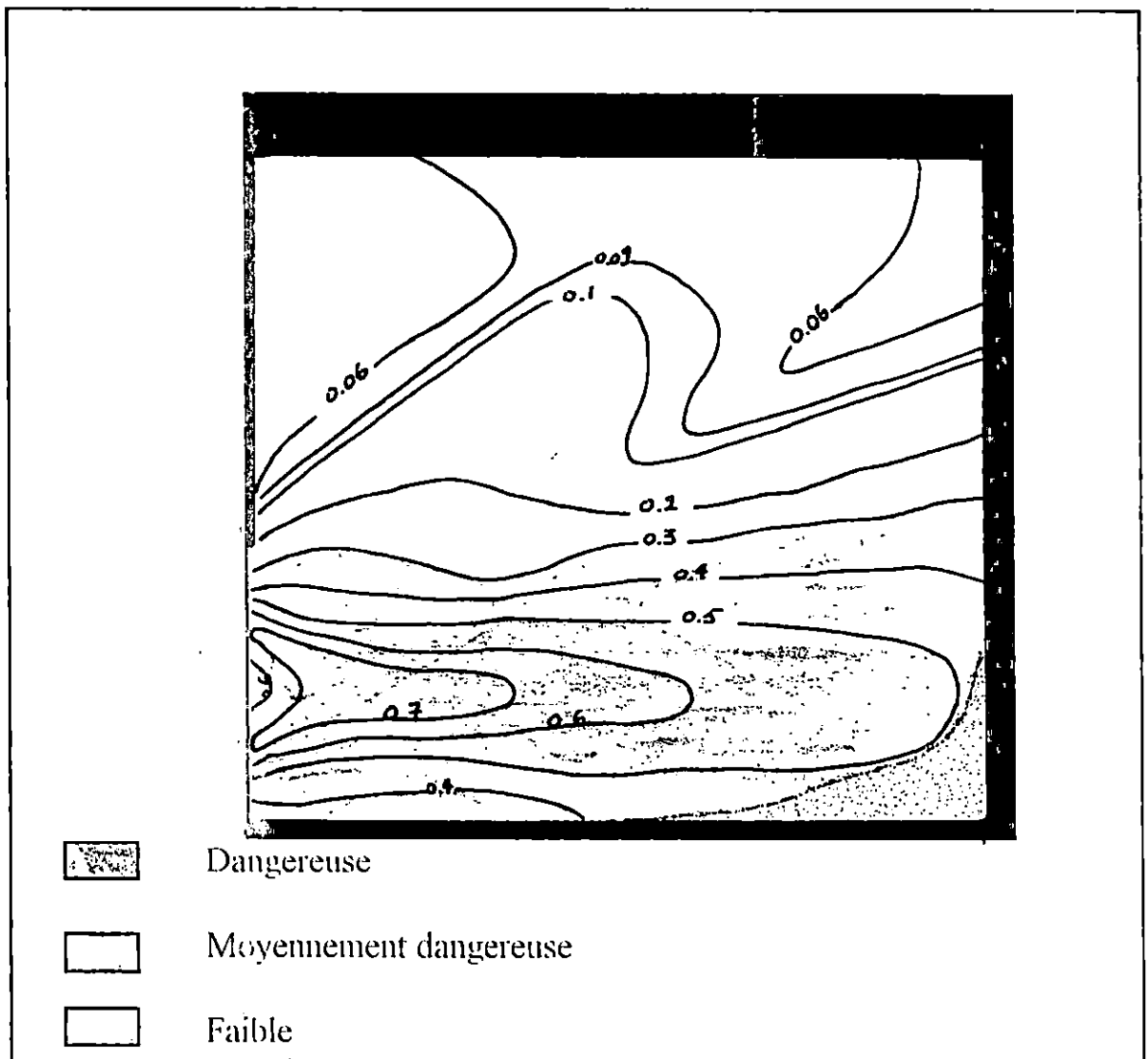


FIG. 13 : Agitation à l'intérieur du port de Béni-Saf.
Période = 7s Direction : Nord-Est.

4- ETUDE D'AGITATION SUR MODELE REDUIT

Une étude hydraulique en modèle réduit physique tridimensionnel de l'aménagement du port de Béni-Saf en port de pêche a été faite par le laboratoire des études maritimes (L.E.M) en 1990.

Cette étude a consisté en :

- L'étude des franchissements de la jetée et leurs impacts sur le talus arrière,
- L'étude de l'agitation à l'intérieur du port,
- L'étude de la stabilité des (BCR*) de carapace de 24t.

Trois directions de houle ont été étudiées : Nord 0°, Nord 15° et Nord 290°; une houle de déferlement de $H_s = 6,50$ m a été retenue pour l'étude.

Les résultats obtenus permettent de constater que :

- L'ouvrage offre une bonne stabilité pour la direction Nord 0° du fait de l'absence de dégâts lors des essais. Cependant, les franchissements sont importants à partir de H_s au large égale à 6m et créent une agitation au niveau de la passe d'entrée (de l'ordre de 0.8m) et une importante agitation à l'intérieur de tout le port (de l'ordre de 0.45m); l'agitation admissible pour un port de pêche est de 0.5m.

- Pour la direction Nord 290°, l'ouvrage offre également une bonne stabilité des blocs de carapace du fait des faibles dégâts subis (dégâts < 10%). Le mur de garde arasé à la côte (+1,00 ZH) au niveau du coude offre une bonne protection contre les franchissements et par conséquent l'agitation dans le port est très réduite.

- La direction Nord 15° est néfaste pour l'ouvrage du fait de l'ampleur des dégâts subis par le musoir qui était la partie la plus exposée (dégâts > 10%) et de l'importance de l'agitation créée à l'intérieur du port (> 0,5m) et surtout à la passe d'entrée où elle dépasse 1m.

5- Les courants

Le courant général connu dans le bassin occidental méditerranéen est celui du détroit de Gibraltar appelé courant de densité permanent. Il est dû à la pénétration des eaux moins salées de l'océan Atlantique, coulant en surface vers la Méditerranée. Au large de la côte Algérienne, il se dirige de l'Ouest vers l'Est, sa vitesse est de 0.5 à 1 m/s. Ce courant semble créer un contre courant côtier pénétrant des baies, sa vitesse serait de 0.2 m/s.

Des courants de houle ont été observés à Béni-Saf par le L.C.H.F :

- Pour des houles de secteur Nord-Ouest à Nord-Nord-Est avec des amplitudes maximums de 2.5 à 3.0 m.

- Pour des houles en provenance des secteurs Ouest-Nord-Ouest à Nord-Ouest, les courants engendrés partent vers l'Est et les vitesses mesurées sur le site atteignent au maximum 0.2 m/s pour un état de la mer correspondant à des amplitudes H_{max} inférieures à 2.5 m.

- Lors des tempêtes en provenance du secteur Ouest, une approche théorique montre que pour des amplitudes H_{max} de l'ordre de 6 à 8 m, ces courants peuvent atteindre, le long de la digue Nord, des vitesses supérieures à 1 m/s.

(*) BCR : Blocs Cubique Rainurés

- Pour des houles du secteur Nord-Est, les courants partent vers l'Ouest. Ils atteignent statistiquement des vitesses moins élevées du fait de la très faible amplitude de houle de ce secteur.

- Au large du port, les courants observés sont à peu près rectilignes dans le lit du vent. Par vents du secteur Nord-Est, ils se rabattent vers la passe après avoir paré la jetée. Par vents du secteur Nord-Est, ils partent à l'entrée, vers l'intérieur du port. Dans l'avant port, ils prennent une allure tourbillonnaire.

6- La marée et les seiches

En Méditerranée, les marées sont faibles et sont le plus souvent masquées par la surélévation ou l'abaissement du niveau d'eau engendré par les variations de conditions climatiques (pressions et vents).

En 1970, un marégraphe placé à l'intérieur du port de Béni-Saf a permis d'enregistrer les marées pendant 2 mois. De ces mesures, il ressort que:

- La marée enregistrée est de type semi-diurne,
- Les variations de niveau les plus fortes ont été de 0.85 cm.

Des seiches se produisent dans le port, leurs amplitudes sont en fonction de la houle à l'extérieur. Des amplitudes de 10 à 30 cm ont été constatées par houles de Nord-Est à Nord-Ouest.

7- Estimation du transit sédimentaire

7.1- Introduction

Les ordres de grandeurs du déplacement des sédiments parallèlement à la côte ou transit sédimentaire peuvent être évalués à partir de différentes formules dont la plus usitée est :

$$Q = [Kg / C] f(\alpha) \cdot E$$

où :

Q : Volume de sable transporté en m^3

K : Coefficient de transport de sable. $K = 2,5 \cdot 10^{-6}$ pour un sable fin.

g : Accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$).

C : Cambrure de la houle, varie entre 2 et 4% suivant l'amplitude et la période de la houle.

$f(\alpha) = \sin(7\alpha/4)$ où α désigne l'obliquité de la crête de houle avec la côte.

E : Bilan énergétique annuel en $m^2 \cdot s^2$

L'utilisation de cette formule conduit à définir :

- Le bilan énergétique de transport caractérisé par $H_s^2 \cdot T \cdot t$
- L'obliquité de la houle (α).

7.2- Bilan énergétique annuel de transport

L'expression de l'énergie par la houle durant une année est :

$$E = H_s^2 \cdot T \cdot t$$

Où

E : Bilan énergétique annuel en $m^2 \cdot s^2$.

H_s : Amplitude significative de la houle en mètres.

T : Période de la houle en secondes.

t : Durée d'action de la houle en seconde définit par :

$$t = \frac{3600 \times 24 \times 365}{100} \times f/\text{an}$$

Avec :

Nombre d'observations en une direction

$$f/\text{an} = \frac{\text{Nombre d'observations en une direction}}{\text{Nombre totale d'observations (toutes directions confondues)}}$$

Les valeurs de ce bilan, calculées à partir des statistiques de houle (tableau 4) pour chaque secteur sont les suivantes :

Tableau 5 : Bilan d'énergie annuel ($m^2 \cdot s^2$)

Secteur	Ouest	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est
E ($10^6 m^2 \cdot s^2$)	450	62	58	246

7.3- Obliquité de la houle

Pour estimer théoriquement le transit sédimentaire le long de la côte, il est nécessaire d'évaluer l'angle d'attaque α et $f(\alpha)$ qui en découle. L'obliquité de la houle avec la ligne du rivage étant supposée mesurée par profondeur de 15 à 20m.

Le trait de côte de Béni-Saf étant orienté sensiblement Est-Nord-Est, Ouest-Sud-Ouest et la normale à la côte voisine du Nord-Nord-Ouest, les valeurs de α et de $f(\alpha)$ sont les suivantes :

Tableau 6 : Obliquité de la houle

Secteur	Ouest	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est
α (°)	32.66	13.66	13.33	34
$f(\alpha)$	0.81	0.40	0.38	0.83

7.4- Estimation du transit sédimentaire

L'estimation des transits littoraux induits pour les différents régimes de houle atteignant notre site d'étude nous a permis de les comparer, d'en faire le bilan et d'en déduire le sens du transit résultant.

Cette estimation a conduit à un transit résultant dirigé d'Ouest en Est et atteignant 130.000 m³/an.

Il y a donc prédominance du transport vers l'Est, essentiellement dû à une forte fréquence des houles d'amplitudes élevées du secteur Ouest.

Ce phénomène associé au mécanisme sédimentaire complexe auquel sont soumis les fonds littoraux contribue à la formation de la flèche sableuse en extrémité de la digue Nord et au comblement du chenal d'accès, nécessitant ainsi des dragages d'entretien pour maintenir des profondeurs acceptables dans la passe d'entrée du port.

En conclusion, sous l'action des différentes houles qui affectent notre site, les sables fins sont soumis à des mouvements alternatifs se traduisant par des remaniements dans le profil et des déplacements longitudinaux.

La prédominance du bilan d'énergie des lames du secteur Ouest par rapport au bilan d'énergie du secteur Est conduit à une résultante générale des mouvements de l'Ouest vers l'Est.

Toutefois, l'agitation au niveau du port est surtout causée par les houles du secteur Nord-Est vu l'ouverture de ce dernier sur cette direction.

Pour palier à ces problèmes d'agitation, une solution provisoire peut être proposée (figure 14). Cette dernière consiste en l'installation d'un équipement appelé feu d'alignement ou de marquage « INOGON L.M

Il est breveté et produit par une firme suédoise, et utilisé généralement dans les ports de pêche à accès ou à manoeuvres difficiles. Il permet d'assister le marin dans ses manoeuvres de navigation au milieu d'une mer agitée (figure 15).

Cet équipement acquis récemment par l'Office National de la Signalisation Maritime, est destiné à être utilisé au niveau du port de pêche d'El Kala qui connaît lui aussi des problèmes similaires à ceux rencontrés au niveau du port de Béni-Saf (difficultés d'accès au port).

L'« INOGON L.M » est constitué essentiellement par un dispositif qui affiche des signes fluorescents pouvant être aperçus par le navigateur à des distances importantes (jusqu'à 2000 m). Il indique par ailleurs, le couloir à suivre pour pouvoir accéder au port sans difficultés.

Le bateau peut ainsi naviguer grâce aux signalisations affichées sur le cadran (Figure 15).

Cet équipement est nécessaire pour pouvoir accéder au port de Béni-Saf, il peut constituer une solution provisoire aux difficultés de manoeuvres au niveau de la passe d'entrée.

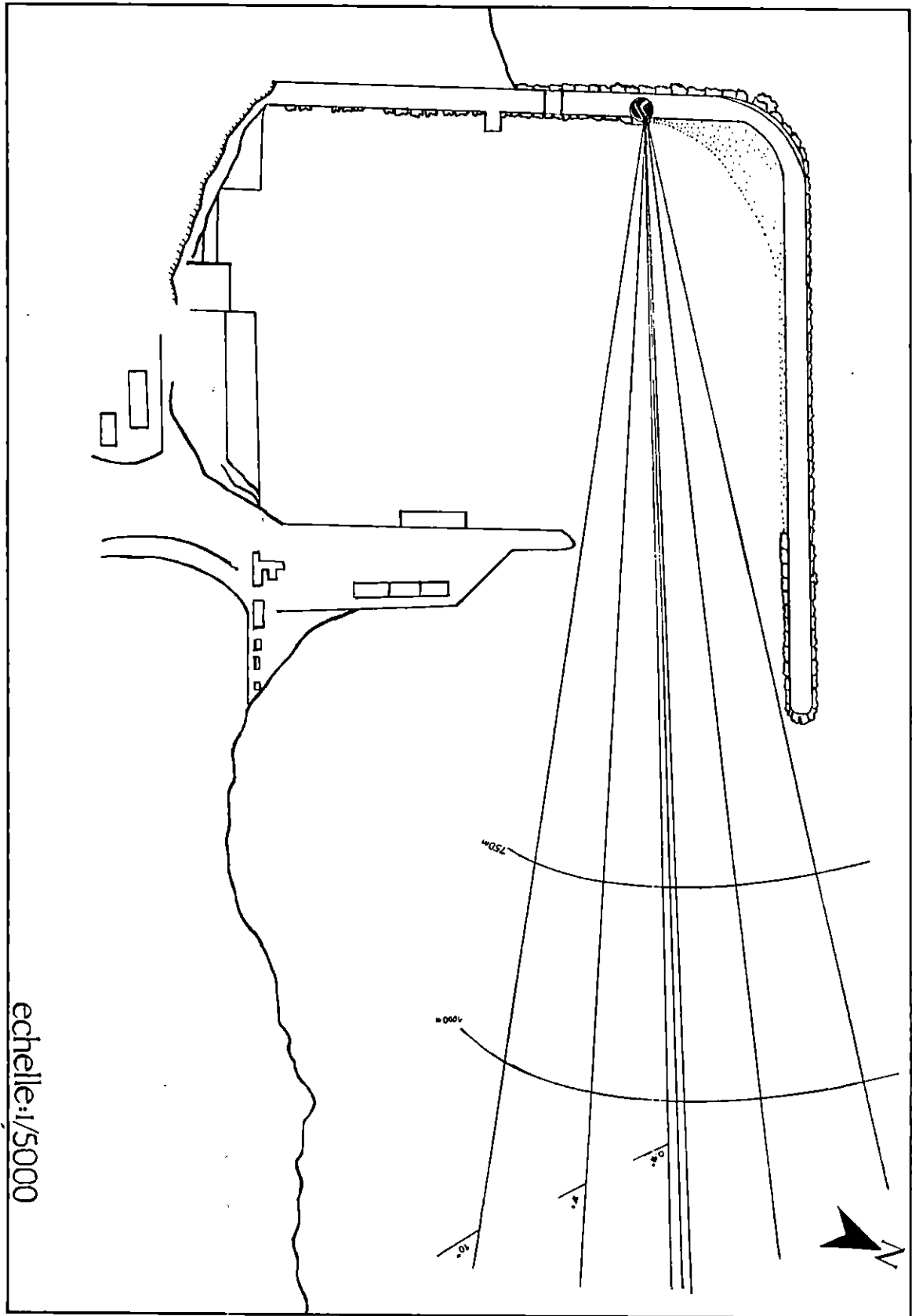


FIG 14 : Solution provisoire « INOGON, L.M ».

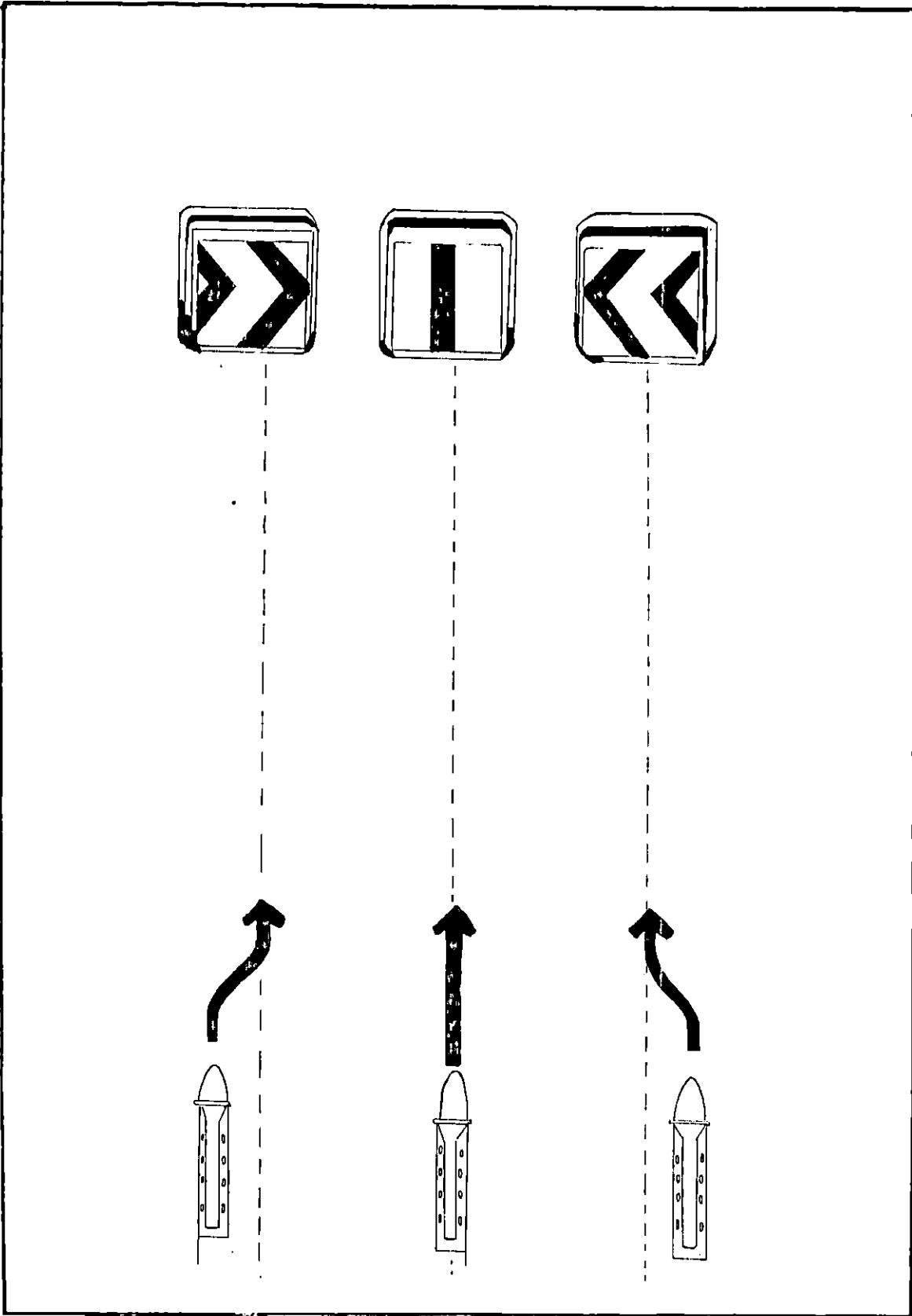
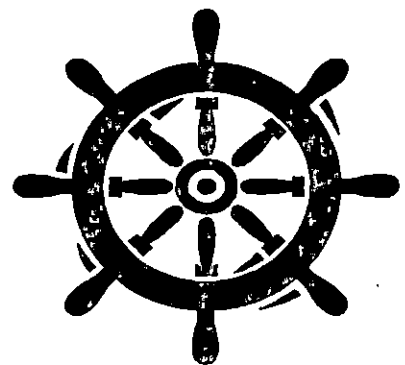


FIG 15 : Fonctionnement de l'INOCON, L.M.

CHAPITRE IV
EVOLUTION DES
FONDS ET
DRAGAGES



Les cartes bathymétriques constituent un document fondamental et nécessaire pour reconnaître et interpréter l'évolution des fonds du site d'étude.

Afin de bien ressortir cette évolution, on a utilisé plusieurs levés bathymétriques effectués à différentes périodes :

- Un plan antérieur à la construction du port réalisé en 1876 (figure 16) par la Cie de SOUMAH et de la TAFNA, en vue de l'implantation du port.

- Un plan du service hydrographique français (mission CHAVANIER) réalisé en 1932 (figure 17).

- Deux levés réalisés en 1979 par le laboratoire central d'hydraulique de France (L.C.H.F) :

- Un levé avant le dragage (annexe 2)

- Un levé après le dragage (Figure 18)

- Un levé de 1989 (figure 19) réalisé par le laboratoire des études maritimes (L.E.M).

- Un levé de 1995 (figure 20) réalisé en deux périodes:

- La première, en MAI 1995 à bord d'un chalutier, a couvert la passe d'entrée et les abords du port (le long de la flèche sableuse).

- La deuxième, lors de la campagne de JUILLET 1995. Les relevés bathymétriques ont été effectués à l'aide d'un fil à plomb; les sondes ont été régulièrement réparties à travers l'ensemble du plan d'eau. Chaque point sonde a été positionné à partir des quais par la méthode topographique (Théodolites WILD-RDS).

1- ENTRE 1876 - 1979

1.1- Evolution des fonds

La comparaison des différents levés existants (1876, 1932, 1979) met en évidence les tendances suivantes :

- A l'Ouest du port, tous les fonds sont en sédimentation et il semble bien que l'existence de la plage du puits soit consécutive à la réalisation du port.

- Au large de la digue Nord, on trouve une zone de forte sédimentation prenant la forme d'une flèche sédimentaire orientée au Nord-Ouest à partir de l'extrémité de la digue Nord.

- Dans l'angle que forment la digue Est et la côte, à l'Est du port, on trouve une zone d'engraissement. L'épaisseur des dépôts est supérieure à 2 mètres au voisinage de l'enracinement.

- A l'Est du port (à plus de 500 mètres de la digue Est), les fonds situés entre l'isobathe -10m et la côte sont en érosion.

Une telle évolution des fonds montre que le transit sédimentaire est prédominant dans le sens Ouest-Est. L'arrêt de ce transit, consécutif à la réalisation du port, a eu pour conséquence, l'engraissement des fonds à l'Ouest des ouvrages portuaires, la formation de la flèche sédimentaire et une érosion des fonds dans une zone sous alimentée située à plus de 500 mètres à l'Est du port.

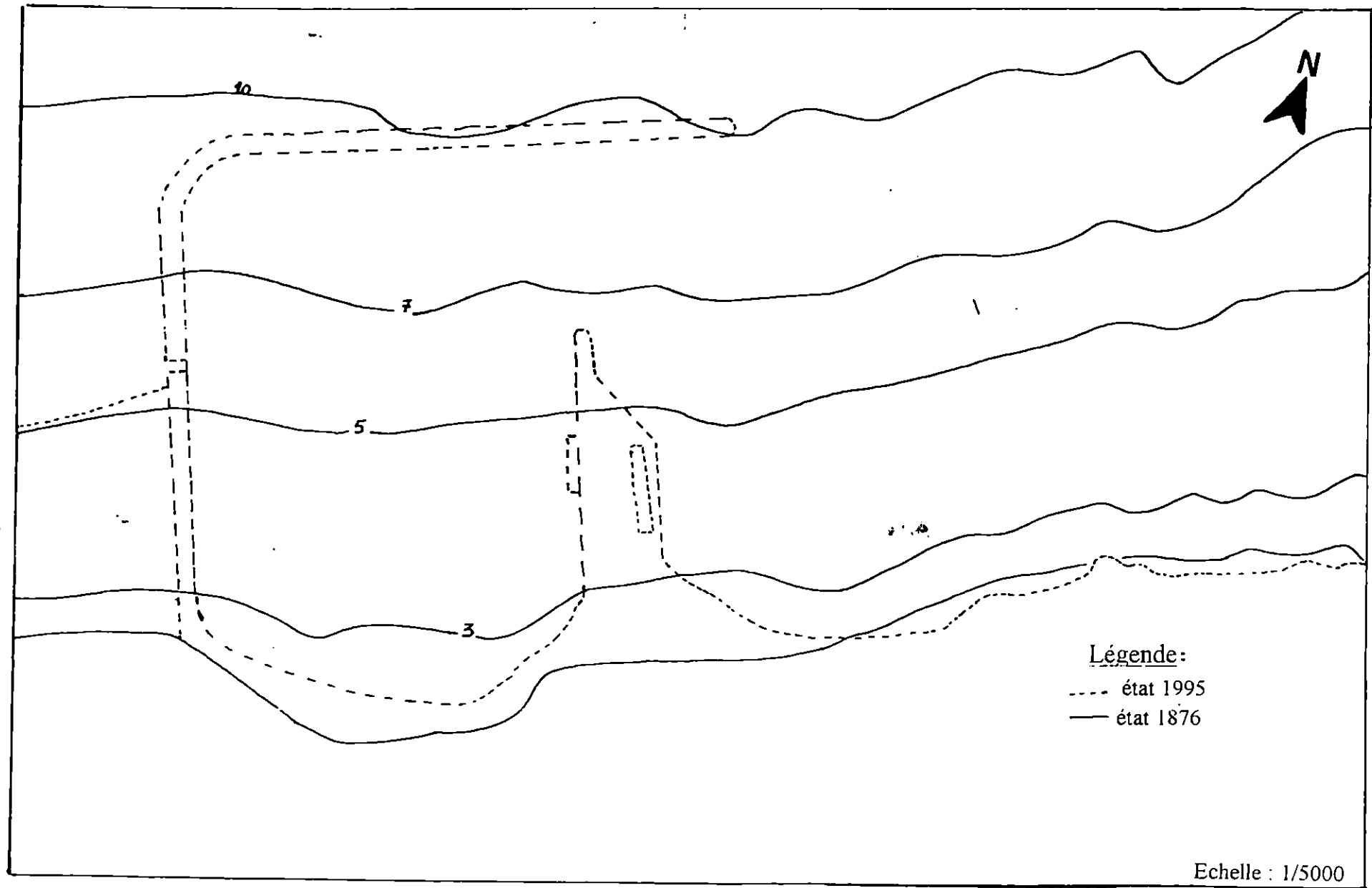


FIG 16 : Port de Béni-Saf : état 1876

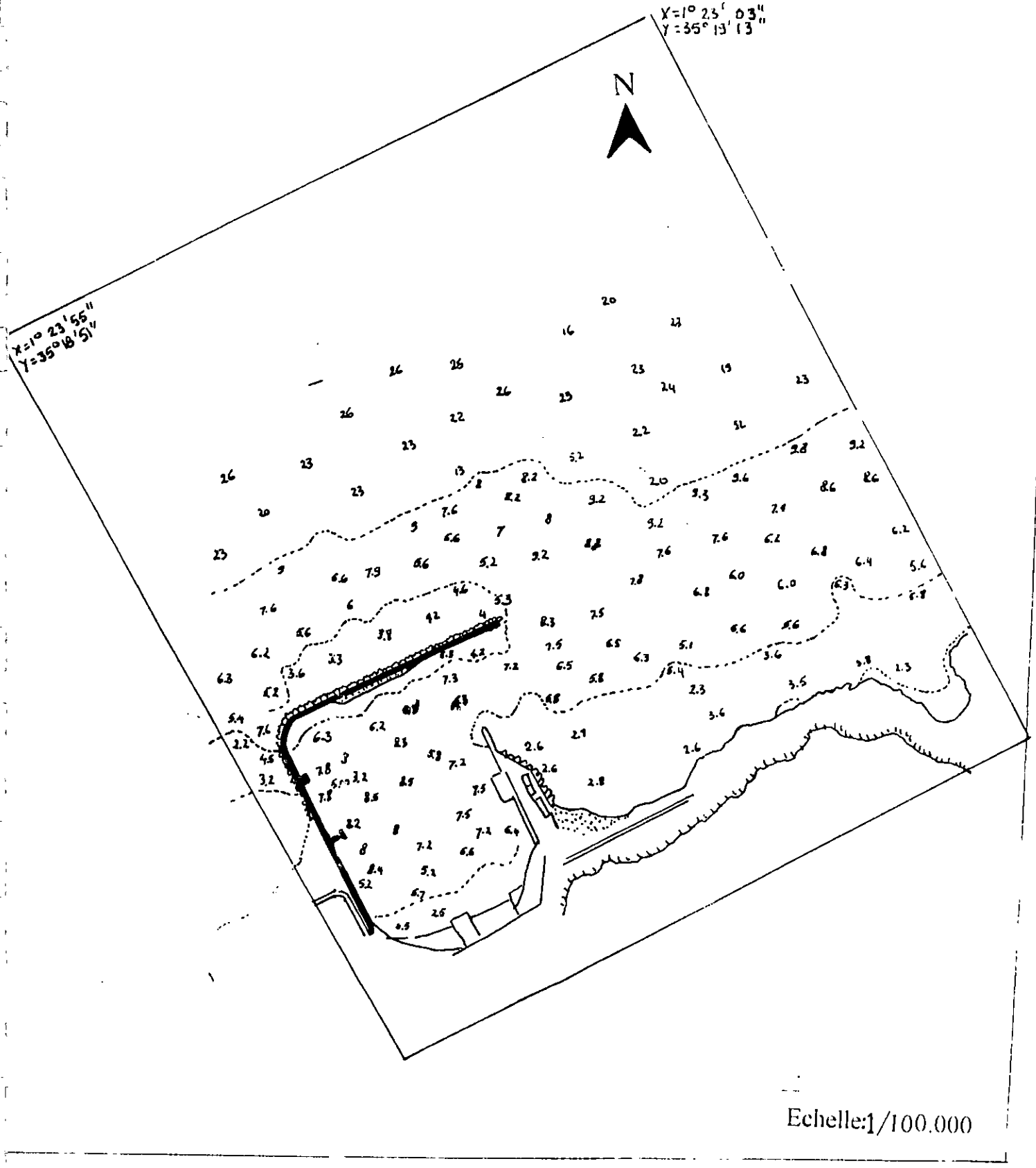


FIG 17 : Port de Béni-saf : Etat 1932.

D'après le laboratoire central d'hydraulique de France, le dépôt formé à l'enracinement de la digue Est résulte d'un transport Est-Ouest engendré soit par les houles de secteur Nord-Est, soit par le courant giratoire dextrorsum prenant naissance à l'abri de la digue principale.

1.2- Les Dragages

1.2.1- Dragages effectués avant 1970

Depuis la création du port de Béni-Saf, les utilisateurs ont dû faire face à l'ensablement et procéder à des dragages. Il n'y a pas de données sur les quantités de sable draguées peu après la construction. On sait seulement qu'avant 1970 l'administration a été amenée à faire effectuer des dragages annuels de l'ordre de 70 000 m³.

La zone de dragage comprend le port lui-même et la partie à l'Est du port, entre les fonds de -5m et le prolongement de la digue Nord. De 5 à 10 millions de m³ de sable auraient été extraits du port et du chenal d'accès depuis sa construction.

1.2.2- Dragages effectués entre 1970 et 1979

Les dragages sont effectués sur une surface totale de l'ordre de 215000 m² qui peut être découpée en deux zones, le port proprement dit (90000 m²) et le chenal d'accès. Pour faciliter la compréhension de ce qui suit, cette dernière zone a été décomposée (figure 18) en quatre sous zones appelées respectivement :

- Passe d'entrée (8500 m²)
- Zone sous le vent de la digue principale (19 000 m²)
- Zone centrale (50 000 m²)
- Zone Est (47 000 m²)

- En 1975, un dragage limité à la passe d'entrée du port et à la partie du chenal d'accès sous le vent de la digue principale a été effectué. Le volume dragué n'a pas été précisé mais étant donné la zone approfondie, il peut être estimé à environ 100 000 à 150 000 m³.

- En 1978, 200 000 m³ ont été dragués (une première tranche de 120.000 m³, une deuxième de 80 000 m³), une partie a consisté en l'approfondissement du port, l'autre en un dragage de la même zone que celle de 1975.

- En 1979, après un dragage initial de 50 000 m³ à l'intérieur du port et dans la passe d'entrée et 10 000 m³ dans le chenal d'accès au port, un dragage complet particulièrement important de la « zone de dragage » correspondant à un nouvel approfondissement a été effectué, le volume dragué a été de 500 000 m³.

On peut donc estimer la totalité des volumes dragués dans le chenal d'accès y compris la passe d'entrée pendant ces 9 années de l'ordre de 650000 à 750000 m³ soit en moyenne de 70 000 à 80 000 m³/an.

A l'intérieur du port lui-même, une estimation est plus difficile à effectuer car il manque des éléments de comparaison. Si on ne prend en compte que l'approfondissement de 1978, on peut estimer alors les dragages nécessaires au maintien des profondeurs à moins de 10 000 m³/an.

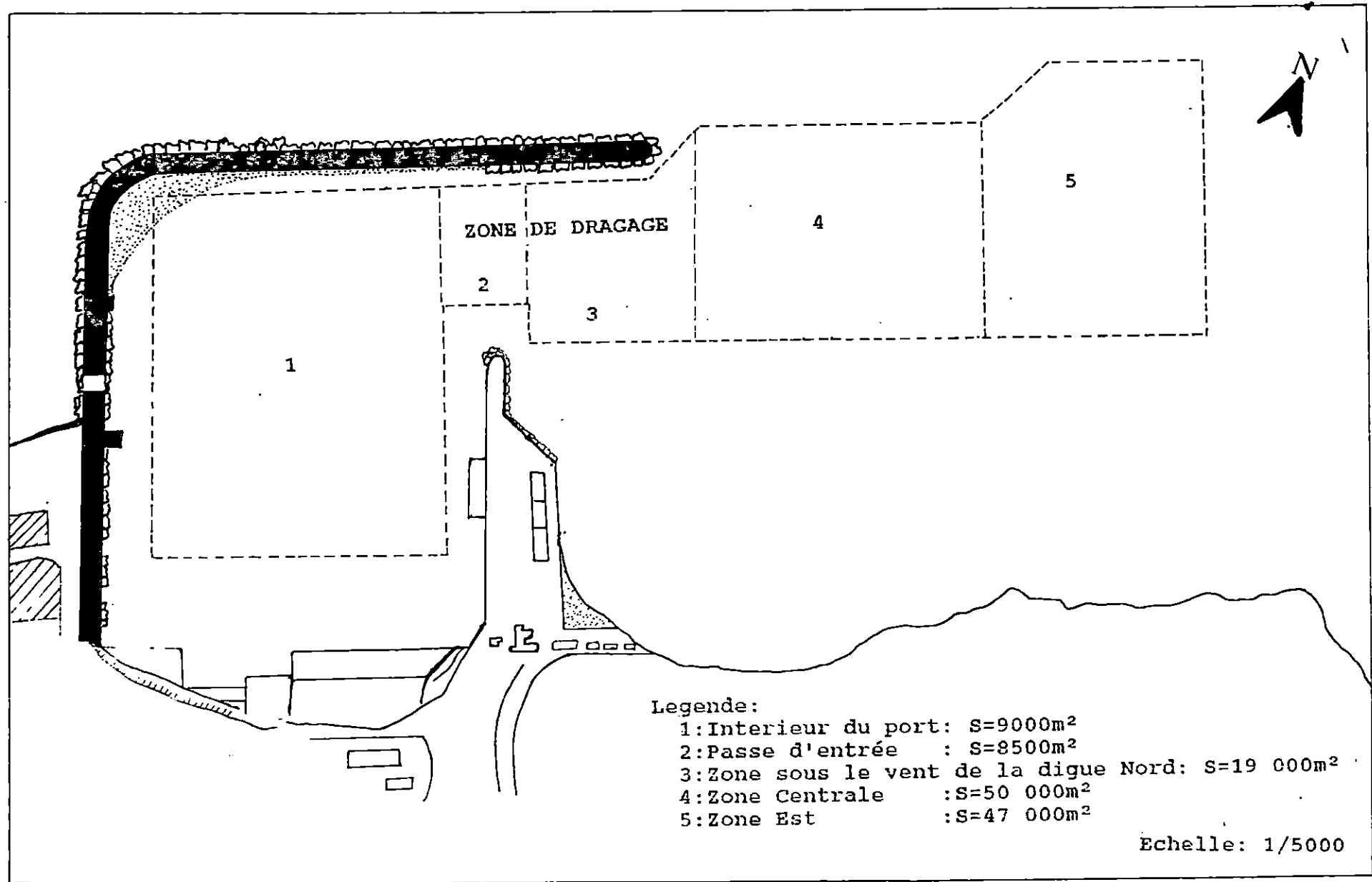


FIG18 : Zone de dragage .

1.3- Localisation des dépôts :

Entre 1970 et 1979, les travaux de maintien des profondeurs ont essentiellement porté sur le secteur de la passe d'entrée du port et la zone sous le vent de l'extrémité de la digue Nord. Ceci montre que ce secteur, point crucial permettant l'accès au port, était particulièrement menacé par la sédimentation.

Cet ensablement important résulte du débordement de la flèche sédimentaire dans le chenal puis entraînement vers la passe d'entrée par pivotement des houles Ouest à Nord-Ouest diffractées autour du musoir de la digue Nord et de l'action directe des houles Nord-Nord-Est.

Les dépôts localisés en extrémité de la jetée Est peuvent également provenir d'un transport sous l'action du courant giratoire dextrorsum longeant l'ouvrage en direction de la passe d'entrée.

2- Entre 1979-1995

2.1- Evolution des fonds(Annexe 2)

2.1.1-Evolution des fonds sur toute la surface d'étude hormis les abords du port et la zone de dragage

La comparaison des fonds pour la période 1979-1989 montre que les évolutions des fonds sont peu importantes. La tendance générale est un léger engraissement des fonds. Le laboratoire central d'hydraulique de France sur un modèle réduit a montré que l'évolution sédimentologique pour cette période, est de 5 cm/an. Une comparaison pour la période 1989-1995 n'a pu être effectuée. L'état de la mer durant notre séjour ne nous a pas permis d'effectuer des sondages.

2.1.2- Evolution des fonds aux abords du port et dans la zone de dragage

La comparaison des levés bathymétriques réalisés en 1979 par le L.C.H.F et ceux que nous avons réalisés à l'intérieur du port montre que :

- Les fonds situés dans le prolongement de la digue Nord (flèche sédimentaire) présentent une importante sédimentation.

- La quasi-totalité du chenal d'accès situé à proximité de la digue Nord s'est sédimentée de plus de 6 m. Ce qui a rendu impossible l'accès pour des bateaux ayant plus de 3 m de tirant d'eau, à moins de faire une manoeuvre très difficile pour retrouver un chenal étroit de -4m en extrémité de la jetée secondaire. Une balise de repérage a été spécialement mise en place comme le montre la photo 7.

L'étude sur modèle sédimentologique de l'évolution des fonds pendant la période 1979-1989 montre que dans le chenal d'accès, l'ensablement se produit d'abord sur la partie Nord située à l'extrémité de la digue Nord. Il s'étend ensuite dans deux directions, l'une Nord-Sud, perpendiculairement à l'axe du chenal d'accès, l'autre Est-Ouest.

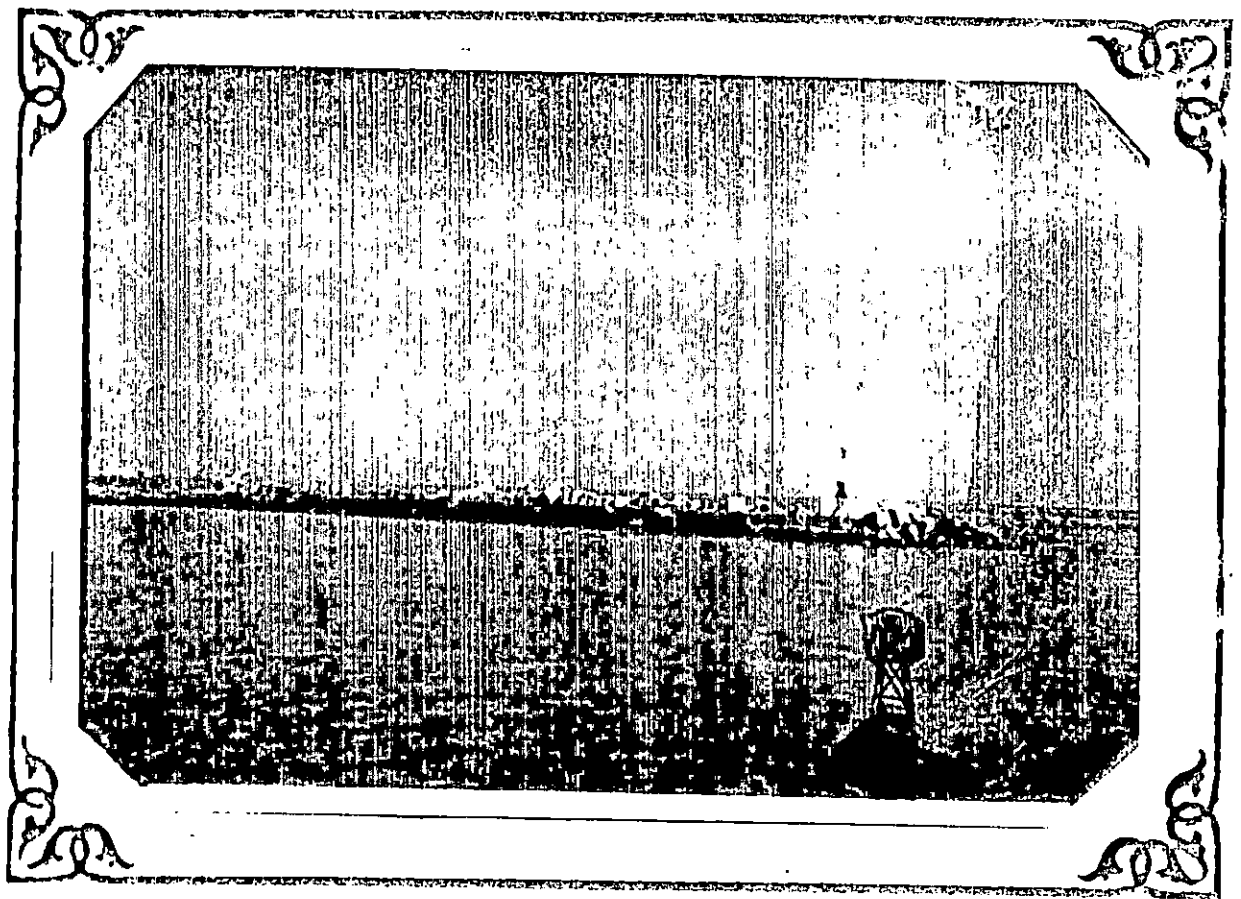


Photo.7 : Balise de repérage au niveau de la passe d'entrée.

- La face intérieure du tronçon de la digue Nord, parallèle à la côte est le siège d'une importante sédimentation. Une plage émergente apparaît même dans l'angle Ouest de la digue (photo 6).

La comparaison entre deux photos prises au niveau de la face interne de la jetée Nord, l'une par le LEM (1988), l'autre par la présente étude montre l'importance de cet ensablement au cours des sept dernières années (photo 8 et 9).

2.2-Les dragages

D'après la direction du port de Béni-Saf et suite au dragage massif de 1979, aucun dragage n'a été effectué jusqu'à cette année.

D'après les renseignements recueillis auprès de cette direction les dragages à effectuer concerneront une partie du bassin portuaire et le chenal d'accès sur une aire approximative de 300 hectares.

Le plafond de dragage est fixé à 6 mètres. Le volume à draguer est estimé à environ 53 000 m³.

3- ESTIMATION DES VOLUMES DES DEPOTS (figure 19 et 20)

Pour cette période (1979-1995), l'estimation des volumes de dépôt se fera par soustraction des « fonds moyens » de deux levés bathymétriques (1979-1995). Les résultats obtenus seront multipliés par la surface.

Le volume obtenu est de 851 565 m³, soit 53 223 m³/an. On remarque que l'ensablement de cette zone va en diminuant dans le temps, puisqu'il est de 512.655m³ pour les dix premières années (1979-1989) et de 338910 m³ pour les six dernières années (1989-1995).

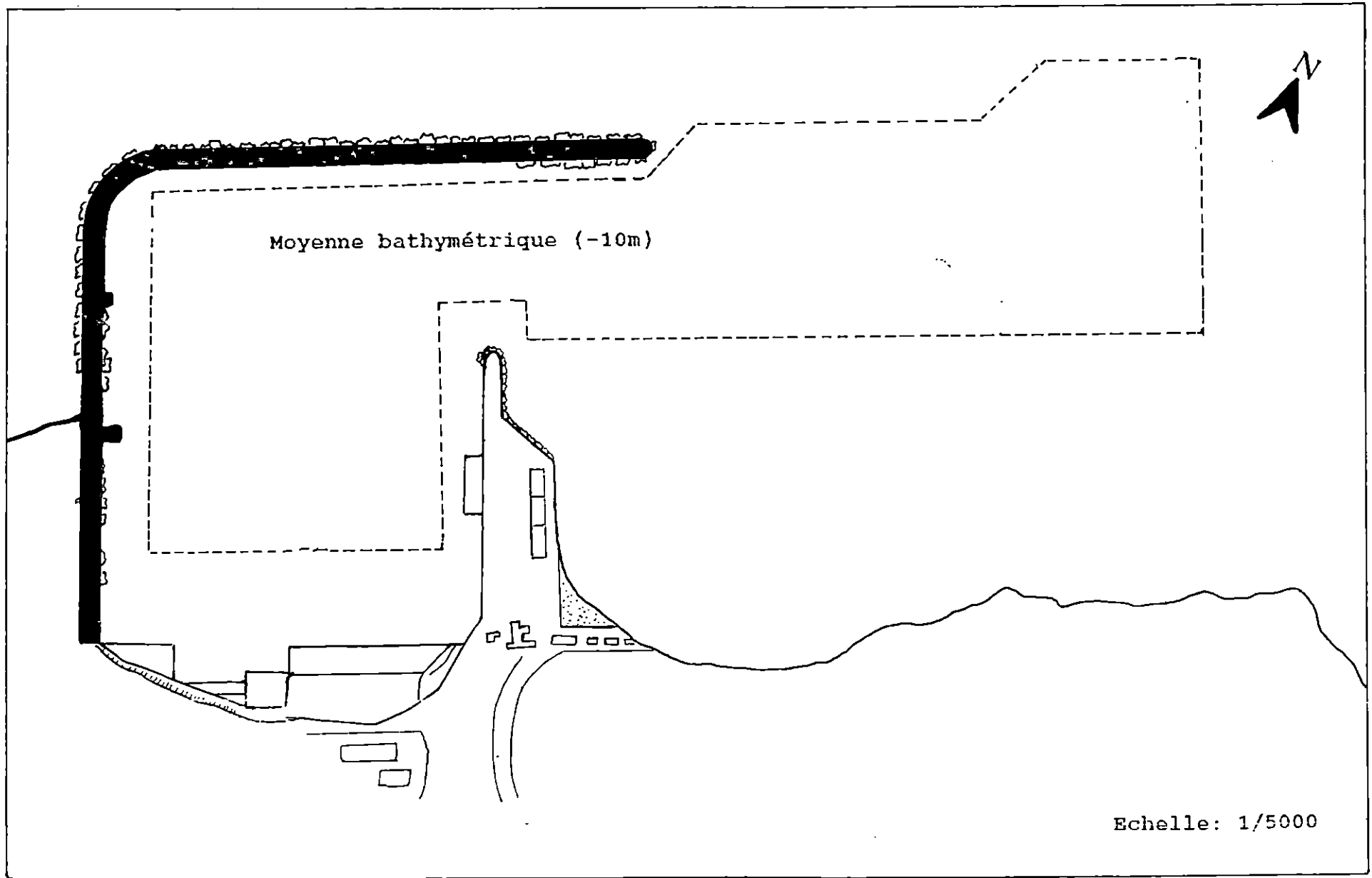


FIG19: Port de Béni-saf : Etat 1979.

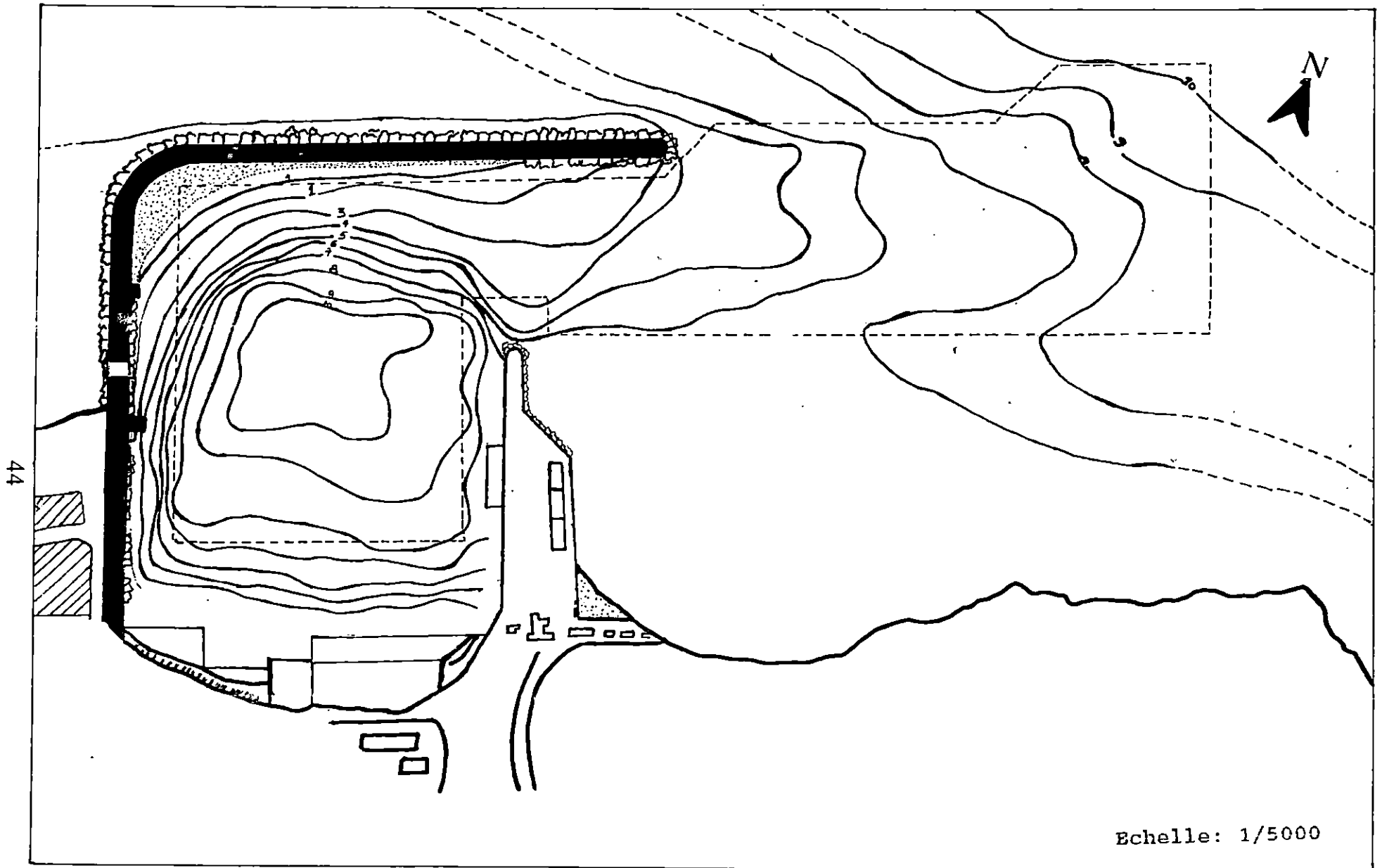


FIG20 : Port de Béni-saf : Etat 1995.

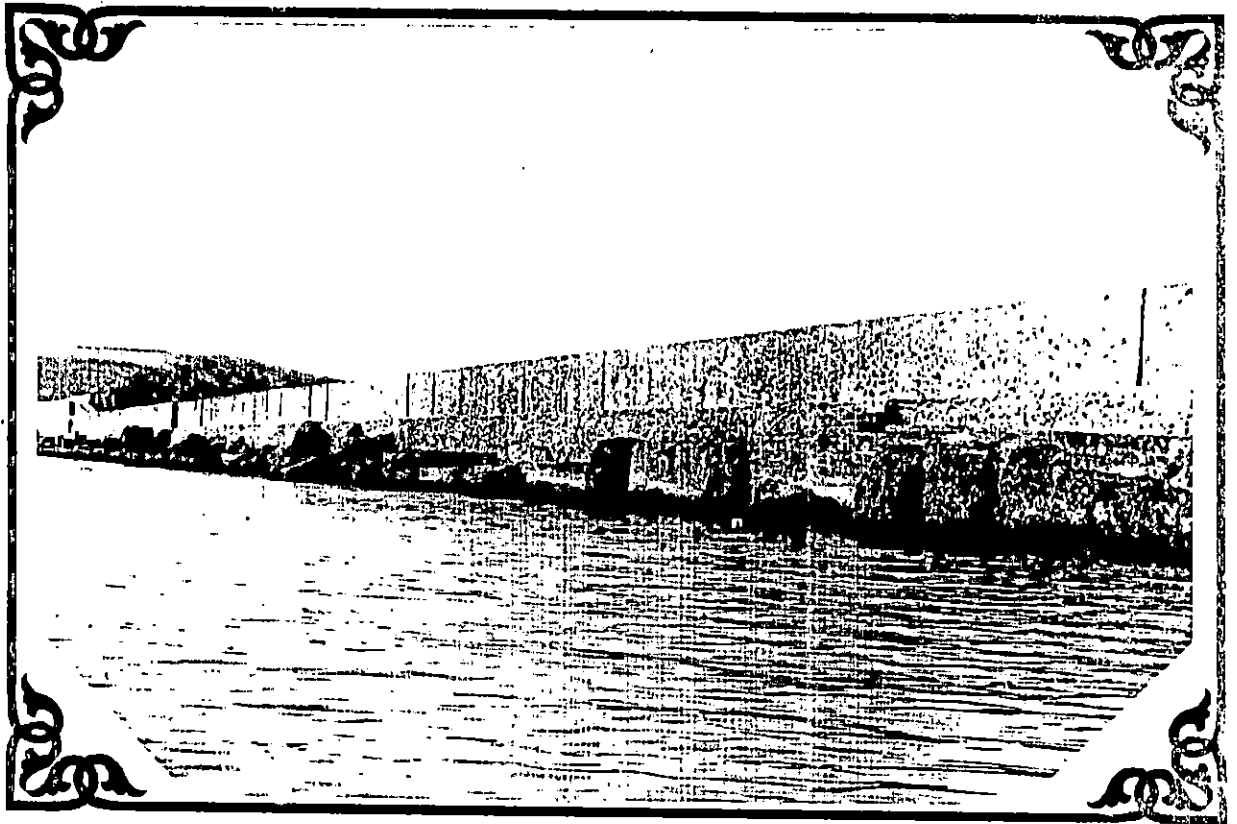


Photo 8 : Face interne de la jetée Nord : état 1988.

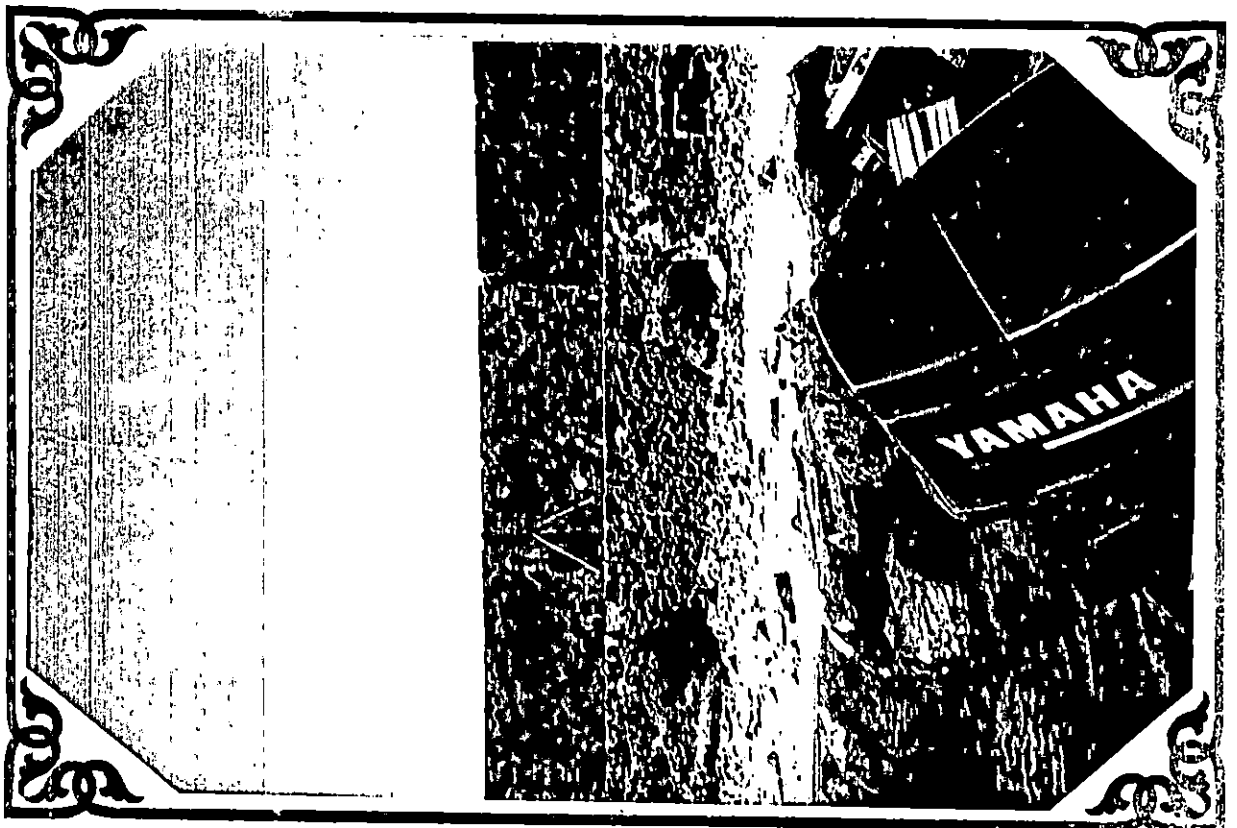
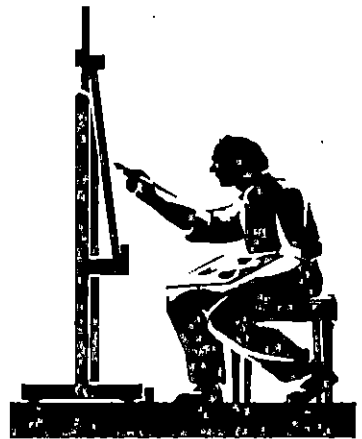


Photo 9 : Face interne de la jetée Nord : état 1995.

CHAPITRE V
ETUDE
SEDIMENTOLOGIQUE



1-INTRODUCTION

L'ensablement du port de Béni-Saf est le résultat de la dynamique sédimentaire actuelle de la zone considérée. La recherche d'une solution implique la connaissance de celle-ci. L'installation d'un ouvrage côtier va rompre, l'équilibre existant; il s'en établit alors un autre équilibre qui peut, soit améliorer les conditions existantes, soit les aggraver.

2- METHODOLOGIE

Trente cinq échantillons sédimentologiques ont été prélevés à l'aide d'une benne preneuse de type « VAN VEEN », en vue d'une analyse sédimentologique au niveau du port et de ses environs (figure 21).

Au laboratoire, le traitement des échantillons s'effectuera suivant la figure 22.

3- REPARTITION DE LA FRACTION VASEUSE

L'étude de la fraction vaseuse (diamètre inférieur à $40 \mu\text{m}$) consiste d'abord à évaluer pour chaque échantillon, le pourcentage de cette fraction dans un poids considéré, ensuite à établir une carte des pélites, qui montre la répartition de cette fraction au sein de notre zone d'étude (figure 23).

- **Au voisinage du port** : La figure 23 montre qu'il existe un gradient croissant du taux de petites vers le large, ce taux est inférieur à 5 % dans les petits fonds et varie entre 5% et 40% au delà de 10m. Ceci s'explique par une diminution progressive de l'action de la houle sur le fond à mesure que la profondeur augmente.

Comme il est montré en figure 23, où on a noté une forte corrélation entre le pourcentage de pélites et la profondeur, il semblerait évident de dire que les pourcentages de pélites varient proportionnellement avec la profondeur.

- **Au niveau du port** : Au niveau de la bande sableuse, le taux de pélites n'exède pas 5%. Il varie entre 5% et 60% dans la passe d'entrée, alors qu'il est nettement supérieur à 60% à l'intérieur du port.

Cette répartition des pélites met en évidence l'existence d'un gradient croissant vers l'intérieur du port, où le pourcentage de pélites varie avec le degré d'agitation, lequel diminue au fur et à mesure que l'on avance vers l'intérieur du port.

4-Étude des paramètres sédimentologiques

Dans l'étude de la courbe cumulative, on déduit trois valeurs statistiques :

- **La médiane (Q50)** : représente le diamètre du grain moyen. Sa valeur est donnée par la projection sur l'échelle des abscisses, de l'intersection de la courbe cumulative avec l'horizontale, représentant 50% en poids du sédiment considéré.

: 47

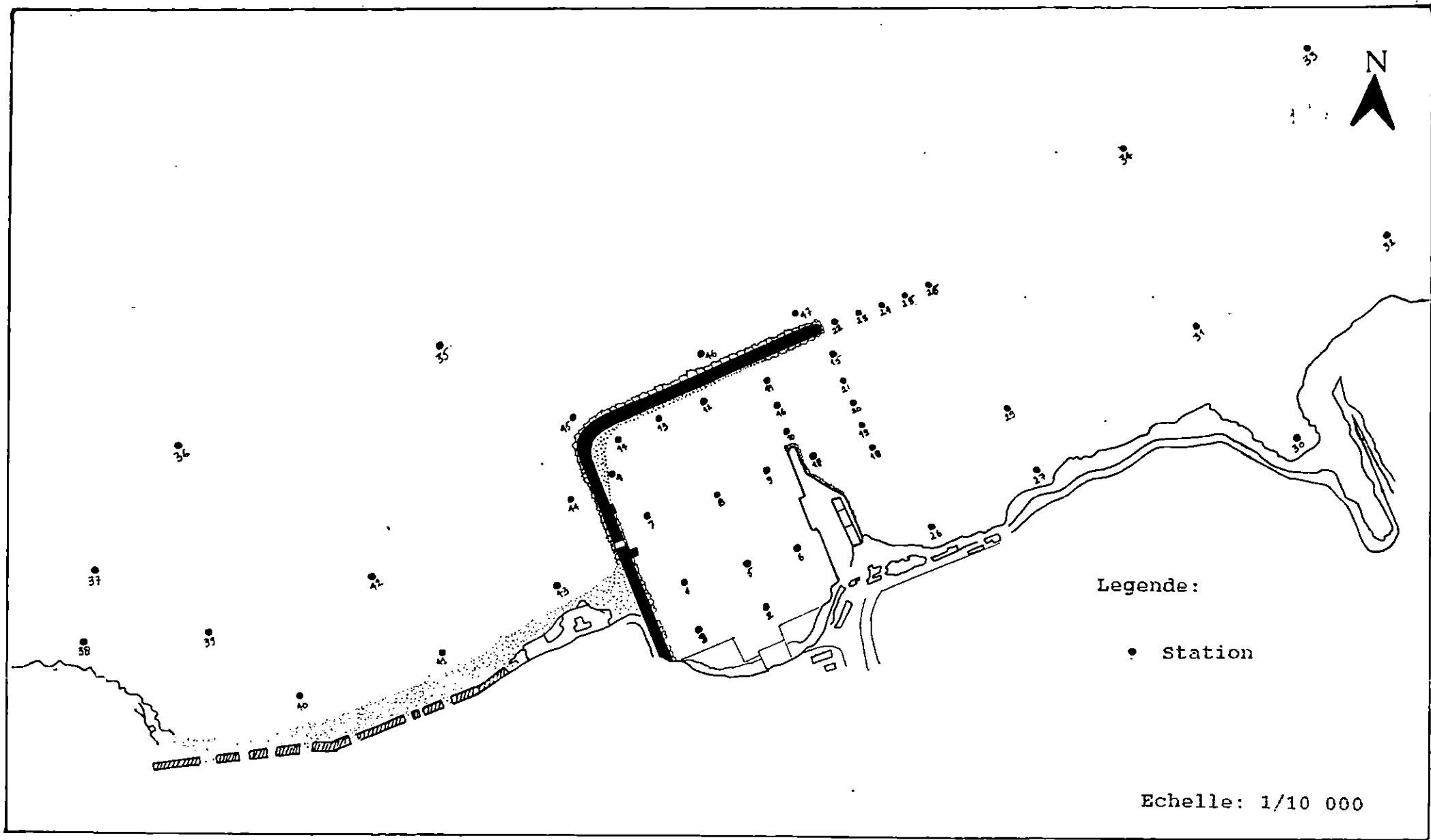
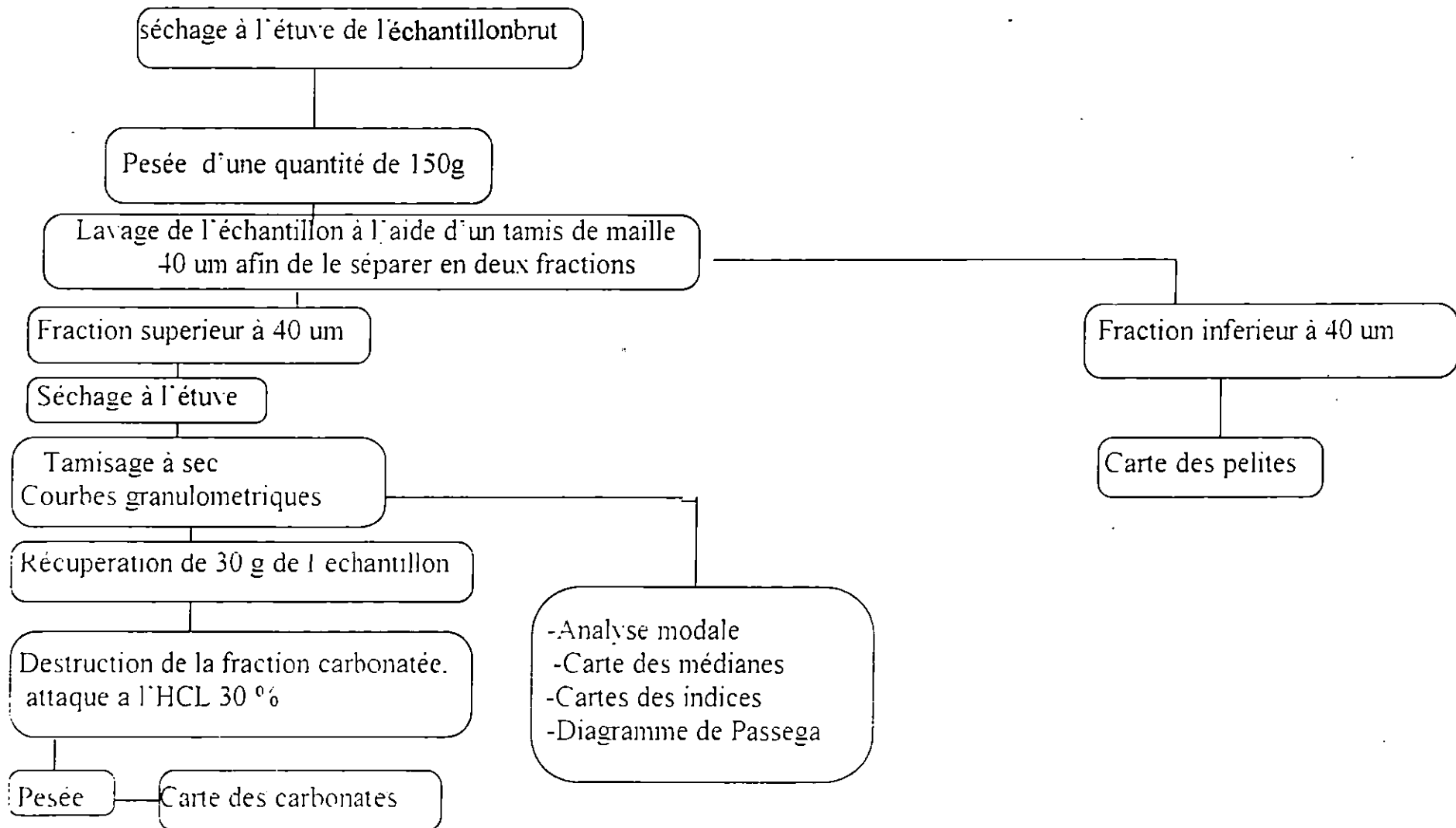


FIG21: Carte de positionnement des stations.

Fig 22 : METHODOLOGIE



61.

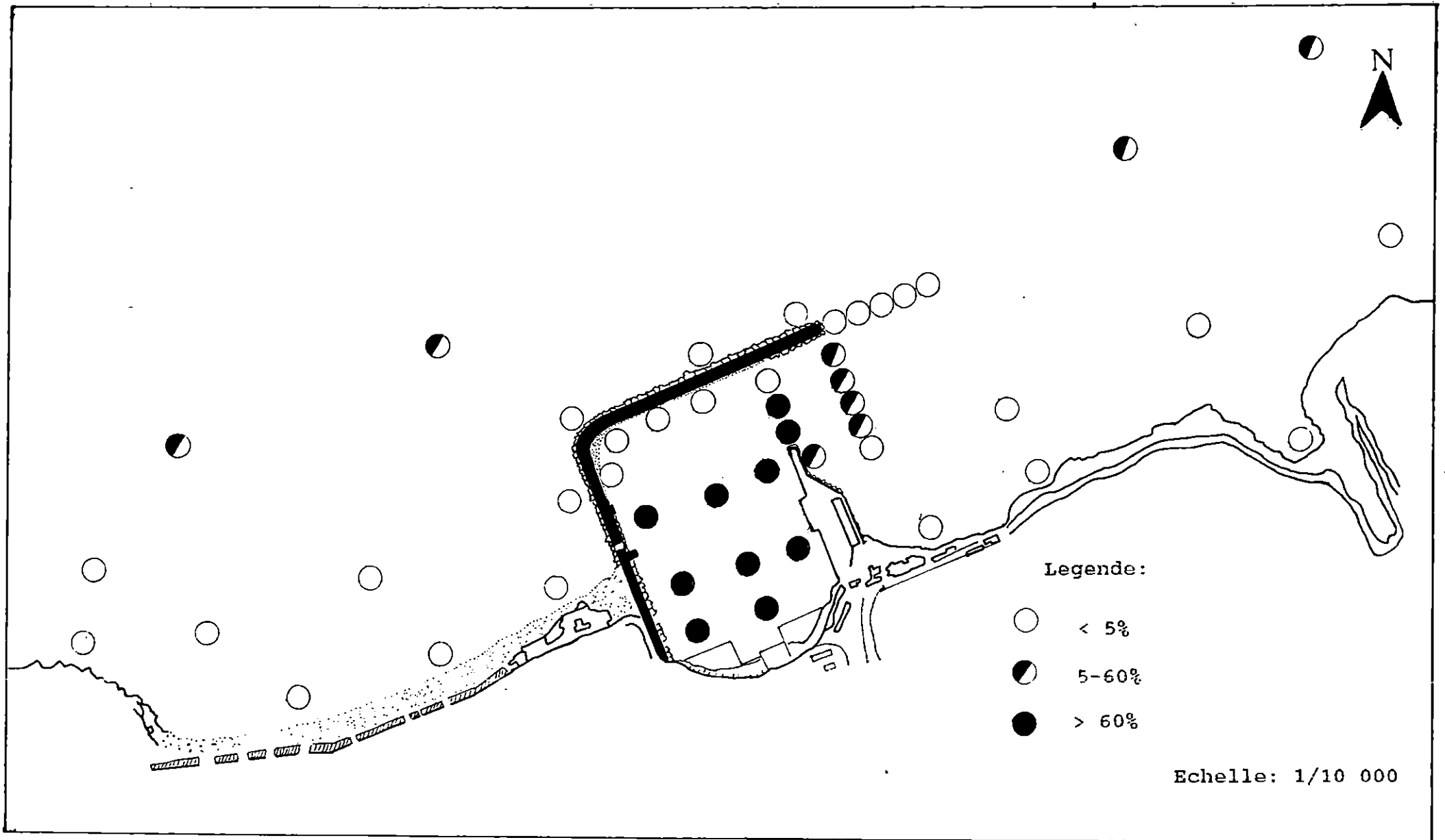


FIG23 : Carte des pélites.

- **Le 1er quartile (Q75)** : C'est la projection sur l'échelle des abscisses, de l'intersection de la courbe cumulative avec l'horizontale représentant 75% en poids du sédiment considéré.

- **Le 3ème quartile (Q25)** : C'est la projection sur l'échelle des abscisses, de l'intersection de la courbe cumulative avec l'horizontale représentant 25% en poids du sédiment considéré.

- **Le percentile Q99** : C'est la projection sur l'échelle des abscisses, de l'intersection de la courbe cumulative avec l'horizontale représentant 99% en poids du sédiment considéré.

4.1- La médiane

La carte des médianes a été établit à partir des courbes cumulatives de tous les échantillons (non décalcifiés) ayant fait l'objet d'une étude granulométrique. La figure 24 montre la répartition suivante:

- **Au voisinage du port** : La carte (figure 24) montre que cet indice varie selon la profondeur sur un profil perpendiculaire à la côte et selon la longitude à une même profondeur. Les sables moyens ($200 \mu\text{m}$ - $600 \mu\text{m}$) sont localisés au niveau de l'estran et jusqu'à des profondeurs de -5m, alors que la fraction fine (inférieur à $200 \mu\text{m}$), apparaît généralement dans la zone du large, c'est à dire, la zone où l'action de la houle sur le fond est faible.

A des profondeurs égales, la médiane est de l'ordre de ($230 \mu\text{m}$) par fond de -5m à l'Ouest du port et de ($140 \mu\text{m}$) à l'Est. Ces variations constatées selon la longitude indiquent un transit sédimentaire de sens Ouest-Est; en effet, le port jouant le rôle d'épi pour les sédiments situés entre 0m et -5m, les sédiments à l'aval de « l'épi » (à l'Est du port) sont plus fins que ceux situés à l'amont (à l'Ouest du port).

D'autre part, le laboratoire centrale d'hydraulique de France indique une dispersion vers le large des sédiments passant d'Ouest en Est, le long de la digue Nord. Ceci se traduit pour les fonds supérieurs à -5m, par une augmentation de la granulométrie à profondeur égale à l'Est du port.

- **Au niveau du port** : A l'intérieur du port, la distribution en taille de grains, fait ressortir deux zones :

- La première zone, parallèle à la jetée Nord, où les sédiments de la bande sableuse, présentent des médianes allant de ($150 \mu\text{m}$ à $190 \mu\text{m}$). Leurs caractéristiques granulométriques sont analogues à celles des sables que l'on rencontre dans les fonds marins de -4m à -7m. La station 1 située dans l'angle que fait la digue Nord avec la digue Ouest, présente un diamètre moyen de l'ordre de $210 \mu\text{m}$ indiquant ainsi une pénétration à travers les renards existant au niveau de ces deux jetées.

- La seconde zone, couvre presque la totalité du port, où le diamètre moyen du grain est inférieur à $60 \mu\text{m}$.

A l'extérieur du port, les sédiments rencontrés sur la flèche sédimentaire, sont des sables fins dont la médiane va en diminuant d'Ouest en Est. Ceci est caractéristique de l'action du courant de houle, qui prend naissance le long de la digue Nord, par houle de secteur Ouest et qui est la cause de la formation de la flèche sédimentaire.

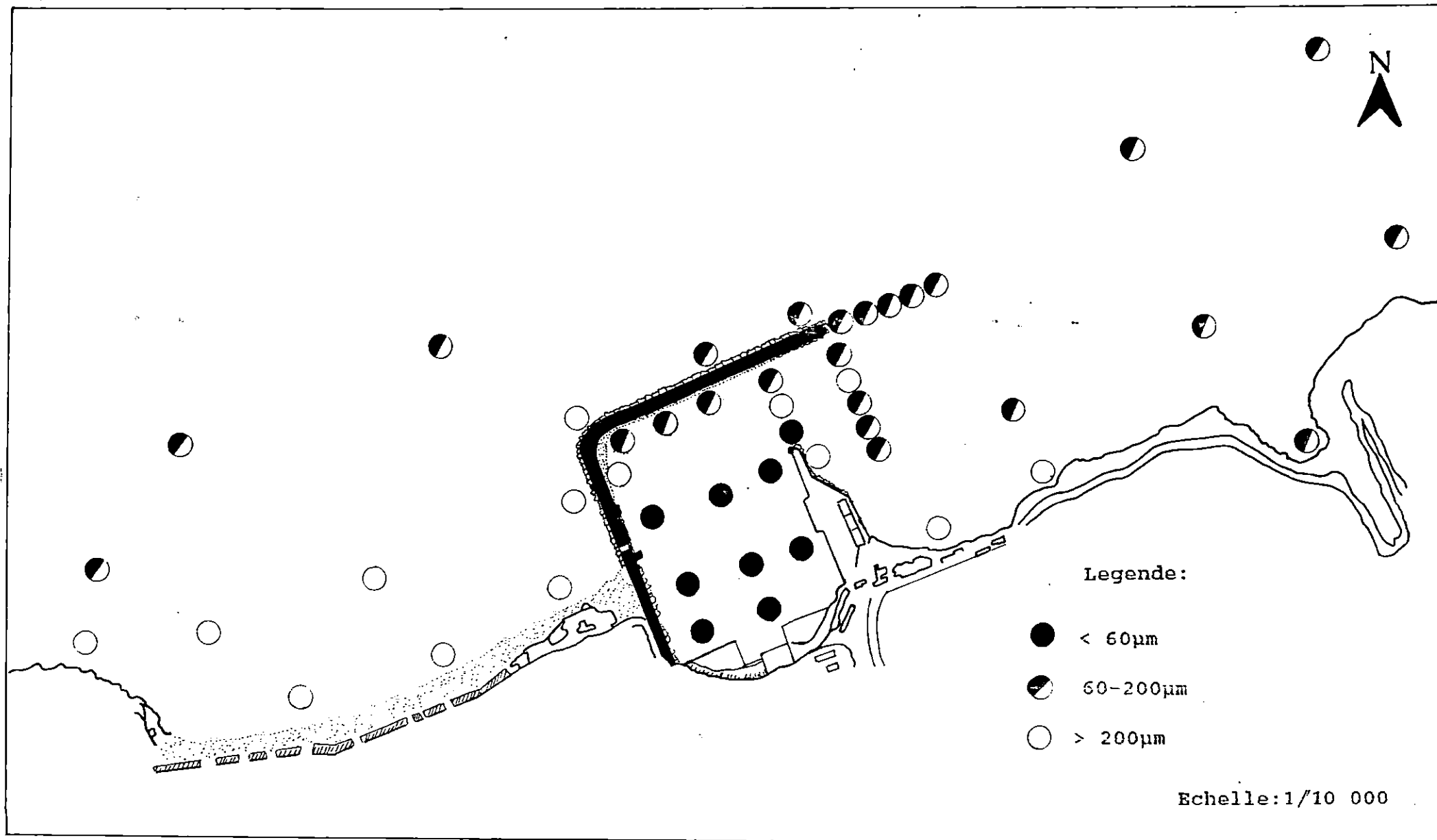


FIG24: Carte des médianes .

- **Oued TAFNA** : Dans la Tafna, les sédiments prélevés présentent un diamètre moyen de l'ordre de 250 μm . D'après le laboratoire central d'hydraulique de France cette granulométrie décroît d'amont en aval et s'enrichit en éléments pélitiques.

4.2- Indice de classement (S0)

Cet indice est donné par la relation :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

S0 : Indice de classement ou sorting de Trask

Q1 : Percentile 25

Q3 : Percentile 75

Trask (1990) a proposé les limites suivantes :

$S_0 < 2.5$	Sédiment très bien classé
$2.5 < S_0 < 3.5$	Sédiment normalement classé
$3.5 < S_0 < 4.5$	Sédiment assez bien classé
$S_0 > 4.5$	Sédiment mal classé

Cet indice indique la dispersion des tailles par rapport à la taille moyenne de l'échantillon (CHAMLEY, 1987).

La figure 25 montre la répartition suivante :

- **Au voisinage du port** : Les sorting index calculés sont de l'ordre de 1.18 à 1.29 à l'Ouest du port (plage des puits) et de 1.12 à 1.33 à l'Est, traduisant des sédiments très bien classés.

- **Au niveau du port** : Les sédiments situés sur la bande sableuse à l'intérieur du port et ceux rencontrés sur la flèche sableuse, sont des sédiments très bien classés (sorting index compris entre 1.19 et 1.37)

4.3- Indice d'asymétrie (Sk)

Cet indice est donné par la relation :

$$S_k = \frac{Q_1 \cdot Q_3}{2 \cdot Q_2}$$

Sk : Indice d'asymétrie

Q1 : Percentile 25

Q3 : Percentile 75

Q2 : Percentile 50 (médiane).

Cet indice indique le tri du sédiment par rapport à la médiane. Il informe sur l'homogénéité et l'évolution du sédiment (déficit ou enrichissement en fraction pélitique).

$S_k < 1$: Etalement de la granulométrie vers les sédiments fins.

$S_k > 1$: Etalement de la granulométrie vers les sédiments grossiers.

$S_k = 1$: Il existe une symétrie de la courbe par rapport au grain moyen.

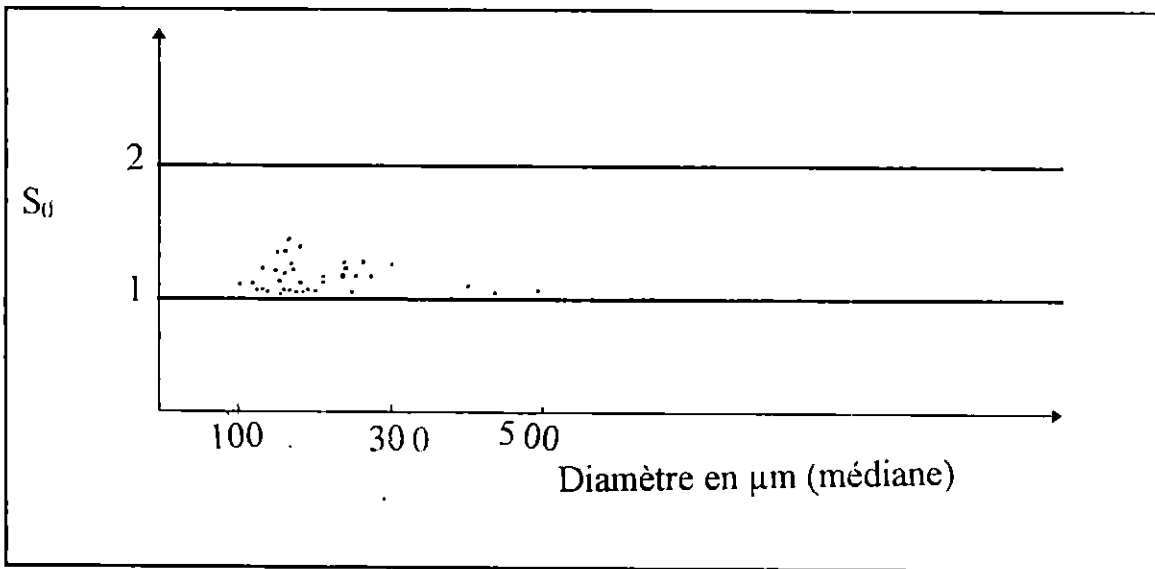


FIG 25 : Répartition de l'indice de classement (S_0)

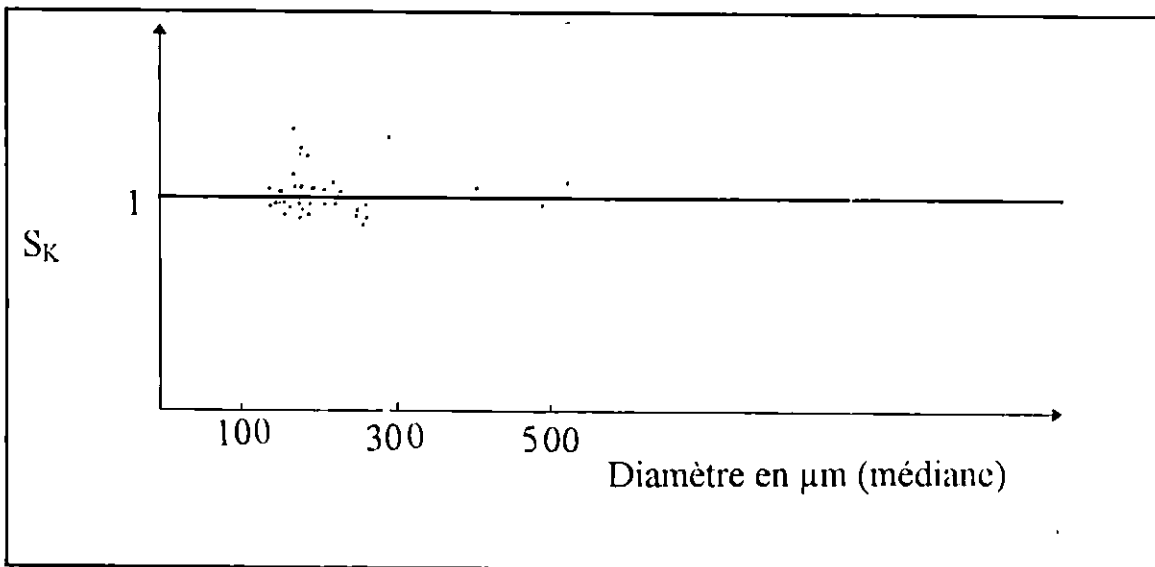


FIG 26 : Répartition de l'indice d'asymétrie (S_K)

La figure 26 montre la répartition suivante :

- **Au voisinage du port** : Les valeurs de cet indice sont généralement inférieures à 1. Les plus faibles sont enregistrées à des profondeurs supérieures à -5m. Donc, le sédiment présente un étalement du côté fin. Néanmoins, il existe quelques points au niveau de l'estran où ce coefficient a une valeur supérieure à 1. Ces points sont caractérisés par la dominance de la fraction moyenne.

- **Au niveau du port** : Pour les quelques échantillons ayant subi une analyse granulométrique, l'indice d'asymétrie calculé, pour les sédiments situés sur la bande sableuse est supérieur à 1. Par contre, les sédiments de la flèche sableuse, présentent une asymétrie positive du côté fin.

4.4- Facteur hydrodynamique (FH)

Ce facteur est donné par la formule :

$$FH = \phi_{95} - \phi_{75} / 2.44 (\phi_{75} - \phi_{25}) - (\phi_{75} - \phi_{25}) / 2$$

Les unités ϕ sont des logarithmes de base 2 de l'inverse des dimensions des particules (mm).

THOMASSIN (1973) a proposé une échelle pour le FH:

$FH > 2$	Hydrodynamisme très fort
$2 > FH \geq 1$	Hydrodynamisme fort
$1 > FH \geq 0.5$	Hydrodynamisme moyen
$FH \approx 0$	Hydrodynamisme faible
$FH \approx -1$	Hydrodynamisme très faible

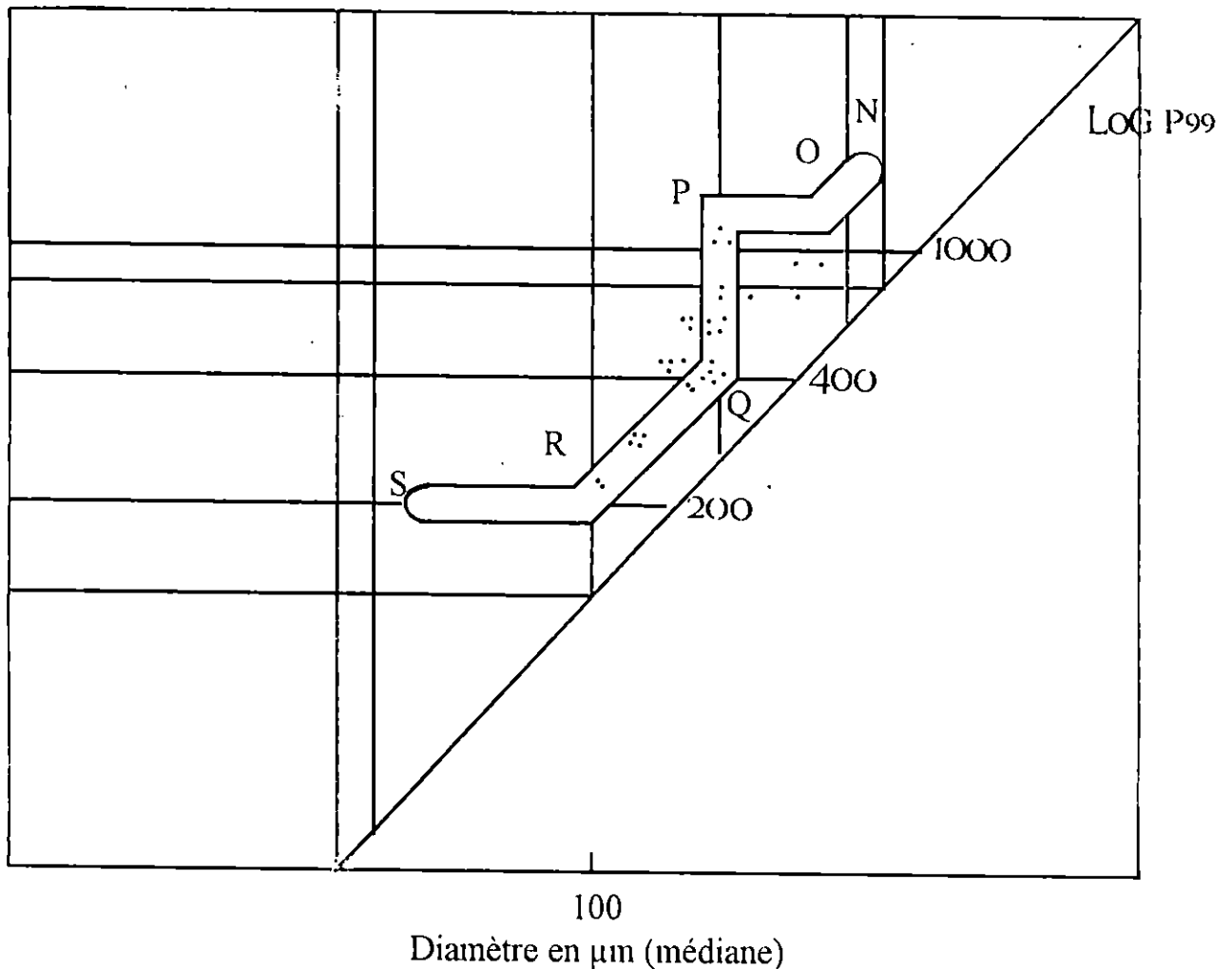
Les résultats obtenus lors du calcul du facteur hydrodynamique (FH) sont comprises entre [$1 > FH \geq 0.5$], traduisant ainsi un hydrodynamisme moyen au niveau de notre zone d'étude.

4.5- Diagramme de Passega

C'est un test granulométrique qui permet d'établir la liaison entre la taille du grain et son mode de transport. Il est obtenu à partir des valeurs logarithmiques de la médiane (en abscisse) et du percentile supérieur (en ordonnée). L'établissement de ce diagramme nous a permis de constater une concentration des points au niveau des branches PQ et QR, ce qui indique la présence de deux principaux modes de transports :

- Le plus dominant, s'effectue par roulement et saltation, il couvre une bonne partie du site étudié et s'effectue à des profondeurs variant généralement entre -2m et -7m. Les médianes varient entre $220\mu\text{m}$ et $600\mu\text{m}$ et les percentiles supérieurs entre $500\mu\text{m}$ et $1000\mu\text{m}$.

- Le second mode de transport dominant s'effectue par suspension gradée lorsque la charge dépasse la capacité de transport. Les médianes sont généralement comprises entre $130\mu\text{m}$ et $230\mu\text{m}$ et les percentiles supérieurs sont à leur tour compris entre $230\mu\text{m}$ et $400\mu\text{m}$.



SR (RS) : Suspension uniforme homogène QP (PQ) : Roulement et saltation
RQ (QR) : Suspension gradée PO (OP) : Roulement

Figure 27 : Diagramme de Passega

5- Répartition des carbonates

L'étude des carbonates consiste à déterminer pour chaque échantillon sa teneur en calcaire en fonction de la différence de poids, avant et après l'attaque à l'acide chlorhydrique, d'un poids connu de sédiment. La figure 28 montre la répartition suivante:

- **Au voisinage du port** : A l'Ouest du port, les teneurs en calcaire croissent du large vers l'estran. Elles sont comprises entre 20 et 40% dans les fonds de -5m, et dépassent les 40% sur l'estran.

A l'Est du port, la répartition des carbonates est homogène, les teneurs sont plus faibles, et varient entre 20 et 40% de l'estran aux fonds de -5m.

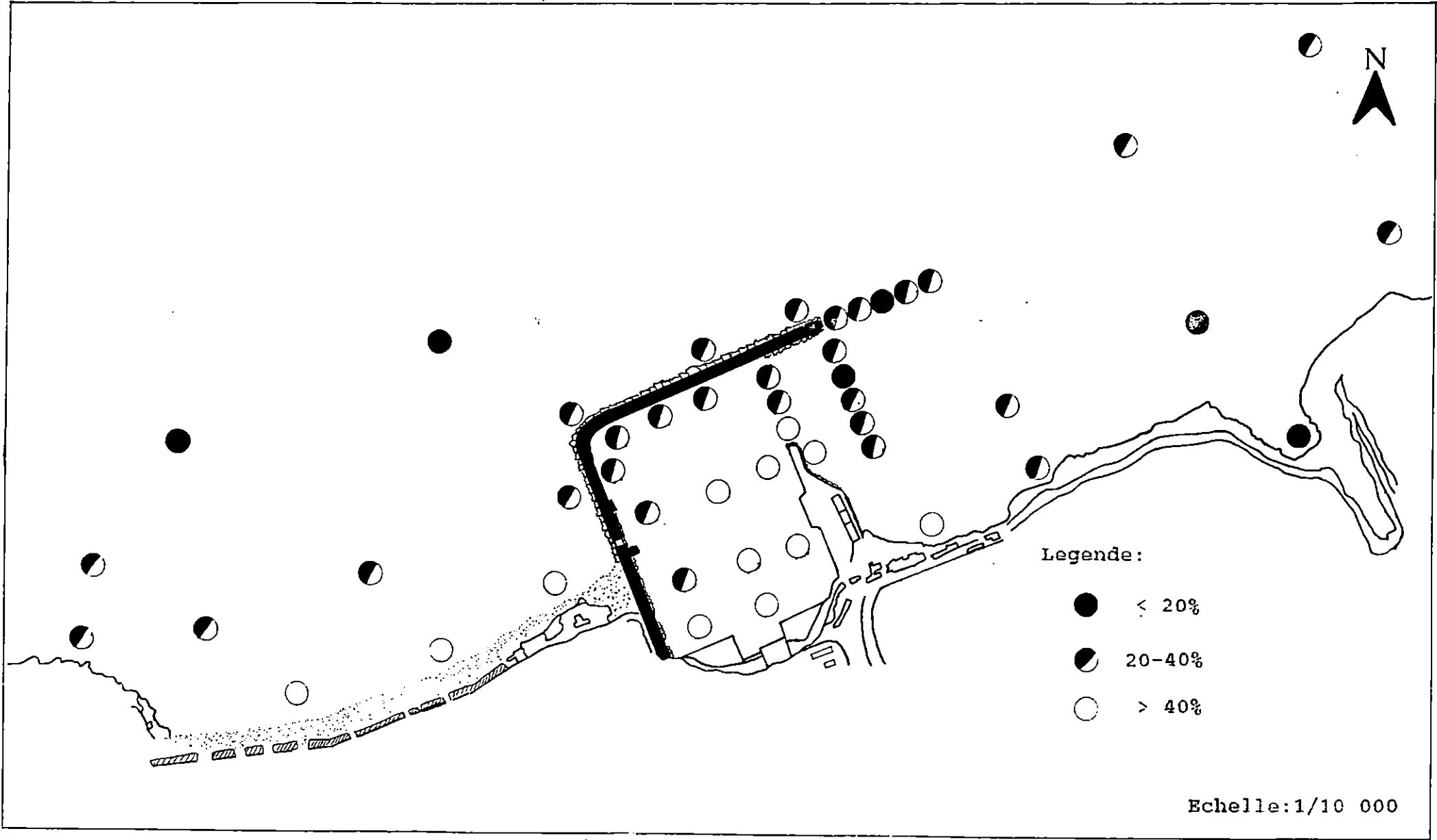


Fig 2e : Répartition des carbonates

- **Au niveau du port** : La figure 28 montre l'existence d'un gradient croissant du taux de calcaire vers l'intérieur du port. Ainsi ces teneurs sont de l'ordre de 25% au niveau de la flèche et de la bande sableuse et dépassent les 40 % au fond du port.

6- ANALYSE MODALE

6.1- Représentation graphique

La représentation graphique s'effectue par deux moyens :

- **Courbes cumulatives** : Pour chaque échantillon, on établit une courbe représentant les pourcentages cumulatifs en fonction du logarithme des mailles de tamis utilisés. Ceci nous permet de déduire graphiquement certains paramètres de distribution ainsi que la valeur de la médiane.
- **Histogrammes de fréquence** : Ils représentent les poids des refus partiels du sédiment, en fonction des mailles de tamis utilisés. L'histogramme de fréquence permet de mettre en évidence dans un même échantillon, la dominance d'une ou de plusieurs fractions.

La représentation graphique en courbe cumulatives et histogrammes de fréquence des résultats obtenus, nous a conduit à définir deux types de courbes :

- **Courbes unimodales** : (figure 29) où on note la présence d'un seul stock sédimentaire dans l'échantillon étudié.
- **Courbes plurimodales** : (figure 30) où la présence de plusieurs modes témoignent l'existence de plusieurs stocks sédimentaires donc plusieurs phases dynamiques.

6.2- Répartition des différents modes

Les modes utilisés sont tirés de la courbe cumulative, c'est l'abscisse correspondant au point d'inflexion de la courbe. L'histogramme de fréquence des modes établis grâce à la fréquence d'apparition du même mode nous a permis de définir quatre classes modales (figure 31).

- **Classe modale 1 ($< 40\mu\text{m}$)** : avec une fréquence maximale d'apparition à $40\mu\text{m}$.
- **Classe modale 2 ($100\mu\text{m} - 140\mu\text{m}$)** : avec une fréquence maximale d'apparition à $125\mu\text{m}$.
- **Classe modale 3 ($140\mu\text{m} - 210\mu\text{m}$)** : avec une fréquence maximale d'apparition à $170\mu\text{m}$.
- **Classe modale 4 ($210\mu\text{m} - 550\mu\text{m}$)** : avec une fréquence maximale d'apparition à $240\mu\text{m}$.

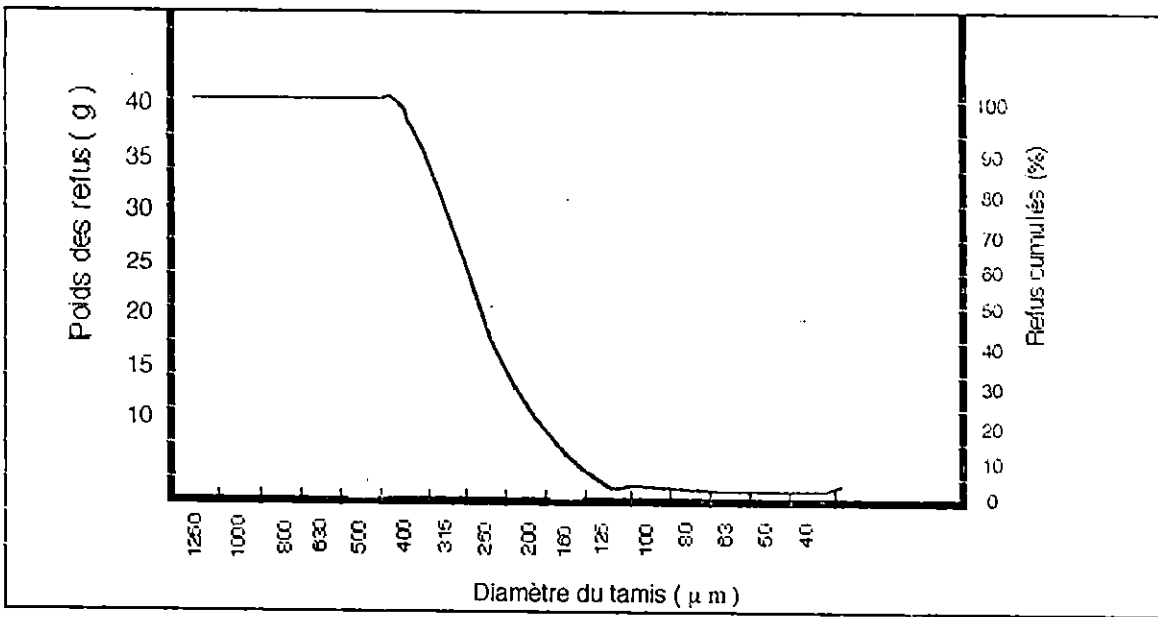


FIG 29 : Courbe unimodale

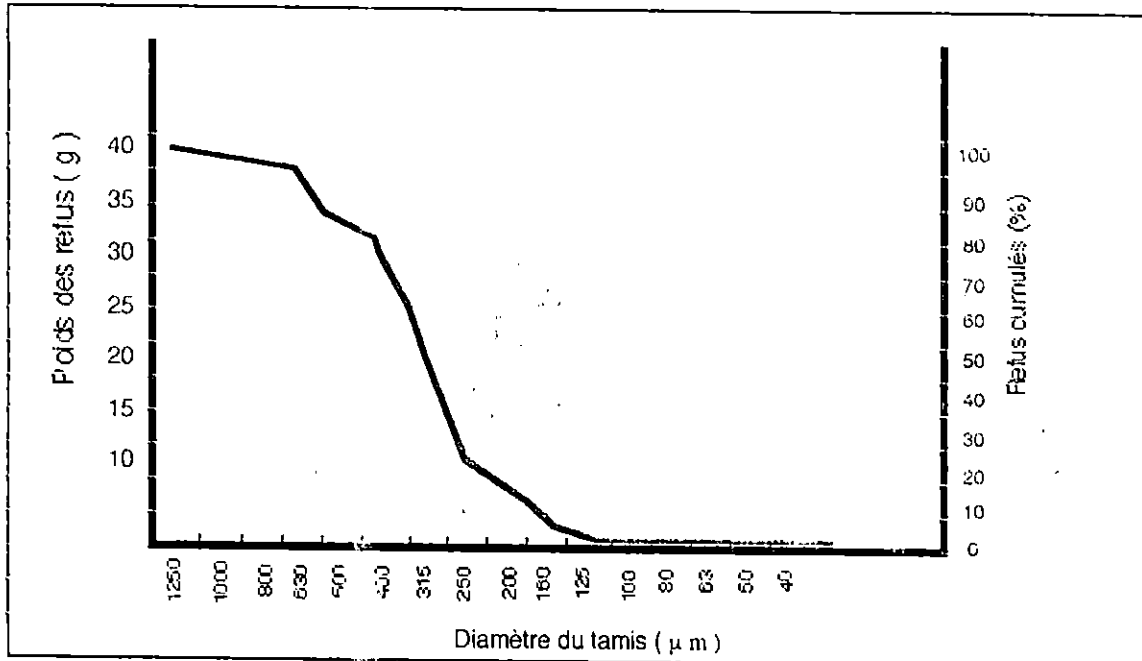


FIG 30 : Courbe plurimodale

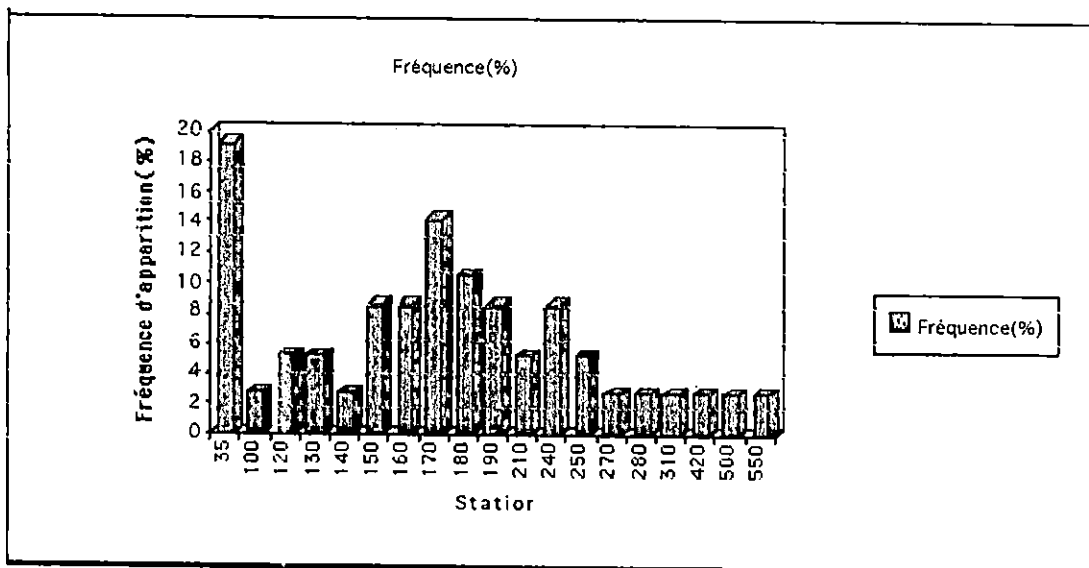


FIG 31 : Fréquence d'apparition des différents modes

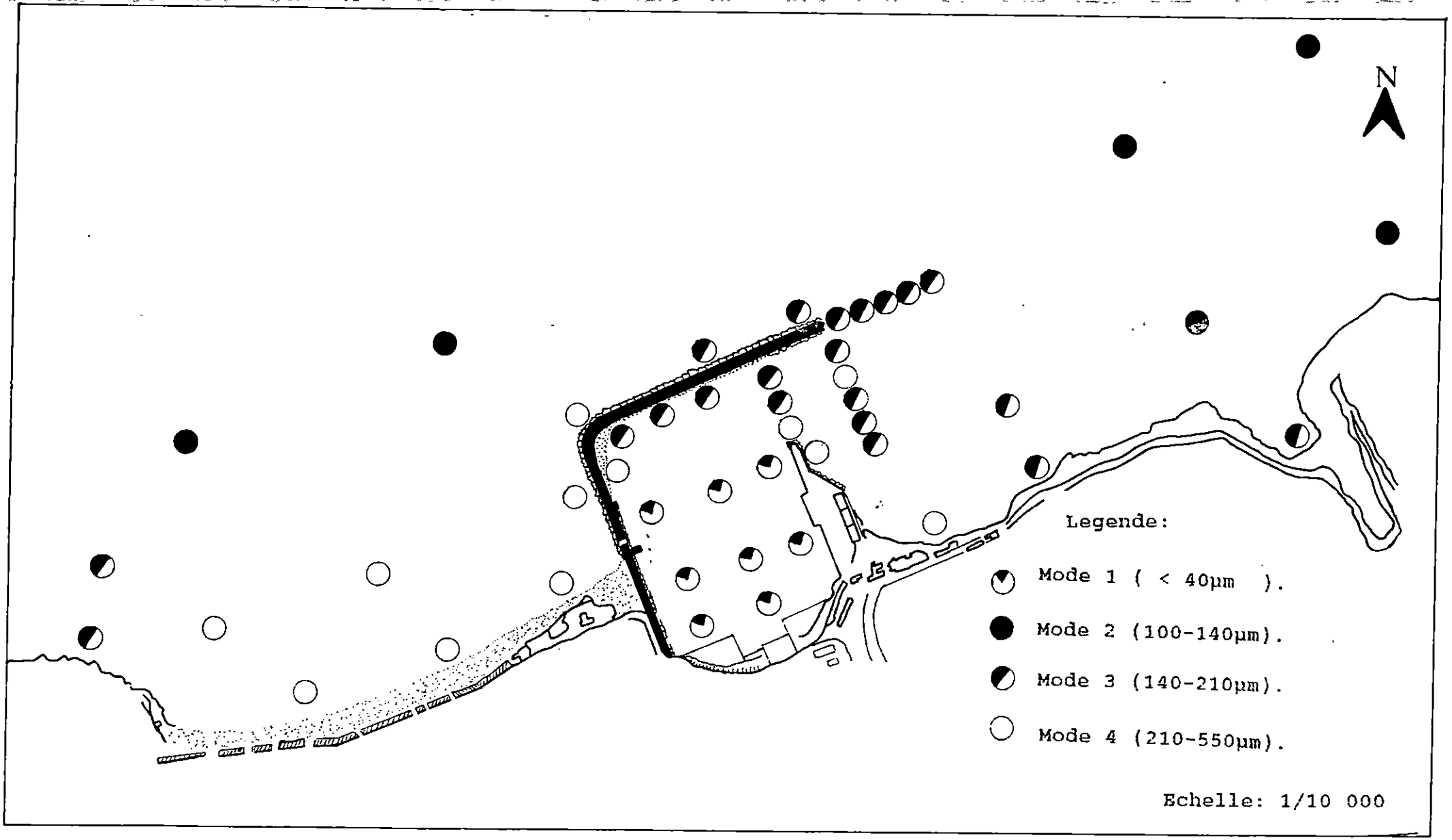


FIG32: Carte des melanges .

- Répartition de la classe modale 1 (<40 μ m) :

Cette classe modale figure à l'intérieur du port, représentée essentiellement par de la vase.

- Répartition de la classe modale 2 (100 μ m-140 μ m) :

C'est une classe peu répandue dans notre zone d'étude. Elle est représentée essentiellement par la fraction fine dont le diamètre moyen varie entre 100 μ m et 140 μ m. La carte montre une certaine répartition de cette classe modale, qui apparaît sous forme d'une bande s'étalant d'Ouest en Est, localisée généralement au delà de -7m avec des pourcentages variant entre 3 et 5%.

- Répartition de la classe modale 3 (140 μ m-210 μ m) :

C'est la classe la plus répandue dans notre site d'étude. Les taux les plus élevés atteignent 14% avec des diamètres moyens variant entre 140 μ m et 210 μ m. Cette classe est représentée au niveau de la bande sableuse, de la flèche sédimentaire, et par fond de -5m au large de la jetée Nord.

Toutefois, on remarque que cette classe apparaît à l'Est du port au niveau de la plage de Sidi Boucif.

- Répartition de la classe modale 4 (210 μ m - 550 μ m) :

La répartition de cette classe apparaît dans une zone, à faible profondeur, proche du rivage (plage du puits) et aux abords du port (jetée Est). Les diamètres moyens varient entre : 140 μ m et 210 μ m avec une fréquence d'apparition maximale de l'ordre de 9%.

La synthèse générale de l'analyse modale, nous a permis d'établir une répartition spatiale des quatre classes modales (figure 32). Cette répartition fait ressortir une évolution de l'Ouest vers l'Est.

7-Morphoscopie

Les analyses morphoscopiques, permettent de connaître les agents de transport ayant agi sur les grains et l'intensité des actions qu'ils ont subi.

Sur cinquante grains de chaque échantillon, on a observé à la loupe binoculaire trois paramètres principaux: l'éclat, la forme et la couleur des grains.

7.1- Observations et résultats

On distingue d'après les caractéristiques morphoscopiques des grains, trois groupes fondamentaux :

- Grains non usés : leurs faces peuvent être brillantes ou ternes.

- *Grains émoussés luisants* : résultant d'une longue usure principalement mécanique dans l'eau. Les sommets et les arêtes sont émoussés et luisants.

- *Grains ronds-mats* : résultant de l'usure par le vent.

Notons que pour notre analyse, on n'a pas pu voir nettement la différence entre les grains arrondis et très arrondis, car cela relève de l'unité d'observation de l'opérateur et de son expérience. On s'est finalement limité aux grains arrondis.

Les résultats des analyses morphoscopiques sont donnés sous forme de tableaux en annexe 3.

7.2- Interprétation des résultats

L'analyse des résultats obtenus, nous permet de conclure que les sédiments prélevés en milieu marin sont formés surtout de grains émoussés luisants. Ils ont donc été essentiellement soumis à des actions hydrodynamiques.

Les grains de quartz sont arrachés aux bassins versants, puis transportés par l'Oued Tafna vers la mer. Les sédiments favorisés par le sens du transit (Ouest-Est), sont véhiculés jusqu'au abords du port, puis entraînés vers l'intérieur par les houles du secteur Nord-Est.

Notons toutefois, qu'une faible proportion de sédiment est constituée de grains anguleux provenant du démantèlement des falaises situées de part et d'autre du port de Béni-Saf.

8- Étude minéralogique

Dans le but de rechercher l'origine des sédiments responsables de l'ensablement du port de Béni-Saf, des analyses minéralogiques, ont été effectuées par le laboratoire central d'hydraulique de France.

Les minéraux lourds, de densité supérieure à 2.8, ne constituent, généralement, que 1% à 2% des sédiments. S'ils sont peu abondants pondéralement, ils sont par contre, de multiples natures et sont caractéristiques des roches-mères les ayant produits. Leur détermination se fait à partir de l'étude de leurs propriétés optiques au microscope polarisant.

Les teneurs en minéraux obtenues pour les quelques échantillons sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Teneurs en minéraux lourds au niveau de la région de Béni-Saf (L.C.H.F, 1979).

Station	Teneur(%)
Oued Tafna	0.37
Plage Rechgoun	0.71
Plage Madrid	1.00
Béni-Saf (St)	0.38
Estran Béni-Saf	1.53

Le cortège minéralogique des échantillons provenant de l'Oued Tafna et ceux de la zone de Béni-Saf n'apparaissent pas très différents. Les minéraux lourds rencontrés sont essentiellement : des amphiboles, pyroxènes, tourmalines, andalousites; zircons, grenats etc...

La similitude de ce cortège minéralogique semble indiquer que ce sont les apports de l'Oued Tafna qui sont à l'origine des sédiments de Béni-Saf.

9- TRACEURS RADIOACTIFS ET FLUORESCENTS

Pour apporter plus de précisions sur les mouvements sédimentaires et les modes de pénétration des sables dans le port de Béni-Saf, des études par traceurs radioactifs et fluorescents ont été effectuées par le laboratoire central d'hydraulique de France.

Les mouvements des sables fluorescents, ont apporté des confirmations sur le sens préférentiel du transit, le long de la plage du puits et sur la bande sableuse qui s'est formée à l'intérieur du port.

Il apparaît à partir de ces mouvements et des analyses sédimentologiques, que la plage du puits, peut avoir un rôle important de stockage et de relais dans le transit venant de l'Ouest. Les sédiments accumulés, par houles moyennes à faibles sur cette plage, peuvent se trouver partiellement libérés en tempête d'Ouest à Nord-Ouest et alimenter les petits fonds situés aux abords de la digue Nord.

Suivant l'état de la mer, une partie de ces matériaux peut être remontée vers la digue et pénétrer à l'intérieur du port par les renards, ou par franchissements si les amplitudes sont suffisantes, tandis que la plus grande quantité est entraînée vers l'extrémité de la digue, où une flèche sableuse se forme.

Sous l'action des houles diffractées et des houles de secteur Nord-Est, les sables sont rabattus vers la passe d'entrée du port et s'acheminent vers le fond du bassin pour s'accumuler sur la face interne de la digue. Les volumes de sables apportés pour s'accumuler chaque année par ce processus, peuvent dépasser 70.000 m³ imposant ainsi, des dragages d'entretien onéreux.

Les mouvements sédimentaires aux abords et à l'intérieur du port de Béni-Saf, sont en fait beaucoup plus complexes que le schéma décrit précédemment et les mesures ont montré qu'il pouvait exister des départs vers le large, d'une fraction des sables accumulés sur la flèche sableuse. Les causes de ce départ peuvent être dues à l'action des courants dextrorsum qui prennent naissance à l'Est du port.

Cet ensemble de résultats mis en évidence par les traceurs fluorescents et radioactifs, apporte des éléments complémentaires d'interprétation des mouvements sédimentaires et des conditions d'ensablement du port de Béni-Saf.

10- CONCLUSION

Dans le secteur de Béni-Saf, les sédiments sont constitués par des sables fins dont la médiane décroît depuis l'estran jusqu'au large. Les sables prélevés à l'Ouest étant sensiblement plus gros que ceux prélevés à l'Est, par suite du triage granulométrique qui s'effectue dans le sens du déplacement du sédiment (Ouest-Est).

Le transport le plus dominant s'effectue par roulement et saltation à des profondeurs variant généralement entre -2 et -7 m.

L'analyse minéralogique et morphoscopique a montré que se sont les apports de l'Oued Tafna qui sont à l'origine des sédiments de Béni-Saf.

L'étude par traceurs radioactifs a confirmé cette origine et a montré que la plage du puits agirait beaucoup plus comme un relais qui s'engraisse en beau temps et libère son matériaux en tempête que comme une zone de transit actif.

A la lumière des résultats obtenus et des études effectuées par le laboratoire central d'hydraulique de France (L.C.H.F), un schéma récapitulatif de la dynamique sédimentaire au niveau de notre site d'étude a été établi (figure 33).

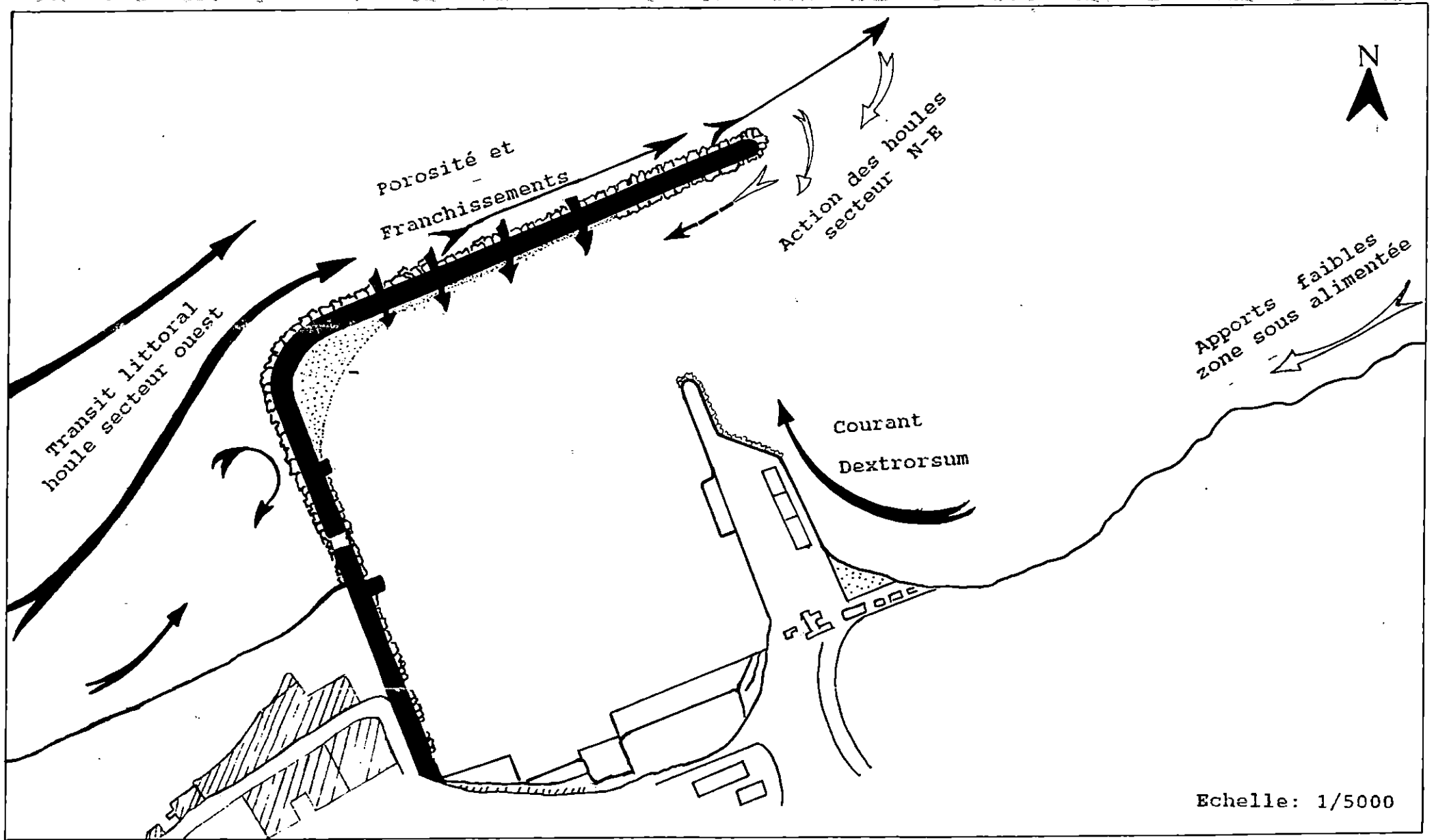


FIG 33 : Schéma des mouvements sédimentaires.

CHAPITRE VI
ETUDE BENTHIQUE



1- INTRODUCTION

Afin de mieux évaluer et cerner le problème des impacts du dragage des fonds du port de Béni-Saf, qui aura pour effet essentiel la perturbation d'une partie importante des peuplement benthiques, une étude benthologique s'avère nécessaire.

Le but de ce travail est d'avoir une image des peuplements benthiques du port de Béni-Saf permettant de définir : un état de référence sur la composition qualitative et quantitative des peuplements; une zonation benthique et de préciser le niveau de pollution.

2- Matériel et méthodes

2.1- Travaux en mer

2.1.1- Echantillonnage

Les prélèvements ont été réalisés en Juillet 1995 au niveau de 16 stations couvrant l'ensemble du port (figure 34).

Afin d'avoir un échantillonnage représentatif au niveau de chaque station prospectée, deux prélèvements quantitatifs ont été effectués pour chaque station avec une benne « Van Veen » (soit une surface prélevée de 1/5 m²).

Parallèlement, des prélèvements de sédiments ont été réalisés en vue d'une étude granulométrique (voir chapitre V) et une estimation de la matière organique dans le sédiment.

Des mesures de températures et des teneurs en matière en suspension (MES) des eaux de surface ont été effectuées.

2.1.2- Tamisage et fixation

Le sédiment récolté est transféré dans un bac à sédiment dont le contenu sera déversé dans un tamis auquel on applique un jet d'eau de mer qui aura pour effet d'entraîner la vase et le sable.

La maille du tamis utilisée est de 1mm car l'étude porte sur le macrobenthos défini comme étant l'ensemble de la faune benthique dont la taille est supérieure à 1mm.

Le refus du tamis est alors fixé au formol à 10% et stocké dans des bocaux préalablement étiquetés (numéro de station, date) en vue de son étude au laboratoire.

2.2- Travaux au laboratoire

2.2.1- La macrofaune benthique

Au laboratoire, le traitement du matériel biologique se fait par étape, il consiste en un tri, une conservation et une détermination des espèces.

Chaque échantillon est analysé individuellement, les organismes de la macrofaune sont séparés suivant les grands groupes zoologiques (Mollusques, Polychètes, Crustacés) puis conservés dans des piluliers contenant du formol dilué.

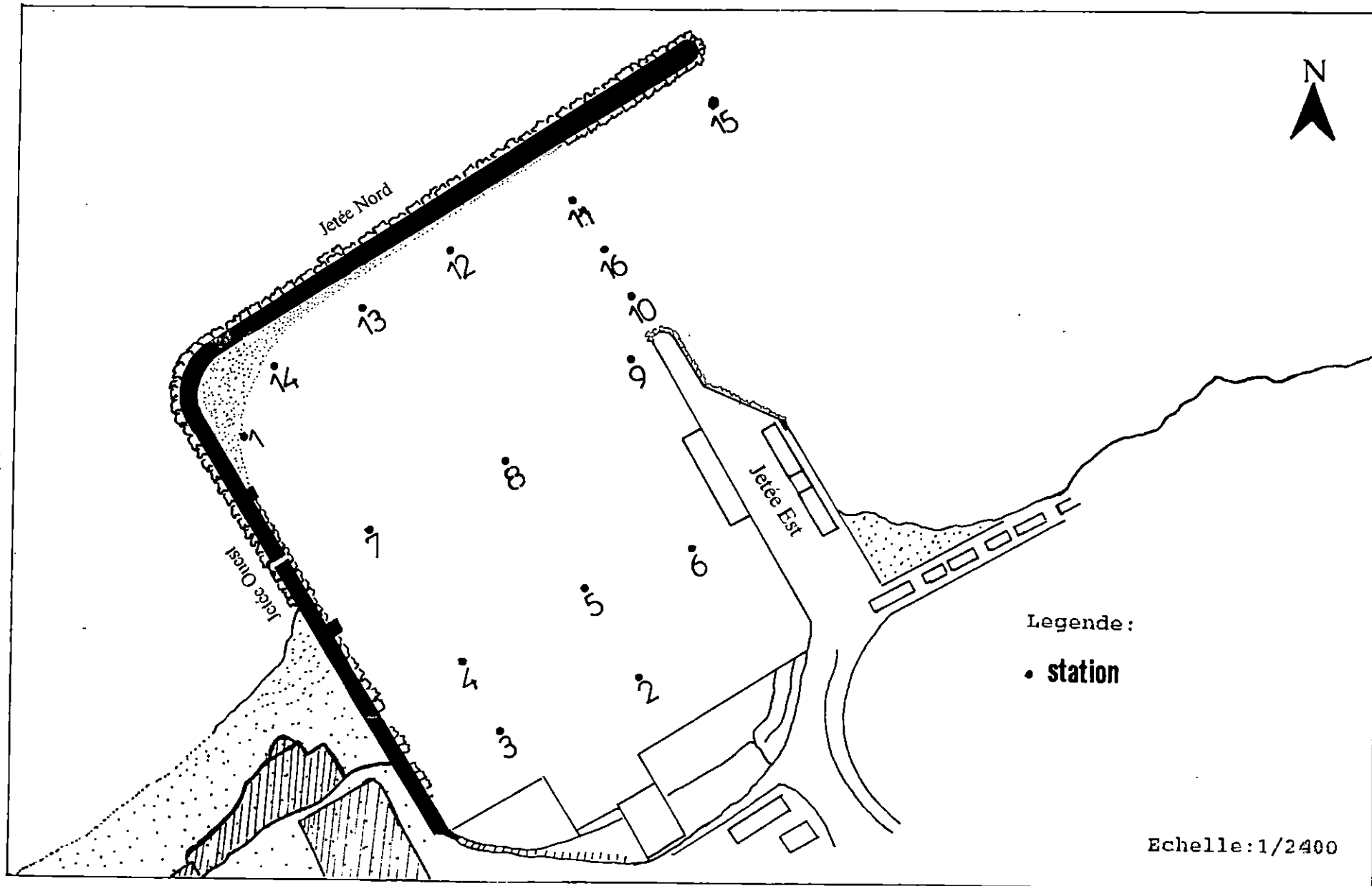


FIG 34 : Carte de positionnement des stations .

La détermination des espèces se fait à l'aide de faunes et de documents spécialisés et le dénombrement des individus de chaque espèce aux différentes stations est noté.

2.2.2- La matière en suspension (MES)

La matière en suspension a été mesurée selon la méthode d'estimation quantitative qui consiste à filtrer l'eau de mer à travers une membrane poreuse ($f = 0,45 \mu\text{m}$); la membrane est séchée et pesée avant et après filtration.

$$\text{La formule est [MES]mg/l} = \frac{P2 - P1}{V}$$

Où : P1 : Poids du filtre avant filtration en mg

P2 : Poids du filtre après filtration en mg

V : Volume d'eau filtré en litre.

2.2.3- La matière organique dans le sédiment

L'incinération des sédiments dans un four à moufle permet de calculer le taux de matière organique dans le sédiment. Nous procédons de la manière suivante :

- Pour éviter la décomposition de la matière organique, l'échantillon a été congelé, une fraction du sédiment est ensuite décongelée et séchée à l'étuve à 60°C pendant 24 heures pour éliminer uniquement l'eau contenue dans le sédiment.

- Le sédiment sec est pesé avec une balance de précision (P1), puis incinéré au four à moufle à 600°C pendant 2 heures pour éliminer la matière organique. Le sédiment est pesé de nouveau (P2).

Le taux de matière organique dans le sédiment est :

$$\text{MO(\%)} = \frac{P1 \times P2}{P1} \times 100$$

Où : P1 : Poids de l'échantillon avant incinération

P2 : Poids de l'échantillon après incinération

2.3- Traitement des données

Nous considérons un peuplement comme étant formé par un groupe d'espèces établies sur une surface bien définie par les conditions du milieu et ayant des exigences écologiques (Hily, 1976 in Benatia, 1991).

2.3.1- Caractéristiques des peuplements

Chaque peuplement présente des caractéristiques externes représentées par les facteurs édaphiques et physico-chimiques; et des caractéristiques internes qui sont d'ordre faunistique. Ces dernières sont divisées en trois groupes : caractéristiques générales, synthétiques et analytiques.

Dans notre étude, nous nous limiterons aux caractéristiques analytiques; elles définissent la place et l'importance des différentes espèces qui composent un peuplement.

PICARD (1965) caractérise un peuplement par un certain nombre de coefficients qu'on utilisera pour l'analyse de nos données :

- **Abondance (A)** : dans un peuplement, l'abondance d'une espèce est le nombre d'individus de cette espèce dans ce prélèvement.

- **Densité (d)** : la densité correspond au nombre d'individus/m². C'est un paramètre quantitatif, utilisé pour bien situer une espèce dans un peuplement dans lequel ont été effectués des prélèvements quantitatifs. La densité calculée pour toutes les stations est donnée par la relation suivante :

$$d = A \times 5$$

- **Dominance** : la dominance exprime l'importance d'une espèce dans un peuplement en pourcentage. Elle représente le nombre d'individus de cette espèce par rapport au nombre d'individus de toutes les espèces présentes dans le même prélèvement.

$$Da = \frac{Na}{Na+Nb+\dots+Nn} \cdot 100$$

Da: Dominance de l'espèce A.

Na: Abondance de l'espèce A.

Na+Nb+.....+Nn: Abondance des espèces A,B,.....,N.

2.3.2- Classification écologique des espèces benthiques

On adopte la classification de PICARD (1965) qui a classé les espèces en catégories indiquant que leur présence est étroitement liée à un facteur écologique. On distingue :

- **Vasicoles strictes (VS)** : exigeant des substrats de vases pures ou bien une fraction de vase largement dominante dans le sédiment.

- **Vasicoles tolérantes (Vt)** : présentes dans divers substrats où il existe, pour le moins, une fraction vaseuse.

- **Manuicoles (M)** : présentes à la fois dans des substrats soit vaseux, soit de sable fin, à l'exclusion des sables grossiers et des graviers.

- **Sabulicoles strictes (SS)** : exigeant des substrats de sable fin pratiquement pur.

- **Sabulicoles tolérantes (St)** : présentes dans divers substrats où il existe pour le moins une fraction de sable fin dominante.

- **Gravellicoles (G)** : présentes dans les substrats où la fraction sables grossiers et fins graviers est seule présente, soit largement dominante.

- **Mixticoles (MIXT)** : exigeant la présence réunie dans le substrat de quatre fractions essentielles, vase, sable fin, sable grossier et fin gravier.

- **Sabulicoles-Vasicoles (SV)** : vivent dans un même substrat que les précédentes, sans être limitées par le taux de graviers.

- **Sabulicoles - Gravellicoles (SG)** : présentes dans un substrat formé de sables et de graviers réunis mais, le taux de pélites, ne doit pas dépasser 5%.

- **Indicatrices de pollution (IP)** : présentes dans des zones à pollution modérée.

- **Indicatrices de dessalure (ID)** : localisées aux zones d'infiltration sous marine et d'écoulement des eaux douces.

Indicatrices d'instabilité (II) : présentes en des zones d'instabilité sédimentaires résultant soit de l'évolution dans le temps ou dans l'espace des biocénoses (instabilité momentanée) soit d'effet hydrodynamique notable se produisant préférentiellement, d'une année à l'autre et en certaines saisons, dans des endroits bien localisés.

- **Large répartition écologique (LRE)** : espèces présentes dans des biotopes très divers.

3- Résultats et discussion

3.1- Facteurs écologiques abiotiques

3.1.1- La température

C'est un facteur écologique important pour le développement et l'évolution du peuplement benthique. Dans un milieu semi-fermé comme le port de Béni-Saf, la température dépend de l'influence des conditions météorologiques, de la nature des rejets d'eau, de leur stagnation et de l'évaporation.

Les valeurs de températures de surface au niveau des 16 stations étudiées sont comprises entre 22 et 25°C, soit en moyenne 23.2°C (Annexe 4).

Les températures élevées s'expliquent par le fait que les prélèvements se sont effectués en mois de Juillet où la température de l'air est élevée.

3.1.2- La matière en suspension (MES)

La matière en suspension est l'un des éléments caractéristiques des milieux portuaires. Elle est liée à deux phénomènes :

- **Physique** : les rejets urbains, la stagnation des eaux et la décantation favorisent l'accumulation de la matière en suspension.

- **Biologique** : la matière organique qui se dépose sur le fond s'accompagne d'une consommation excessive d'oxygène.

Les teneurs en matière en suspension indiquent des concentrations comprises entre 3.56 et 23.93 mg/l. La plus grande valeur (23.93 mg/l) se retrouve au niveau de la station 3 située près de la bouche d'égout. La plus faible (3.56 mg/l) par contre se situe au niveau de la station 12 située au niveau de la bande sableuse (Annexe 4).

3.1.3- La matière organique dans le sédiment

Les taux de matière organique dans le sédiment enregistrés sont supérieurs à 10 % à l'intérieur du port où le maximum (26.05 %) est localisé au niveau de la station 6. Un taux de matière organique inférieur à 10 % est enregistré au niveau de la bande sableuse et à l'extérieur du port comme l'indique l'Annexe 4.

3.2- Caractéristiques des peuplements

3.2.1- Aspect qualitatif et quantitatif des stations (figure 35; 36 et 37)

- **Station 1** : Le groupe des Crustacés est le seul groupe zoologique rencontré au niveau de cette station représenté uniquement par une seule espèce « Eurydice pulchra », espèce sabulicole, avec une densité de 40 ind/m².
- **Station 2, 3 et 4** : Ces stations sont représentées par un seul groupe zoologique « les mollusques » avec des densités respectives de 30, 2090 et 20 ind/m². Pour ces trois stations, le stock écologique dominant est celui des espèces sans signification écologique précisée avec des dominances respectives de 66.66, 15 et 50%.
- **Station 5** : 18 espèces ont été inventoriées et une densité totale de 235 ind/m². Les Mollusques dominent quantitativement (155 ind/m²) et qualitativement (9 espèces) suivis par les polychètes (8 espèces) et une densité de 125 ind/m². En troisième place, viennent les crustacés avec une densité de 5 ind/m². Les Sabulicoles est le stock écologique dominant (27.7%) suivis des vasicoles avec une dominance de 22.22%. Le stock des espèces à large répartition écologique est celui qui renferme les 2 espèces les plus abondantes : Capitella capitata et Corbula gibba.
- **Station 6** : le groupe des Mollusques est qualitativement (10 espèces) et quantitativement (110 ind/m²) dominant avec Corbula gibba (30 ind/m²) suivi des Polychètes qui devancent les Crustacés sur le plan quantitatif. Le peuplement de cette station est très nettement dominé par le stock des espèces sans signification écologique précisée. Les Sabulicoles viennent en seconde position avec les espèces à large répartition écologique avec une dominance de 16.66%.
- **Station 7** : l'analyse de la liste faunistique de cette station met en évidence la dominance quantitative des Mollusques (8 espèces) et des Polychètes sur le plan qualitatif (220 ind/m²). Le stock écologique principal est celui des Sabulicoles avec une dominance de 38.45% puis des espèces sans signification écologique précisée (30.76%) suivi de loin par les espèces à large répartition écologique (15.38%).
- **Station 8** : Parmi les 14 espèces inventoriées, soit une densité de 190 ind/m², les Mollusques 10 espèces et 115 ind/m² dominant suivis par les Polychètes avec 4 espèces et 75 ind/m². L'espèce dominante est le Gastéropode Cerithiopsis tubercularis (65 ind/m²) suivis de la Polychète Capitella capitata (30 ind/m²). Le groupe écologique dominant est celui des espèces Sabulicoles (35.71%) avec en seconde position les espèces à large répartition écologique (28.57%).
- **Station 9** : les espèces inventoriées au niveau de cette station sont au nombre de 34 espèces avec une densité de 3675 ind/m² représentées par un seul groupe zoologique « les Mollusques ». L'espèce la plus abondante est le Gastéropode Cerithiopsis tubercularis (1825 ind/m²) suivi de l'espèce Alvania beanii (375 ind/m²). La plus forte dominance des stocks écologiques est celle des Vasicoles.
- **Station 10** : 23 espèces et une densité de 1200 ind/m² ont été recensées dont les Mollusques représentant 20 espèces et 605 ind/m² dominant les autres groupes zoologiques. En seconde position, les Polychètes avec 3 espèces et une densité de 595 ind/m². L'espèce la plus abondante est Capitella capitata (365 ind/m²) espèce à large répartition écologique.

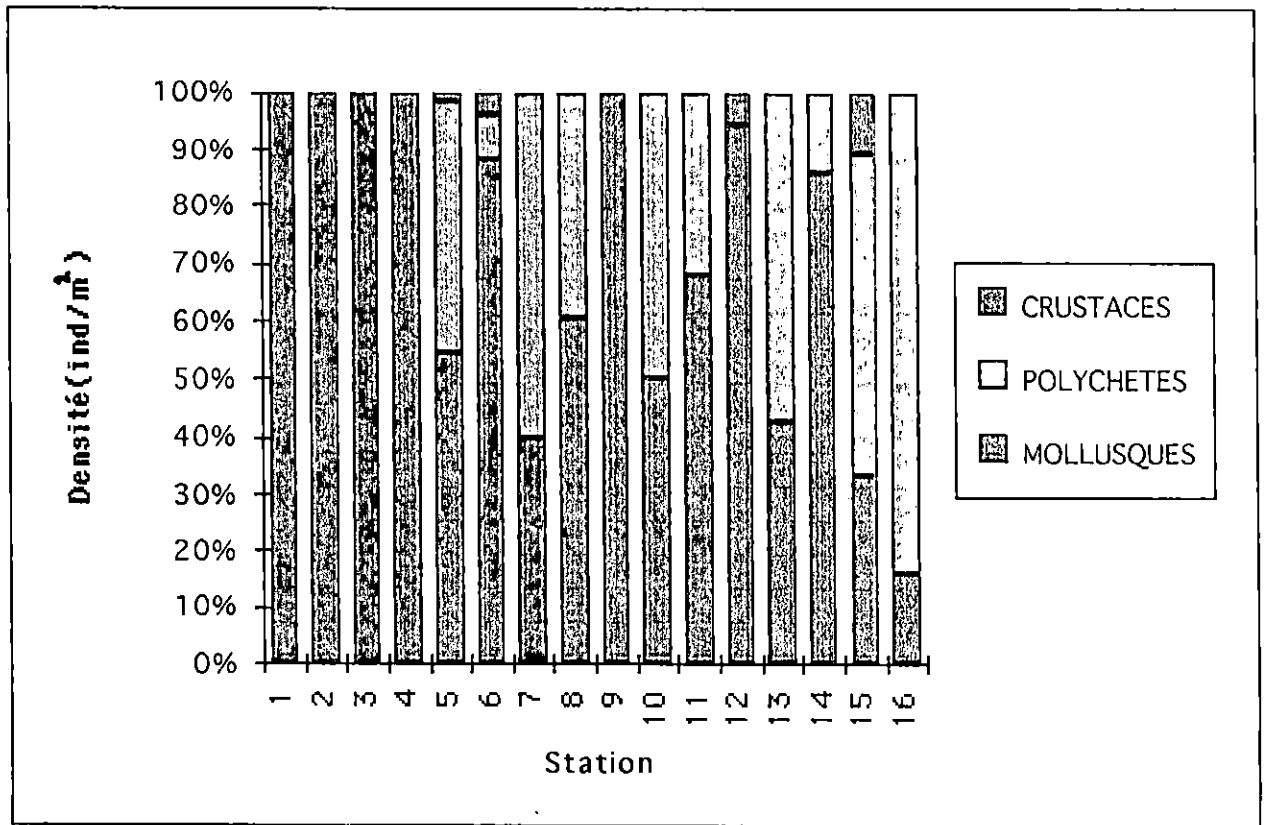


FIG 35 :Densité (ind/m²) des groupes zoologiques aux différentes stations.

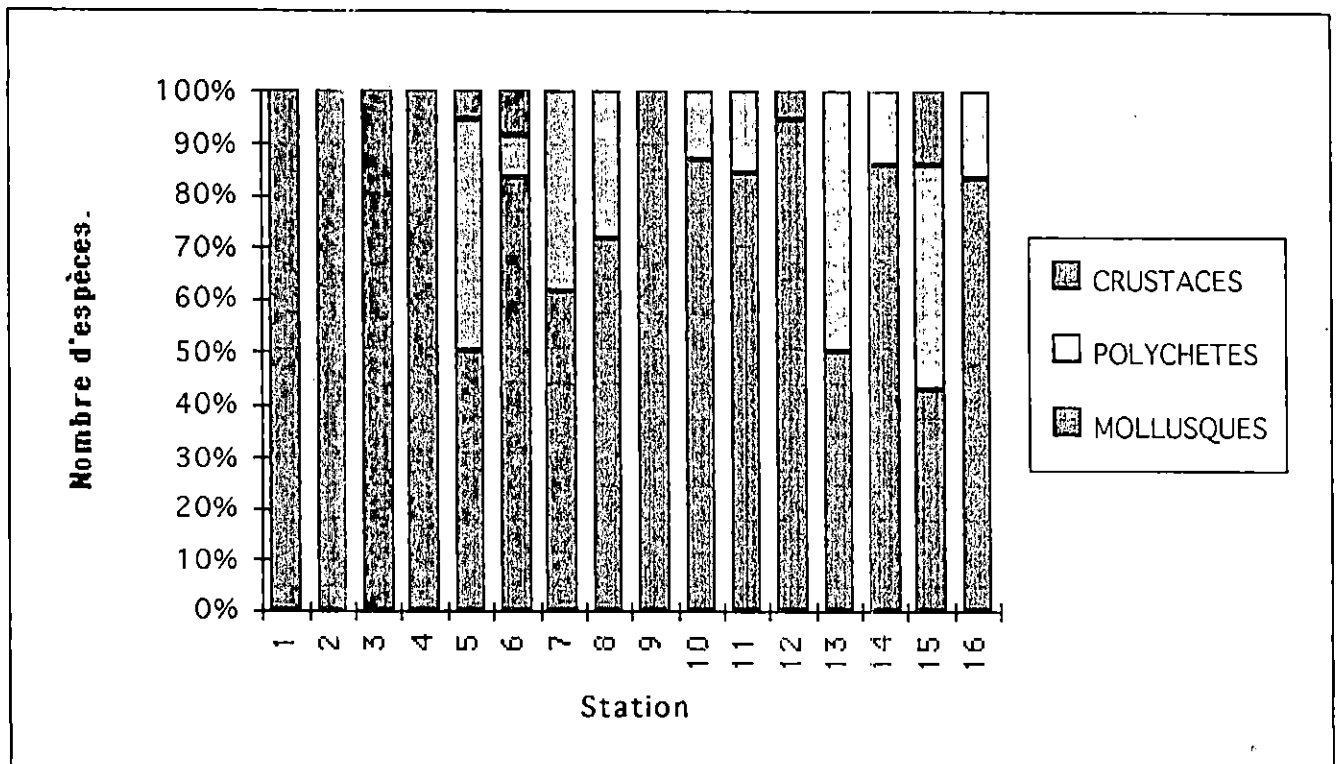


FIG 36 :Nombre d'espèces des groupes zoologiques aux différentes stations.

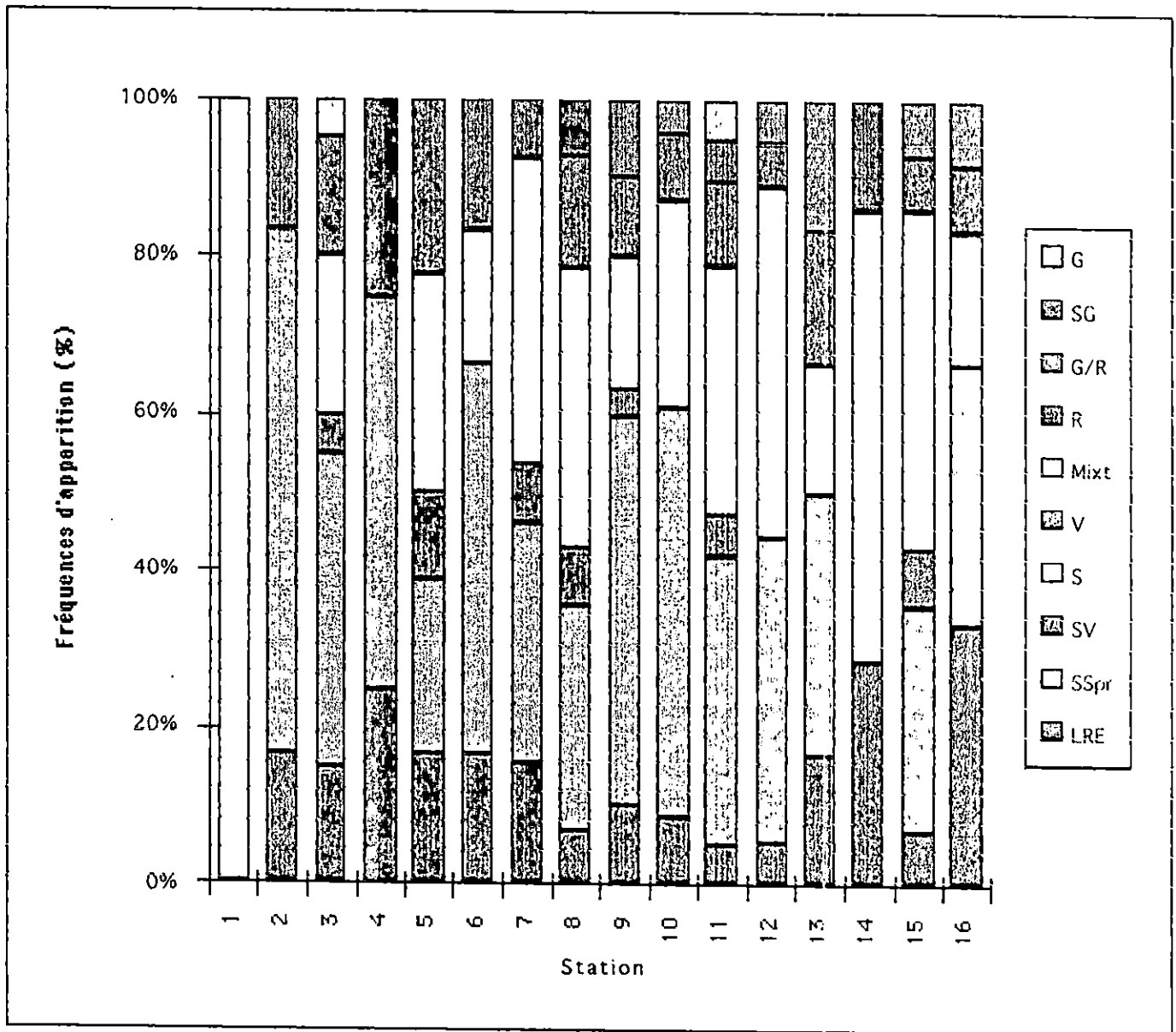


FIG 37 :Fréquences d'apparition des différents groupes écologiques.

Le stock des espèces sans signification écologique précisée domine avec 52.17% avec en seconde position celui des Sabulicoles (26.08 %).

- **Station 11** : sur 19 espèces inventoriées, les Mollusques dominent quantitativement (85 ind/m²) et qualitativement (16 espèces) devançant ainsi les Polychètes avec 3 espèces et 40 ind/m². L'espèce la plus abondante est Capitella capitata espèce indicatrice de la dégradation de la matière organique. Le stock écologique principal est celui des espèces sans signification écologique précisée suivis par les espèces Sabulicoles (31.55%).

- **Station 12** : sur 18 espèces recensées à cette station, les Mollusques dominent quantitativement et qualitativement. En seconde place vient le groupe des Crustacés représenté par l'espèce Sabulicole Eurydice pulchra avec une densité de 10 ind/m². Le groupe des Polychètes est absent au niveau de cette station. Le stock des espèces Sabulicoles (44.44%) est suivi par le stock des espèces sans signification écologique précisée (38.88%).

- **Station 13** : sur 6 espèces inventoriées au niveau de cette station, on assiste à une dominance qualitative des Mollusques (3 espèces) devancés par les Crustacés sur le plan quantitative (20 ind/m²). L'espèce la plus abondante est le Gastéropode Diodora fibberula (40ind/m²). Le stock écologique dominant est celui des espèces sans signification précisée (33.33%) suivi de loin des espèces à large répartition écologique (16.66%).

- **Station 14** : sur 7 espèces répertoriées à cette station, les Mollusques dominent quantitativement et qualitativement. En seconde place viennent les Polychètes représentés uniquement par Capitella capitata. Le stock des Sabulicoles (57.14%) est suivi par le stock des espèces à large répartition écologique (28.57%).

- **Station 15** : les espèces rencontrées au niveau de cette station sont au nombre de 14 avec une densité de 70 ind/m² dont les Mollusques et les Polychètes dominent qualitativement avec le même nombre d'espèces (6 espèces). Quantitativement, c'est le groupe des Polychètes qui l'emporte avec une densité de 75 ind/m². En dernière position, les Crustacés avec 2 espèces et une densité de 15 ind/m². Le stock écologique dominant est celui des Sabulicoles (42.85 %).

- **Station 16** : au niveau de cette station, on a répertorié 12 espèces et une densité de 1005 ind/m². Les Mollusques dominent qualitativement (10 espèces) et les Polychètes quantitativement (845 ind/m²) avec Capitella capitata (490 ind/m²) et Capitellides giardi (355 ind/m²). Le stock écologique des espèces à large répartition écologique et des espèces sans signification écologique dominant. En seconde position vient le stock des Sabulicoles.

3.2.2- Analyse de l'ensemble des stations

- *Aspect qualitatif et quantitatif (figure 38 et 39, Annexe 4)*

Les 16 stations prospectées ont permis de recenser 80 espèces, soit au total 9550 ind/m² (annexe 4) représentant :

- 57 espèces de Mollusques
- 19 espèces de Polychètes
- 4 espèces de Crustacés

Sur le plan numérique, on assiste à un écart considérable entre les stations tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

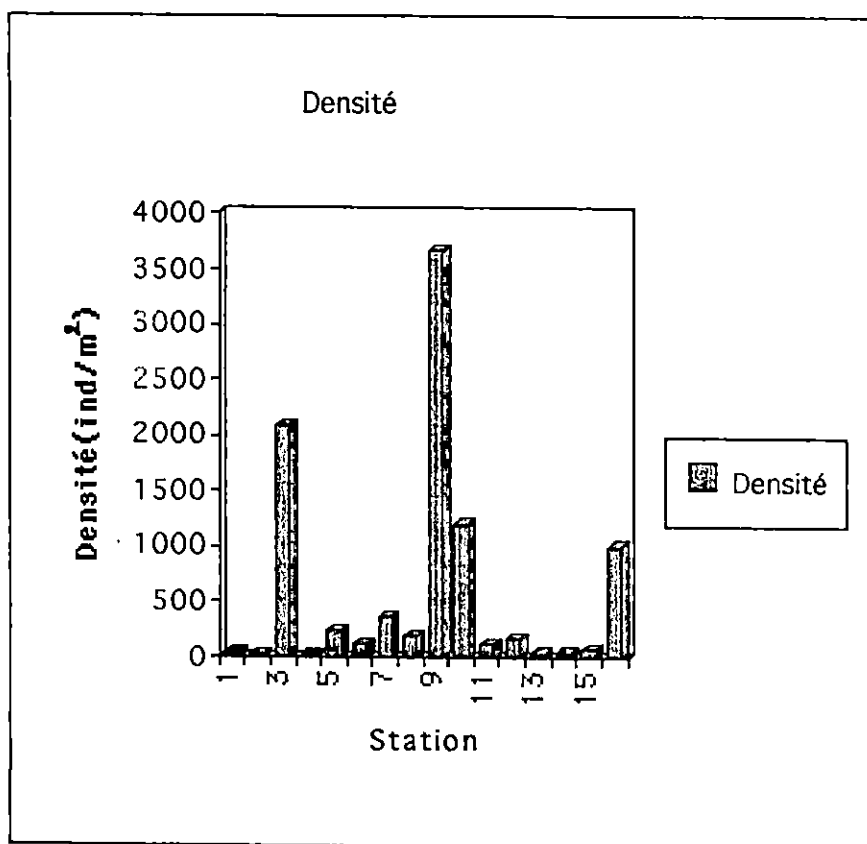


FIG 38 : Densité (ind/m²) de la macrofaune benthique aux différentes stations

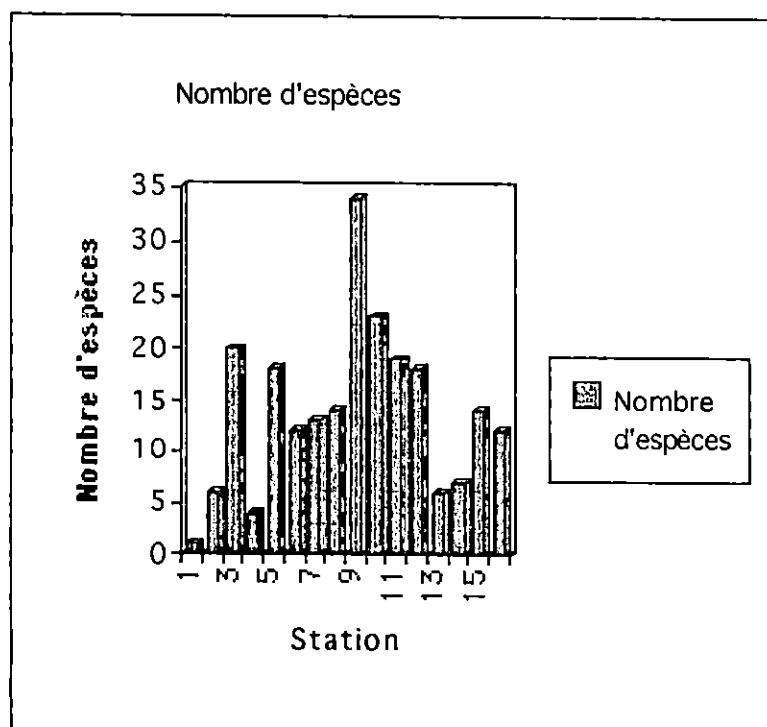


FIG 39 : Nombre d'espèces de la macrofaune benthiques aux différentes stations.

Sur les 16 stations étudiées, la station 9 représentée par un seul groupe zoologique « les Mollusques » domine quantitativement (3675 ind/m²) et qualitativement (34 espèces). La station 3 avec 2090 ind/m² vient en seconde position quantitativement devant la station 10 qui à son tour domine sur le plan qualitatif (23 espèces contre 20 espèces).

- Les stations situées au milieu du port, présentent des densités comprises entre 20 et 365 ind/m² et une richesse faunistique faible variant entre 4 espèces (station 4) et 18 espèces (station 5).

- C'est au niveau de la passe, qu'on retrouve les stations les plus riches tant sur le plan qualitatif que quantitatif.

- Les densités les plus faibles dans le port de Béni-Saf sont rencontrées au niveau de la bande sableuse. Ces densités varient entre 35 et 125 ind/m². La richesse spécifique y est faible surtout pour les stations 13 et 14.

- Avec 20 ind/m², la station 4 se révèle être la station la plus pauvre quantitativement et la station 1 (1 espèce) la plus pauvre qualitativement.

- *Composition zoologique (figure 35 et 36)*

L'analyse de la composition zoologique des différentes stations étudiées met en évidence une nette dominance quantitative et qualitative des Mollusques où les maximums sont aux stations 3, 9 et 10, devant les Polychètes sauf à la station 16 située au niveau de la passe où elles dominent quantitativement.

Le groupe zoologique des Crustacés est très mal représenté, tant en nombre d'espèces qu'en effectif. Il est localisé surtout au niveau de la bande sableuse aux stations 1 et 12 et à la station 15 située au niveau de la passe d'entrée.

- *Les groupes écologiques (figure 37)*

L'analyse des groupes écologiques au niveau des 16 stations étudiées met en évidence une dominance des différents groupes écologiques aux stations :

- Les Sabulicoles au sens large dominent sur presque la totalité des stations étudiées surtout pour les stations situées au niveau de la bande sableuse.

- Les Vasicoles au sens large est le groupe écologique qui vient en seconde position surtout pour les stations situées au milieu du port.

- Les espèces à large répartition écologique dominent à la station 16 avec l'espèce Capitella capitata.

3.3- Zonation biologique du port

On utilise pour l'étude de la zonation du port de Béni-Saf le modèle de Bellan et al (1987), qui se base sur les caractéristiques faunistiques des peuplements benthiques, plus particulièrement sur les espèces Capitella capitata, Scolecopsis fuliginosa, Venerupis aurea et Corbula gibba ainsi que les taux de pélites et de matière organique dans le sédiment.

L'analyse des listes faunistiques obtenues (annexe 4) et les résultats des teneurs en pélites (figure 23) et en matière organique (tableau 8) observées permet de mettre en évidence deux zones biologiques (figure 40) :

- **Zone Subnormale** : cette zone occupe l'ensemble du port, soit les stations 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 16. La nature du sédiment est une vase compacte avec un taux moyen de matière organique dans le sédiment supérieur à 10%.

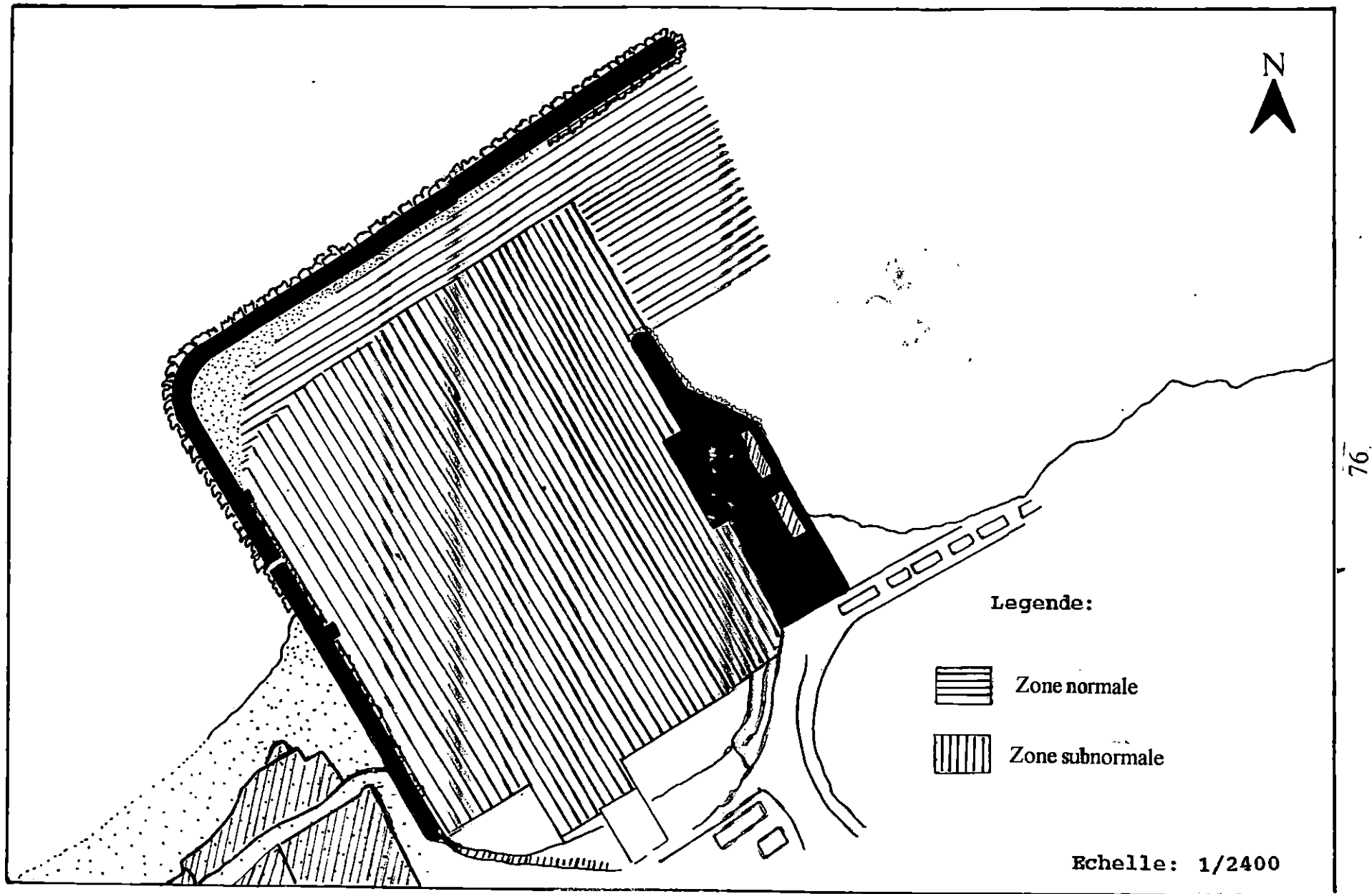


FIG 40 : Zonation biologique au port de Béni-saf.

La richesse faunistique est faible, soit en moyenne 16 espèces réparties principalement entre deux groupes zoologiques : les Mollusques et les Polychètes.

Sur le plan quantitatif, les densités moyennes sont de l'ordre de 930 ind/m² où la Polychète Capitella capitata et les Mollusques Corbula gibba et Cerithiopsis tubercularis dominent le peuplement de cette zone. Cela traduit un déséquilibre du peuplement benthique découlant d'une perturbation ou pollution modérée.

- *Zone normale* : non polluée, couvre la bande sableuse. La nature du sédiment est un sable fin dont les taux de pélites et de matière organique sont inférieurs à 10%.

La richesse spécifique est faible, soit en moyenne 11 espèces; mais plusieurs groupes zoologiques sont représentés : Mollusques, Polychètes et Crustacés.

Les densités moyennes sont de l'ordre de 80 ind/m². Aucune espèce présente ne domine le peuplement benthique, signe d'un certain équilibre du peuplement benthique.

Comparaison des résultats avec d'autres ports :

Afin d'évaluer le degré de pollution du port de Béni-Saf (Région ouest), une comparaison avec d'autres milieux portuaires a été effectuée : Port d'Alger (région Centrale); Port de Bejaïa (région Est).

Tableau 8 : Etude comparative des peuplements benthiques des différents ports de la côte algérienne.

Zone	Richesse spécifique	Densité (ind/m ²)	Zonation biologique	Auteurs
Port de Bejaïa	85	1420-4390	/	BAKALEM et ROMANO(1989)
Port d'Alger	278	0-30224	- Zone Azoïque - Zone polluée - Zone subnormale - Zone normale	REBZANI (1990)
Port de Béni-Saf	80	20-3675	- Zone subnormale - Zone normale	Présente étude

L'étude des peuplements macrobenthiques du port d'Alger (REBZANI, 1990) a permis de mettre en évidence quatre zones : zone azoïque (zone dépourvue d'organismes macrobenthiques), zone polluée, zone subnormale et zone normale.

Cette zonation indique un degré de perturbation et de pollution assez important. En effet, l'importance des rejets urbains qui s'y déversent, des installations industrielles et des activités portuaires, le place en tête des ports les plus pollués en Algérie.

Le Port de Bejaïa, port commercial assez important, présente lui aussi une macrofaune benthique indicatrice d'un milieu assez perturbé où l'enrichissement en matière organique, dû au nombre important d'égouts, favorise la prolifération de certaines espèces macrobenthiques indicatrices de surcharge en matière organique. Les peuplements du port de Bejaïa semblent moins perturbés que ceux du port d'Alger comme le signalent BAKALEM et ROMANO (1989).

Contrairement, le port de Béni-Saf, port de pêche, par la faible charge polluante qu'il reçoit et la bonne circulation des eaux, présente une macrofaune benthique caractéristique d'un milieu peu perturbé. Les densités relevées au niveau de ce port (20-3675) sont moins élevées que celles du port de Bejaïa (1420-4390). Le port d'Alger, par contre, présente des densités beaucoup plus élevées (0-30224).

La richesse spécifique (80 espèces) est plus faible au niveau du port de Béni-Saf que celle relevée au niveau des deux autres ports. Le port d'Alger avec 278 espèces représentées surtout par des espèces indicatrices de pollution est le plus riche qualitativement.

Cette différence qualitative et quantitative des principales caractéristiques de la macrofaune benthique des trois ports, est en relation avec la stratégie d'échantillonnage appliquée au niveau de ces ports, particulièrement le nombre des stations et la période d'échantillonnage; ainsi que la superficie totale de chaque port où le port de Béni-Saf ne représente qu'une surface de 18 ha par rapport aux ports d'Alger (383 ha) et de Bejaïa (161 ha).

Ainsi, c'est en fonction de la charge polluante que reçoit un port et de l'importance des obstacles qui s'opposent à la circulation des eaux que s'effectue la distribution spatiale des peuplements benthiques au niveau d'un port (Bellan, 1981).

4- CONCLUSION

L'étude des peuplements benthiques des fonds meubles du port de Béni-Saf nous a permis de tirer les constatations générales suivantes pour l'ensemble du port :

- Un état de déséquilibre des peuplements (zone subnormale) dans presque la totalité du port traduisant un degré de perturbation modéré.
- La présence d'un peuplement de sables fins (zone normale) au niveau de la bande sableuse reflète un état normal du milieu.

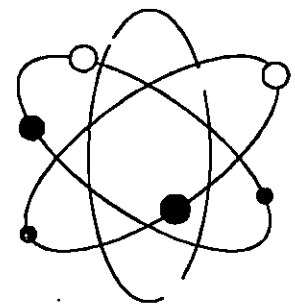
Cette étude n'a abordé qu'un des compartiments biologiques (le compartiment benthique) du port de Béni-Saf, et ne représente qu'une étude ponctuelle.

L'évolution de ces peuplements sous l'influence d'une éventuelle pollution actuelle ne peut être décelée, qu'à moyen ou long terme. Il serait intéressant, d'observer la recolonisation de ce milieu après les travaux de dragage.

Ce travail devrait être poursuivi et complété par d'autres études sur le port de Béni-Saf qui permettront de quantifier la pollution et d'avoir des informations supplémentaires qui confirmeraient éventuellement nos conclusions.

CHAPITRE VII

POLLUTION



1- Identification des sources de pollution

L'origine des polluants que reçoivent les côtes de Béni-Saf est surtout tellurique. Ils résultent des activités humaines et de la navigation maritime, plus particulièrement du dégazage des pétroliers provenant du détroit de Gibraltar avant d'arriver au terminal pétrolier d'Arzew.

La baie de Béni-Saf reçoit divers rejets, nous citons :

- L'embouchure de l'Oued Tafna
- Rejet des eaux résiduaires, précisément localisé au niveau de la plage Sidi-Boucif, du port (Photo 10) ainsi que les plages du puits et Rechgoun.
- Les rejets atmosphériques de l'industrie environnante plus particulièrement, la cimenterie de Béni-Saf.

Ces différentes sources de pollution déversent au niveau des côtes de Béni-Saf, les polluants suivants :

- Des pesticides, dont les sources de provenance résultent d'activités agricoles, avec l'utilisation d'insecticides, de désherbants...
- De certains produits chimiques, issues des côtes de Ghazaouet (usine d'électrolyse de Zinc), de l'embouchure de l'Oued Tafna, de la sédimentation des particules de ciment et du déversement urbains, plus particulièrement domestiques.

Des analyses microbiologiques effectuées par (MOUFFAK et BEROUIGUET, 1990), ont conduit à la mise en évidence, de bactéries indicatrices de contamination fécale, ainsi que de micro-organismes pathogènes.

Par ailleurs, un autre problème pris naissance durant la dernière décennie, celui de l'accumulation de certains métaux lourds (Zn, Cd, Fe, Pb,....) chez des espèces végétales et un bon nombre d'espèces de poisson. Les taux prélevés, chez de nombreux poissons pêchés à Béni-Saf ne sont pas trop élevés à comparer avec d'autres taux prélevés à Alger, Ghazaouet, Skikda,...., mais sont suffisants pour constituer une situation inquiétante à l'avenir (R.SAIDANI, 1994).

Les déversements polluants, peuvent modifier profondément les composants physico-chimiques des milieux aquatiques récepteurs, ainsi que les biocénoses peuplant ces milieux.

Aucune enquête épidémiologique n'a été effectuée pour justifier la liaison de n'importe qu'elles situations pathologiques avec la pollution microbienne, en parallèle aucune intoxication à l'un des métaux lourds cités ci-dessus n'a été signalée.

Les mesures proposées dans l'assainissement, consiste :

- Tout d'abord, à dessécher tout rejet traversant les plages, l'interdire et canaliser le déversement dans un seul rejet.
- A établir un programme d'étude, sur les moyens les plus faciles et les plus économiques intervenant dans l'épuration des polluants avant leur rejet.

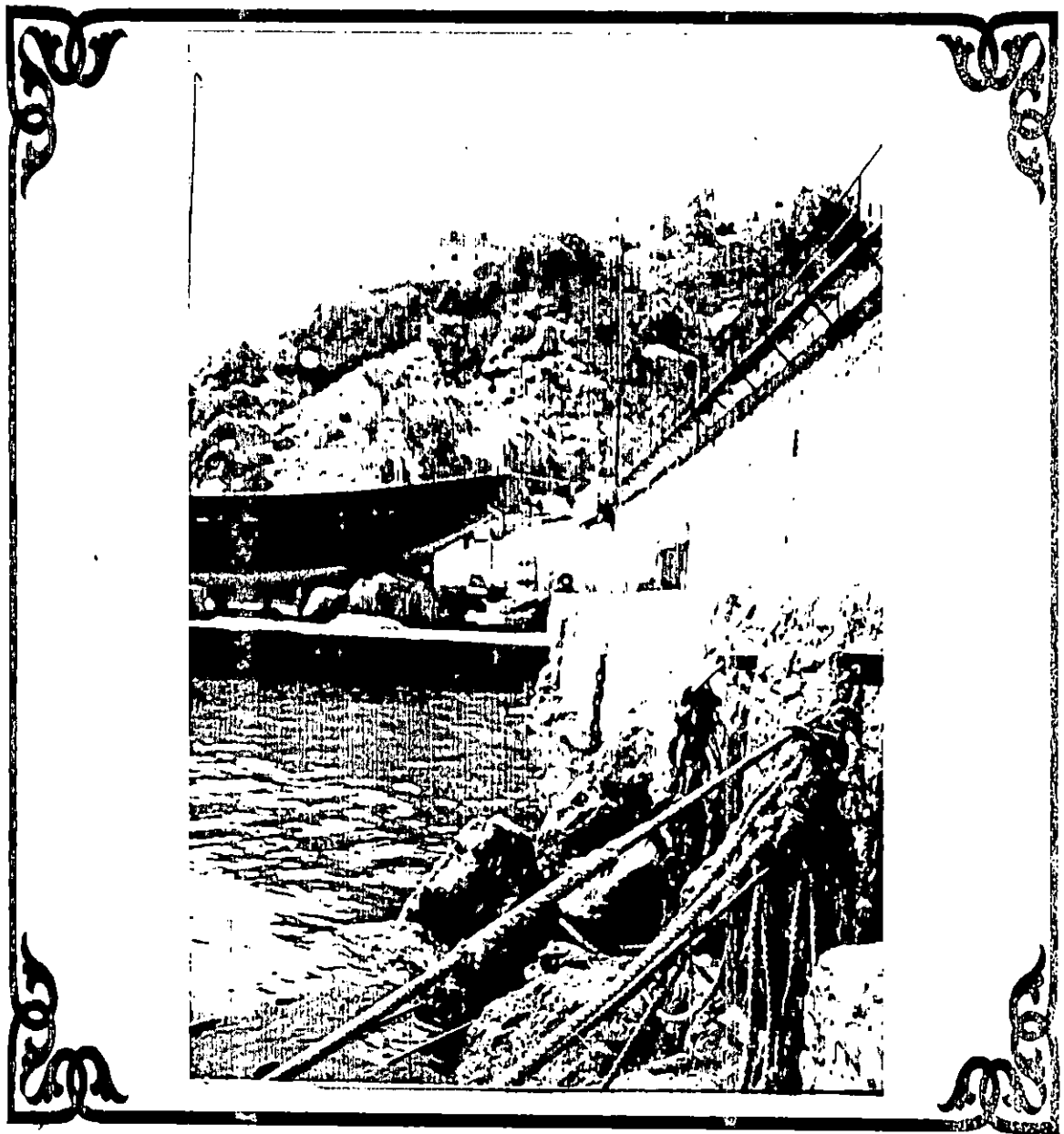


Photo 10 : Bouche d'égout au niveau du port de Béni-Saf.

2- Pollution par les métaux lourds

2.1- Introduction

Les métaux lourds font partie des principaux polluants de l'environnement. Leur étude revêt une grande importance; certains d'entre eux essentiels à la vie, peuvent avoir des effets néfastes au dessus d'un certain seuil de concentration; d'autres peuvent être toxiques pour des teneurs extrêmement faibles.

Les sédiments constituent un milieu d'accumulation des métaux lourds. C'est pourquoi, il apparaît indispensable, dans le cadre d'une étude de dragage, d'étudier le niveau de concentration en métaux lourds dans les sédiments à draguer.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes proposées de quantifier quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels du port de Béni-Saf, car ce dernier est un réceptacle des rejets des activités urbaines et industrielles de la ville de Béni-Saf, ainsi que des activités propres au port.

Les analyses ont été effectuées au niveau du Laboratoire X.R.F du Centre du Développement des Techniques Nucléaires .

2.2- Matériel et méthodes

2.2.1- Site et techniques de prélèvement

L'échantillonnage des sédiments pour le dosage des métaux lourds, a été effectué uniquement à l'intérieur du port de Béni-Saf, au moyen d'une benne preneuse de type « Van Veen »; selon un transect intérieur-extérieur du port de 4 stations (3,5,9 et 16) .

Les sédiments sont placés dans des piluliers stérilisés, puis congelés à une température de -18°C , afin de conserver leurs propriétés chimiques et d'éviter toute réaction avec le milieu ambiant, en vue d'une analyse par fluorescence x.

2.2.2- Application de la fluorescence X au dosage des métaux lourds

La fluorescence X (X.R.F) est une technique d'analyse élémentaire simple, rapide et non destructive. Elle permet de doser tous les éléments dont le numéro atomique (Z) est supérieur ou égal à 13, jusqu'à des concentrations de l'ordre de quelques $\mu\text{g/g}$.

Elle est utilisée dans de nombreux domaines tels que la géologie, la métallurgie, la biologie et l'environnement.

- Principe

La fluorescence X consiste à irradier l'échantillon à analyser par un flux de rayon X. Celui-ci excite les atomes des différents éléments constitutifs de cet échantillon, en provoquant ainsi l'émission de rayonnement X caractéristiques dits : R-X de fluorescence.

La mesure des énergies de ces rayonnements permet d'identifier les éléments qui les ont émis (analyse qualitative), la mesure de leurs intensités permet de connaître leurs concentrations (analyse quantitative); cela revient à établir le spectre de rayonnement.

- Préparation des échantillons:

- **Lyophilisation** : Il convient de rappeler que notre but est de doser des métaux lourds dans les sédiments marins.

Pour le séchage des sédiments, les échantillons sont transvasés dans des flacons, qui sont placés ouverts dans un lyophilisateur pendant 48 heures à une température de -40°C et une pression de 10^{-1} bar.

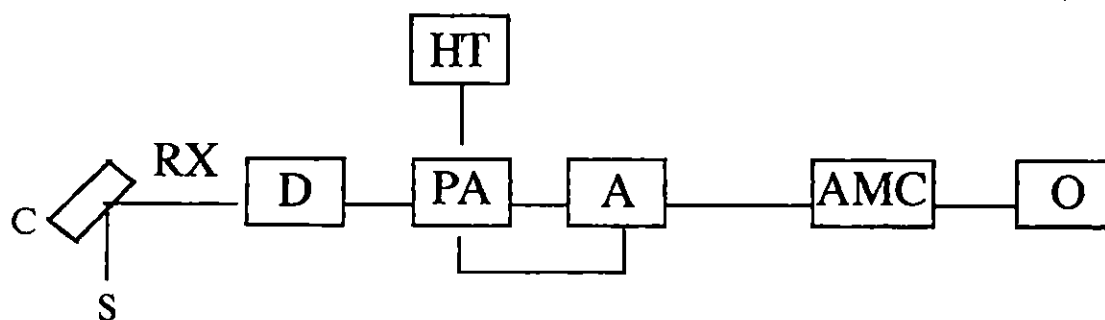
La lyophilisation est un procédé de déshydratation par sublimation, c'est à dire que l'eau contenue dans le sédiment va passer de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide car ce dernier peut modifier les propriétés chimiques initiales du sédiment. La lyophilisation est préférable au séchage à l'étuve, qui peut entraîner une perte des métaux les plus volatils.

- **Broyage** : Les échantillons lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en agate afin de les réduire en poudre et d'homogénéiser la répartition des particules sédimentaires.

- **Tamisage** : L'analyse va porter sur la totalité de la fraction du sédiment qui passe à travers un tamis de 40 microns d'ouverture de maille.

Trois grammes de chaque échantillon sont disposés dans des capsules en matière plastique, dont le fond est constitué par un film en mylar ($e = 3.5\mu$) qui sert de support à l'échantillon.

- **Dispositif expérimental** : Le dispositif expérimental est constitué de deux systèmes essentiels de production du rayonnement excitateur (tube à R-X) et un système de détection et d'analyse (détecteur de rayonnement et son électronique associé). Une vue d'ensemble du dispositif expérimental est représentée dans la figure 41.



- RX : Rayonnement X
- C : Cible
- D : Détecteur
- S : source excitatrice.
- HT : haute tension.
- PA : préamplificateur.
- A : amplificateur.
- AMC: analyseur multicanal.
- O : ordinateur.

FIG 41 : Vue d'ensemble du dispositif expérimental.

2.2.3-Mesure de concentration

Les échantillons sont irradiés par des faisceaux de R-X d'énergie égale à 17.478 KeV. Les spectres X obtenus sont représentés dans les figures 42 et 43.

Les intensités des éléments analysés (Cr, Mn, Fe, Cu...) d'où sont déduites les concentrations, sont déterminées à partir des aires des pics des spectres X traités par le logiciel « AXIL ». L'estimation des concentrations est effectuée par la méthode des standards.

Les standards de référence utilisés sont au nombre de trois : A.I.E.A-356; SL-3; SD-M-2. Ces derniers sont des échantillons de sédiment marin fourni par l'agence internationale d'énergie atomique (A.I.E.A).

Les compositions de ces standards sont données en annexe 5.

Tableau 9 : Niveau de concentration des métaux lourds dans les sédiments superficiels exprimé en $\mu\text{g/g}$ de poids sec sauf le fer est exprimé en pourcentage (%):

Station	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
3	85.2	264	4.1	9.8	27	129	17.50	1.66	0.79	50
5	89	103	3.24	19.5	136	365	19.50	1.9	0.85	209
9	87	182	2.53	18.9	40	95	18.57	1.75	0.80	42
16	88.3	335	3.72	36	127	194	19.05	1.88	0.82	81

2.3- Résultats et discussions

Le but de cette étude est de situer le niveau de pollution des matériaux à draguer du port de Béni-Saf.

L'analyse de ces sédiments par la X-R-F, nous a permis d'avoir une meilleure idée sur la concentration en métaux lourds dans les différents faciès sédimentaires (figures 44 et 45).

- **Le Fer** : Les concentrations en fer s'échelonnent de 2.53 à 4.1%. La concentration la plus élevée (4,1%) se situe au niveau de la station 3, située en face de la bouche d'égout. La plus faible par contre (2.53%) se localise au niveau de la station 9, à proximité de la jetée Est.

- **L'Arsenic** : La répartition des concentrations en Arsenic, est globalement uniforme. En effet les concentrations sont inférieures à 20 $\mu\text{g/g}$, au niveau des quatre stations étudiées.

- **Le Nickel** : Les concentrations en Nickel obtenues au niveau des stations étudiées, sont comprises entre 9.8 $\mu\text{g/g}$ et 36 $\mu\text{g/g}$. La concentration minimale se situe en face de la bouche d'égout (station 3). Les stations 5 et 9 présentent par contre des concentrations moyennes de l'ordre de 19.5 $\mu\text{g/g}$ et 19.9 $\mu\text{g/g}$ respectivement.

- **Le Manganèse** : Les concentrations en Manganèse varient entre 103 $\mu\text{g/g}$ et 335 $\mu\text{g/g}$. La concentration la plus élevée (335 $\mu\text{g/g}$) se situe au niveau de la passe d'entrée. Les faibles concentrations en Manganèse se localisent dans la partie centrale du port, au niveau des stations 5 et 9. Au niveau de la station 3, située en face de la bouche d'égout, la concentration est estimée à 264 $\mu\text{g/g}$.

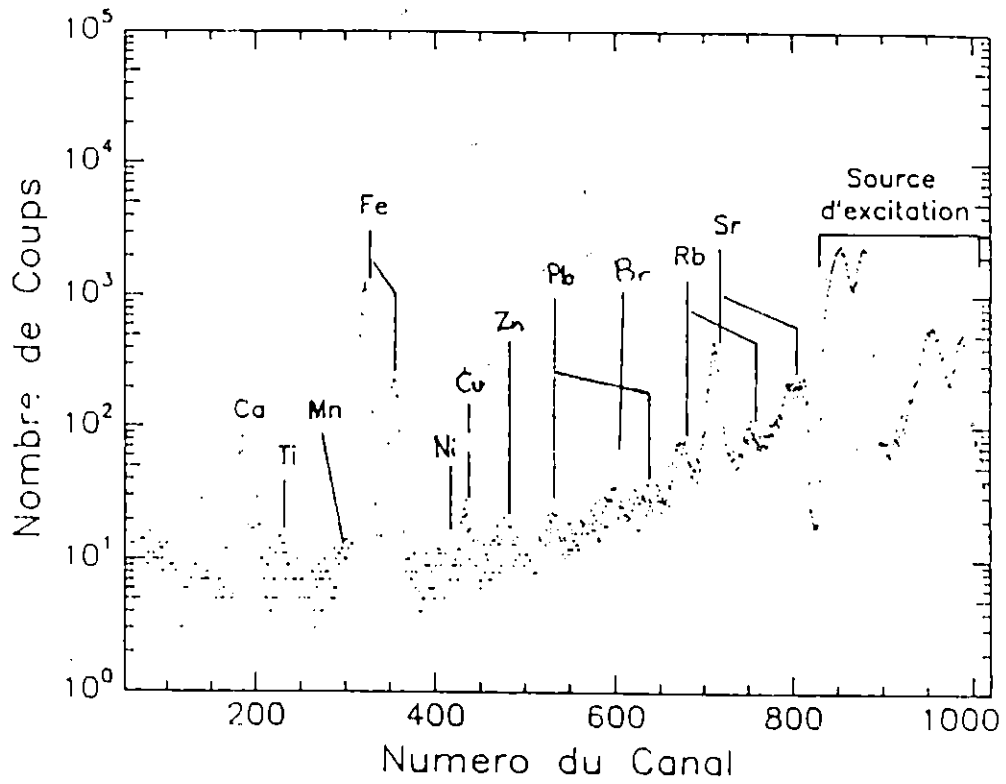


Figure 42 : Spectre de Fluorescence X de l'échantillon SED3.

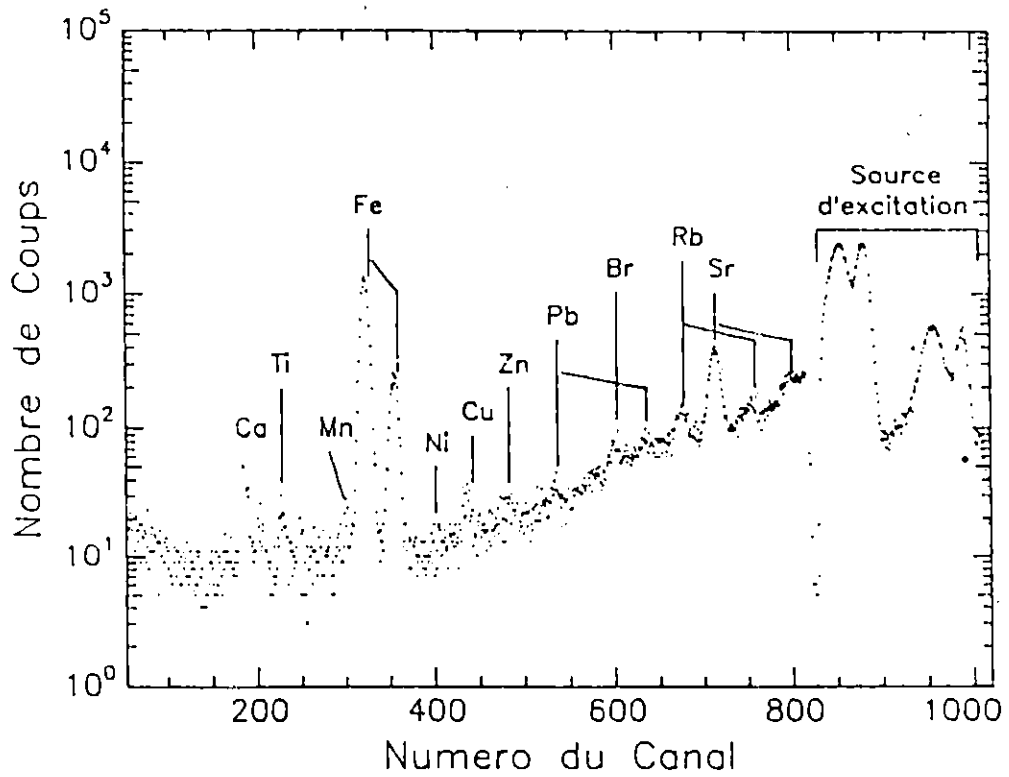


Figure 43 : Spectre de Fluorescence X de l'échantillon SED9.

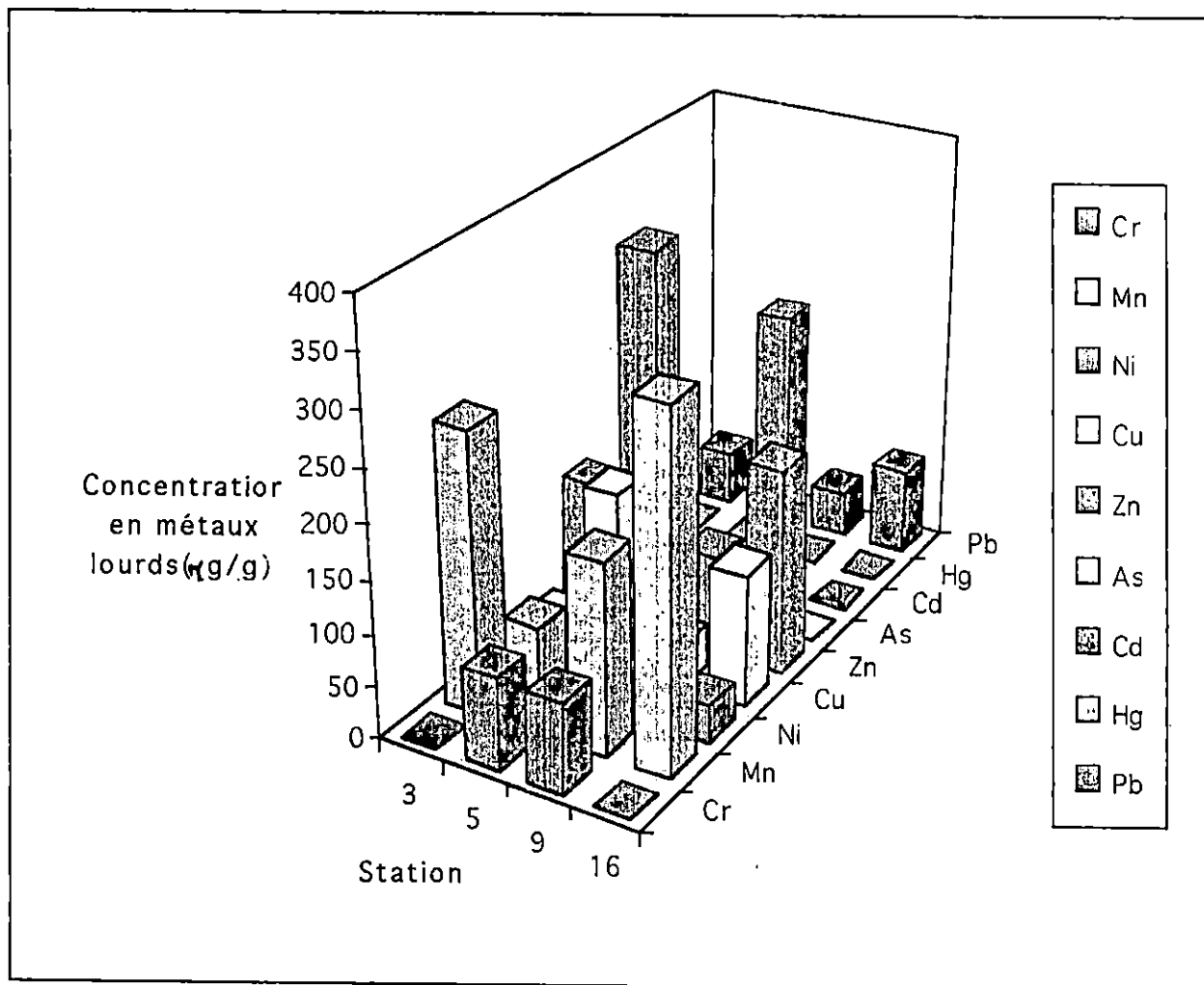


FIG 44: Niveau de concentration en métaux lourds dans le sédiment superficiel du port de Béni-Saf.

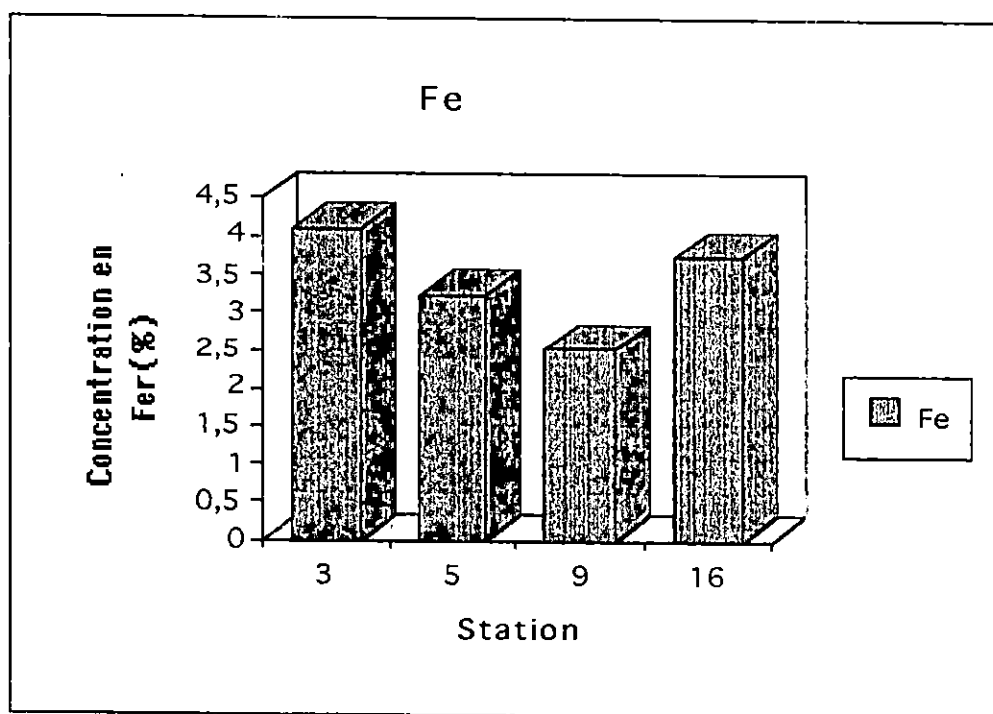


FIG 45: Niveau de concentration en Fer dans le sédiment superficiel du port de Béni-Saf.

- **Le Mercure** : Le Mercure présente une répartition uniforme au niveau des quatre stations étudiées; toutefois ces concentrations sont inférieures à 1 $\mu\text{g/g}$.
- **Le Cadmium** : Les concentrations en Cadmium dans le sédiment superficiel au niveau des quatre stations étudiées, présentent des valeurs ne dépassant pas 2 $\mu\text{g/g}$.
- **Le Chrome** : Le Chrome présente une répartition homogène au niveau des 4 stations étudiées, les valeurs de ces concentrations n'excèdent pas 90 $\mu\text{g/g}$.
- **Le Plomb** : Les concentrations les plus élevées sont situées, comme pour la plupart des autres éléments métalliques, au niveau des stations 5 et 16. Cependant au niveau des stations 3 (50 $\mu\text{g/g}$) et 9 (42 $\mu\text{g/g}$), les concentrations en Plomb sont moins élevées.
- **Le Cuivre**: les concentrations en cuivre s'échelonnent de 27 $\mu\text{g/g}$ à 136 $\mu\text{g/g}$. Les concentrations les plus élevées sont localisées au niveau des stations 5 (136 $\mu\text{g/g}$) et 16 (127 $\mu\text{g/g}$). Les faibles concentrations se situent au niveau de la station 3 (27 $\mu\text{g/g}$) et la station 9 (40 $\mu\text{g/g}$).
- **Le Zinc** : Comme pour le cuivre, les concentrations les plus élevées en Zinc sont de l'ordre de 365 $\mu\text{g/g}$ au niveau de la station 5 et 194 $\mu\text{g/g}$ pour la station 16. Les plus faibles par contre se situent au niveau de la station 3 (129 $\mu\text{g/g}$) et la station 9 (95 $\mu\text{g/g}$).

Selon le secrétariat d'Etat à l'environnement, les opérations d'immersion des déblais de dragage des enceintes portuaires doivent s'effectuer conformément aux dispositions du décret n°88-228 du 05-11-88 du journal officiel de la république algérienne (Tableau 10).

Si les déblais de dragage contiennent des éléments toxiques à des concentrations supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après, leur immersion en mer est strictement interdite, du fait de la toxicité de ces éléments vis à vis de la faune et de la flore notamment (Annexe 5).

Vu l'absence des normes concernant le Manganèse, on s'est référé aux normes établit par l'union européenne.

Tableau 10: Normes algériennes (décret n° 88-228) du 05-11-88.

Métaux lourds	Concentration à ne pas dépasser($\mu\text{g/g}$)
Arsenic	30
Cadmium	3
Chrome	250
Cuivre	150
Mercure	1.5
Plomb	250
Nickel	75
Zinc	500
Manganèse	400 (union européenne)

2.4- Conclusion

Les concentrations en métaux lourds obtenues au niveau du port de Béni-Saf présentent des valeurs indiquant un sédiment non pollué. Ces concentrations sont donc inférieures aux normes, autorisant ainsi une immersion en mer des produits de dragage; mais la réglementation internationale en matière d'immersion des déblais de dragage des enceintes portuaires est plus restrictive que la réglementation algérienne. Il est donc souhaitable de proposer d'autres solutions qui prennent en compte le droit algérien et le droit international car le milieu marin est un bien commun à l'humanité.

CHAPITRE VIII

DRAGAGES



1- La réglementation des dragages en mer

Comme dans toute intervention en milieu naturel et plus particulièrement dans un domaine aussi fragile et aussi complexe que le milieu marin, la protection de l'environnement est d'une importance capitale.

Les dragages et les dépôts des déblais dragués, doivent avoir une procédure sérieuse et complète comme préalable à toute forme d'intervention.

Il convient d'être en possession d'autorisations et de titres officiels avant l'engagement d'un chantier. Pour cela l'opérateur doit appuyer sa demande de permis d'exploitation par une étude d'impact. Cette dernière a pour but de fournir aux autorités compétentes (juridiction maritime, services de l'environnement) les données et les informations nécessaires pour décider des suites à donner à l'agrément du projet.

Cependant, le chantier de dragage, au niveau du port de Béni-Saf, a été entamé sans l'agrément de la direction générale de l'environnement. Cette dernière a exigé de l'inspecteur de l'environnement de cette ville, qu'aucune opération de dragage, ne doit être entreprise, sans qu'une étude d'impact ne lui soit fournie. Mais l'inspecteur de l'environnement a donné le feu vert aux travaux de dragage sans avoir des données au préalable ni sur la nature du sédiment, ni sur le taux de polluants que renferme ce sédiment.

Ceci nous amène à dire que ces opérations doivent être prises plus au sérieux, car elles peuvent avoir des effets irréversibles.

2- TECHNIQUES DE DRAGAGE

2.1- Généralités sur les dragages en mer

Les opérations de dragages constituent un volet important dans les travaux d'aménagement côtier. Ceci est lié aux besoins constants du trafic maritime qui imposent l'entretien ou l'extension des infrastructures portuaires et l'augmentation du tonnage des navires entraînant l'approfondissement des chenaux de navigation.

Ces opérations, en site maritime ou littoral, créent une perturbation de l'équilibre naturel. La recherche d'un nouvel équilibre pour le milieu entraîne des modifications des paramètres sédimentologiques, topographiques, biologiques et océanographiques qu'il convient de contrôler.

Le choix d'une technique de dragage appropriée, doit donc constituer un compromis raisonnable entre les aspects environnementaux et économiques.

2.2- Définition du dragage

Les dragages sont des terrassements effectués sous l'eau, avec des engins flottants, au moyen de procédés mécanique ou bien par aspiration. Ils comprennent trois phases :

- Extraction du déblai
- transport
- mise en dépôt

Ces diverses phases sont assurées par le même engin ou des engins distincts (CHAPON, 1982).

2.3- Classification des dragages

Suivant le but poursuivi, les opérations de dragage peuvent être classées en trois grandes catégories :

- *Dragages d'entretien* : Sont destinés à enlever les dépôts ou envasements, qui peuvent se produire dans les ports et les chenaux d'accès. Dans les zones de transits importants de matériaux (cas du port de Béni-Saf), ils doivent être fréquents.

- *Dragages d'approfondissement* : Ils consistent en l'augmentation des profondeurs existantes, dans les ports ou les cours de navigations, pour créer des tirants d'eau nécessaire aux grands navires. Ils sont aussi effectués pour l'élargissement des voies d'accès (passes, bassins).

- *Dragages divers* : Ils sont liés aux constructions ou autres types d'opérations en mer, nécessitant des fondations et des terrassements.

2.4- Types de dragage

Suivant le matériel utilisé, il existe deux principaux types de dragage :

- *Dragage mécanique* : Il consiste à creuser le terrain au moyen de bennes, de cuillères, de godets ou de pelles. Il est pratiqué dans les sites étroits ou dans les terrains de nature compacte. Ce type de dragage est aussi préféré, pour la réalisation de travaux de faible consistance.

- *Dragage par aspiration* : Le sédiment est aspiré avec l'eau par une pompe puissante dans un long tube « l'élinde » doté d'un « bec » et déversé dans un puits. Les matériaux dragués peuvent être refoulés à la mer ou déposés à terre par une longue tuyauterie.

Il existe trois principales techniques de dragage par aspiration :

- L'aspiration par refouleuse stationnaire
- L'aspiration par refouleuse au point fixe
- L'aspiration par refouleuse en marche.

2.5- Les eaux de surverses

Lors d'une opération de dragage, un mélange d'eau et de sable se déverse dans les puits où le sable décante alors que l'eau déborde entraînant avec elles les particules les plus fines : c'est la surverse (OTTMAN et BOUTMIN, 1984). Les pertes au débordement représentent une part significative pour les vases portuaires.

2.6- Les panaches turbides

Ils désignent la masse d'eau trouble que laisse derrière une drague aspiratrice en marche (OTTMAN et BOUTMIN, 1984).

2.7- Cas du port de Béni-Saf

Au niveau du port de Béni-Saf, le dragage s'effectue au moyen d'une benne preneuse (photo 11). Ces dragues sont des engins flottants, automoteurs et autoporteurs.

Ce dragage s'effectue au niveau de la passe d'entrée et de la bande sableuse située parallèlement à la jetée Nord. Les produits dragués sont déposés au niveau du quai Est (photo 12) en attendant le choix d'un site de dépôt approprié.

La reconnaissance hydrodynamique, géomorphologique, sédimentologique et topographique de notre site d'étude, nous a permis de confirmer que cet engin est le plus approprié pour ce type de dragage. En effet, les dragues à benne preneuse, sont des engins peu encombrants pour le trafic maritime, moins coûteux et relativement précis. Ils sont plus particulièrement intéressants pour les travaux de faibles volumes et dans les plans d'eau étroits.

Ces opérations de dragages réduisent les problèmes d'ensablement au niveau du port de Béni-Saf, mais induisent des effets néfastes sur le milieu marin (qualité des eaux, la faune, la flore...) et par conséquent sur l'environnement.

3- Effets du dragage sur l'environnement

Les opérations de dragages affectent diversement le milieu naturel. Dans des zones aussi fragiles que le milieu marin, les effets du dragage sont nombreux (destruction du benthos, érosion littorale, gêne aux activités humaines...). Ils peuvent se faire sentir à différentes phases du chantier de dragage (extraction-transport-dépôt).

L'extraction des sédiments de la bande sableuse, située parallèlement à la jetée Nord, entraîne la formation d'eaux turbides qui perturbent l'équilibre de l'écosystème. Cette excavation des fonds entraînerait la disparition temporaire des colonies benthiques locales, ainsi qu'une légère modification des paramètres biotiques. Cette modification peut avoir des conséquences sur la qualité des eaux et celle du fond (modification du faciès lithologique) et donc sur l'équilibre écologique du système naturel.

Le trafic maritime pourrait aussi être entravé lors des travaux de dragage. Mais ceci sera atténué par un planning rigoureux des travaux.

L'extraction des sédiments au niveau du port de Béni-Saf, pourrait être à l'origine de la perturbation de l'équilibre naturel, mais s'avère nécessaire pour remédier au problème de l'ensablement. L'opération de dragage permettrait une optimisation des conditions de navigation et entraînerait une dynamique de développement local et régional, l'impact est donc positif.

Il conviendrait d'ajouter à ces aspects prévisionnels, les aspects évolutifs de ces impacts, ceci mettrait en évidence, d'une part les dégradations et d'autre part les reconstitutions du milieu.

Pour les deux phases de dragage énumérées précédemment à savoir : le transport et le rejet des déblais, les différents impacts inhérents à chacune d'elles, seront définies plus loin.

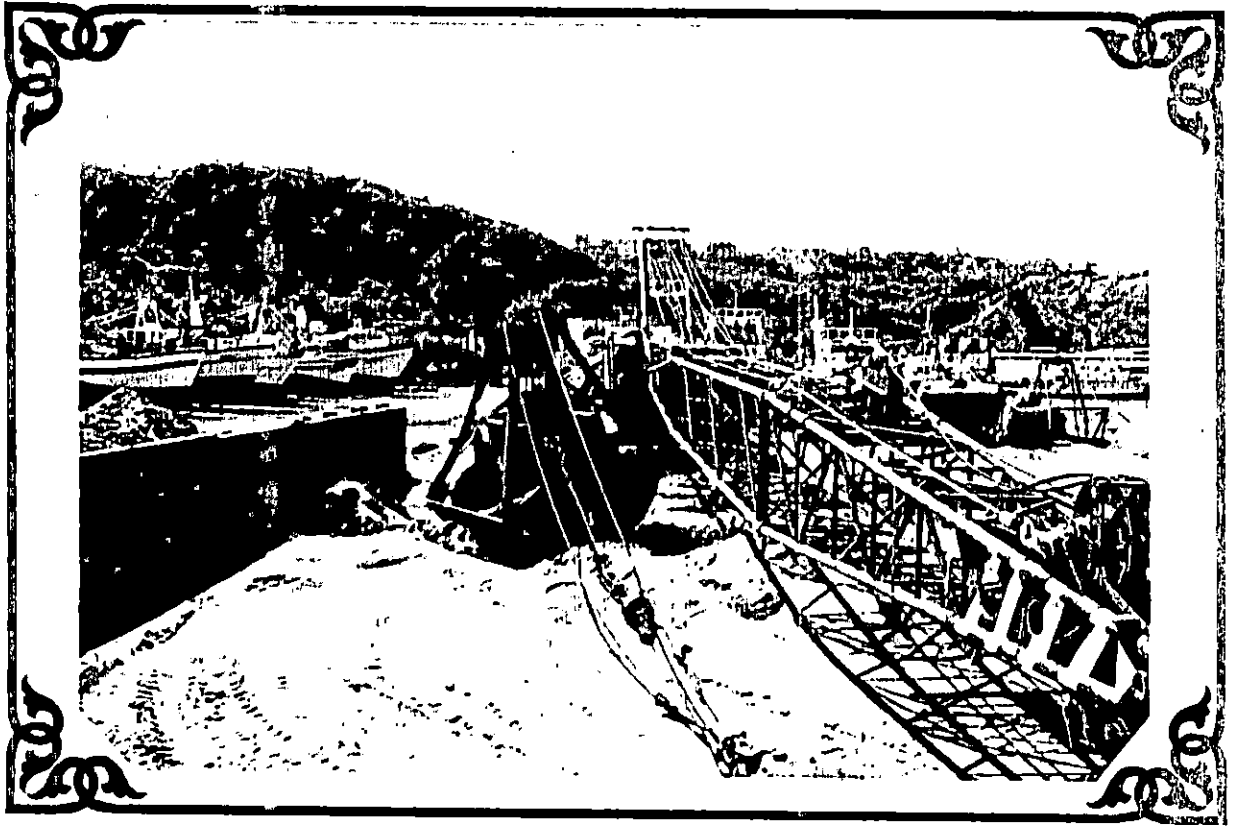


Photo 11 : Drague à benne preneuse.

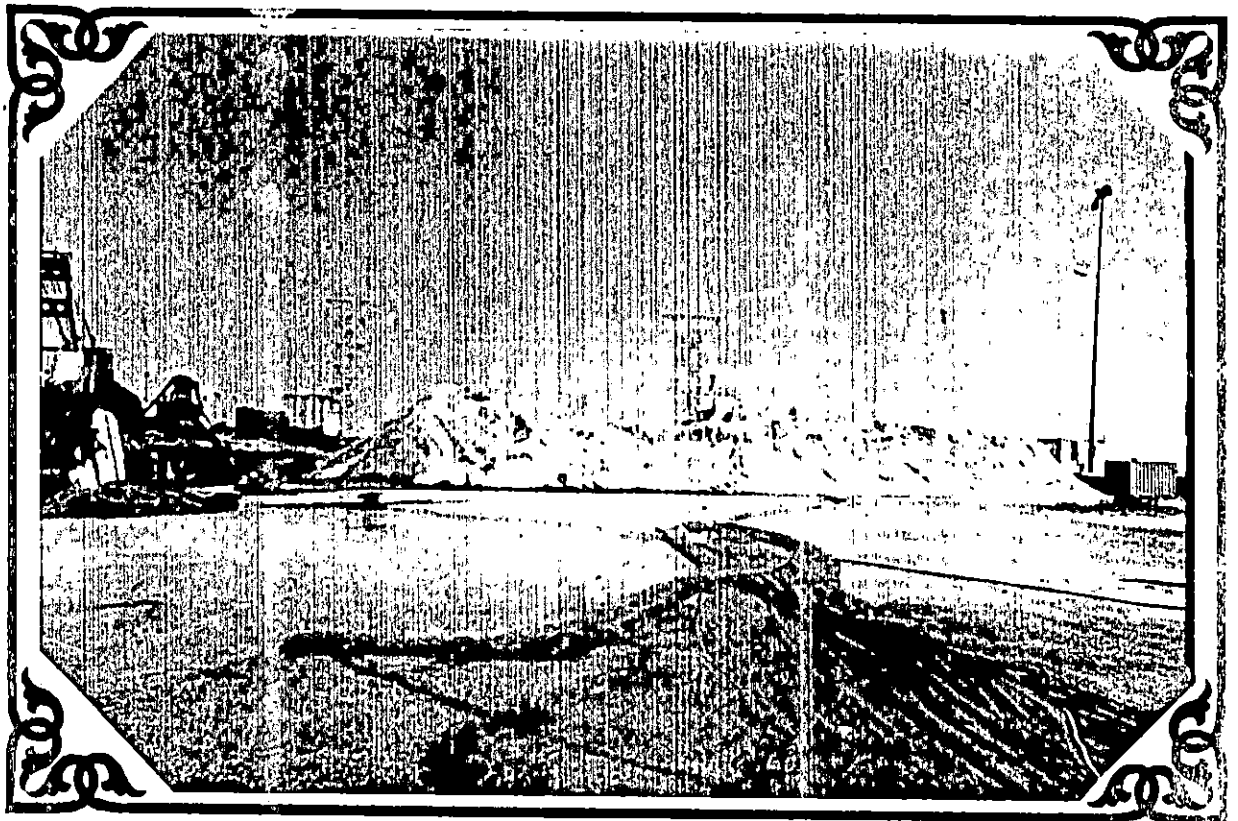
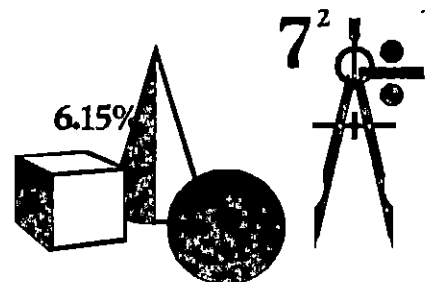


Photo 12 : Dépôt des produits dragués.

CHAPITRE IX

PERSPECTIVES

D'AMENAGEMENT



La protection du port de Béni-Saf contre l'ensablement est rendue délicate par suite de la diversité des actions hydrodynamiques qui sont à prendre en considération.

Les solutions susceptibles de ralentir ou d'arrêter cet ensablement, peuvent être très diverses. Le choix d'une solution optimale devrait être très probablement le résultat d'un compromis entre les impératifs techniques, économiques et environnementaux. On peut cependant être certain qu'il sera possible, à l'aide des études sur modèle réduit, de définir des ouvrages relativement peu coûteux susceptibles de résoudre tout au moins parallèlement, le problème délicat de l'ensablement du port de Béni-Saf.

Afin de lutter contre les 53.000 m³ d'apports annuel au niveau du port, nous proposons les solutions suivantes :

1- Suppression de la porosité de la digue Nord et des apports par franchissements par dessus l'ouvrage

Ces travaux, dont une partie a déjà été entreprise par l'administration portuaire (photo 13) devraient permettre de réduire l'ensablement à l'intérieur du port. L'apport par ces deux agents étant estimé entre 20% et 30% de la masse totale des apports (L.C.H.F, 1979).

Il est difficile, sinon impossible, par contre de préciser la part due respectivement à la porosité ou au franchissement. D'après des cas analogues que le L.C.H.F a eu à étudier, l'importance des apports par franchissements, au cours des tempêtes exceptionnelles, peut être prépondérante .

Une étude économique permettrait de préciser si des travaux de surélévation de la jetée Nord sont souhaitables pour un gain de dragage d'une vingtaine de milliers de m³ de sable par an. Par contre, si ces travaux devraient être réalisés parallèlement à un aménagement de quai le long de la face interne de la jetée principale, on peut penser que la rentabilité des travaux serait assurée par de nouvelles possibilités d'extension du trafic du port.

2- Réalisation d'un ouvrage d'arrêt du transit littoral venant de l'Ouest

L'origine des apports en extrémité de la jetée Nord étant attribuée au transit littoral Ouest-Est, on peut penser qu'un ouvrage d'arrêt de ce transit permettrait de résoudre partiellement le problème de l'ensablement du port et de la formation de la flèche sableuse.

Cet ouvrage peut être constitué par un épi implanté perpendiculairement à la jetée Nord sur sa face externe (figure 46). Il devrait théoriquement entraîner une accumulation de sable sur sa face externe et une réduction du transit. Pour palier au problème du contournement de cet ouvrage, des dragages d'entretien sont à prévoir au niveau de ce piège à sédiment dès la saturation de ce dernier.

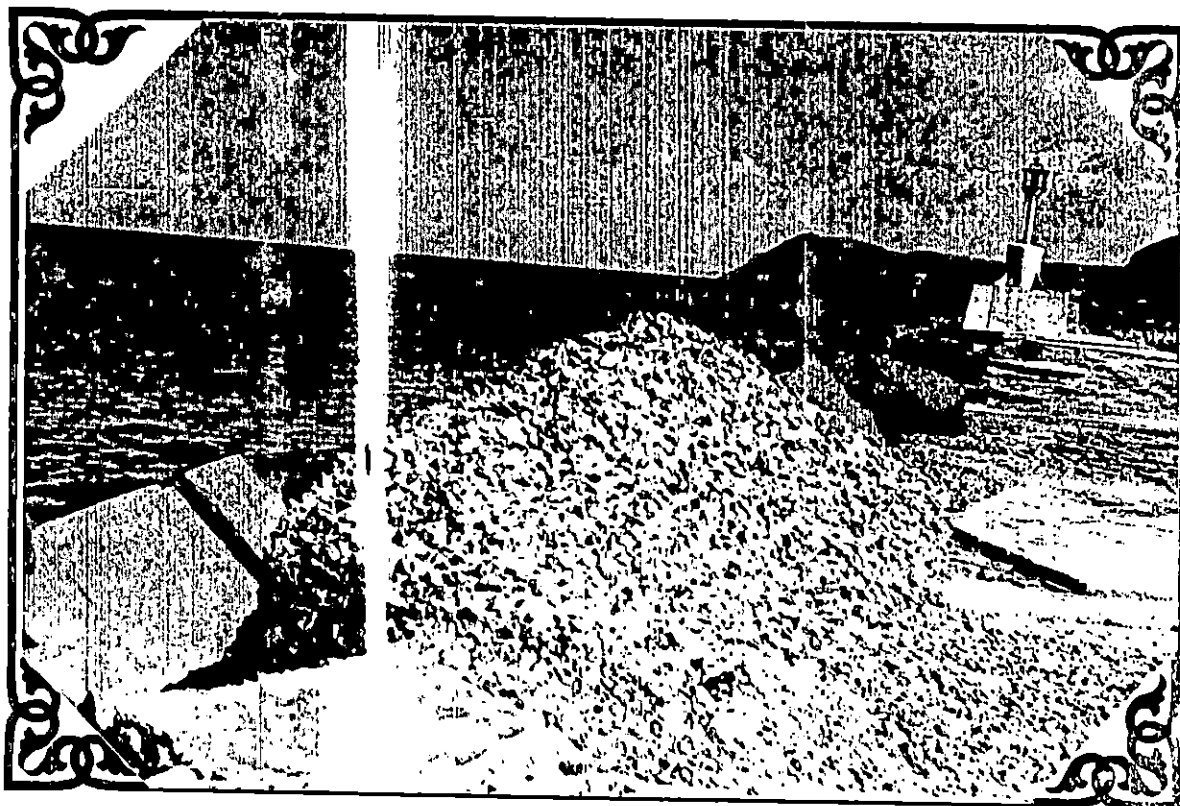


Photo 13 : Suppression de la porosité de la digue Nord.

94

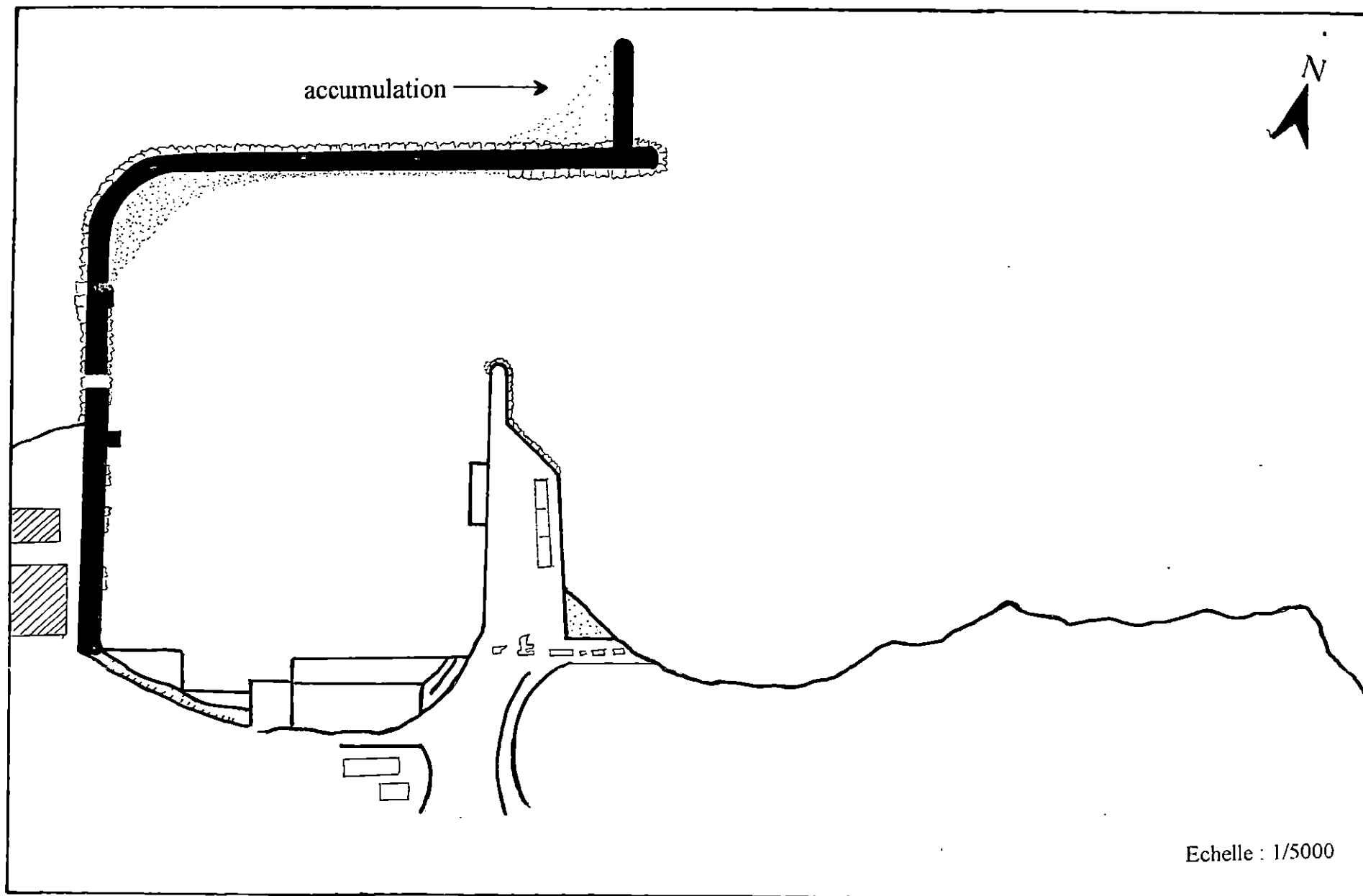


FIG 46 : Epi perpendiculaire à la jetée Nord

3- Dragages

Cette solution consiste à réaliser des dragages d'entretien estimés à 53.000 m³/an de telle façon que l'accès au port ne soit jamais menacé par un apport brutal de sable. Cet impératif nécessiterait vraisemblablement qu'une première campagne de dragage importante soit effectuée dans les dépôts situés en extrémité de la jetée principale.

En fait, les profondeurs à ce niveau doivent avoir une importance très grande sur la pénétration des sables dans le port en accentuant les phénomènes de refraction-diffraction. Un approfondissement systématique de ce secteur apporterait peut être une réduction de la remontée des sédiments vers le fond du port.

4- Réalisation d'un piège à sable à l'entrée du port le long du tronçon terminal de la jetée Nord

Cette solution a été étudiée sur modèle réduit physique par le laboratoire des études maritimes (1990). Elle consiste en l'installation d'un épi perpendiculaire à la jetée Nord sur sa face interne (figure 47). Elle présente l'avantage de réduire l'agitation à l'intérieur du port surtout celle engendrée par les houles du secteur Nord-Est.

Cette solution ne serait valable que si l'on envisageait d'exploiter la partie Nord et Nord-Ouest du port. Dans le cas contraire, il est plus avantageux de laisser le sable se piéger naturellement le long de la face interne de la jetée principale, où les dragages peuvent être réalisés dans des conditions aussi satisfaisantes que dans le secteur artificiel de piège à sable à l'entrée du port.

Il faudrait examiner, avant de réaliser cette solution, si la réduction de largeur qu'elle entraîne, pour la passe d'entrée du port, reste compatible avec les impératifs nautiques que l'on envisage pour le port de Béni-Saf et ne causerait pas des problèmes de pollution.

5- Extension du port

Cette solution a été proposée par le L.C.H.F (1979). Elle ne pourrait être envisagée que si l'on augmentait considérablement le trafic du port et doubler au moins sa capacité d'accueil. Il sera alors possible, tout en conservant le port actuel, d'envisager la réalisation d'un deuxième bassin du côté Est protégé par des jetées dont l'implantation permettra de supprimer le problème de l'ensablement (figure 48).

Mais dans l'état actuel, cette éventualité ne semble pas à retenir et il serait plus raisonnable de prévoir des ouvrages de protection aussi réduits que possible, pour rester compatible avec les conditions financières d'exploitation du port.

Une étude d'impact sur l'environnement devrait être effectuée si cette proposition sera retenue.

En conclusion, les causes de l'ensablement du port de Béni-Saf sont multiples et complexes, mais avec une prédominance des apports en provenance de l'Ouest. Il apparaît qu'une réduction notable de cette sédimentation, pourrait être trouvée en construisant un épi perpendiculairement à la jetée Nord sur sa face externe et en réduisant les passages par porosité et franchissements.

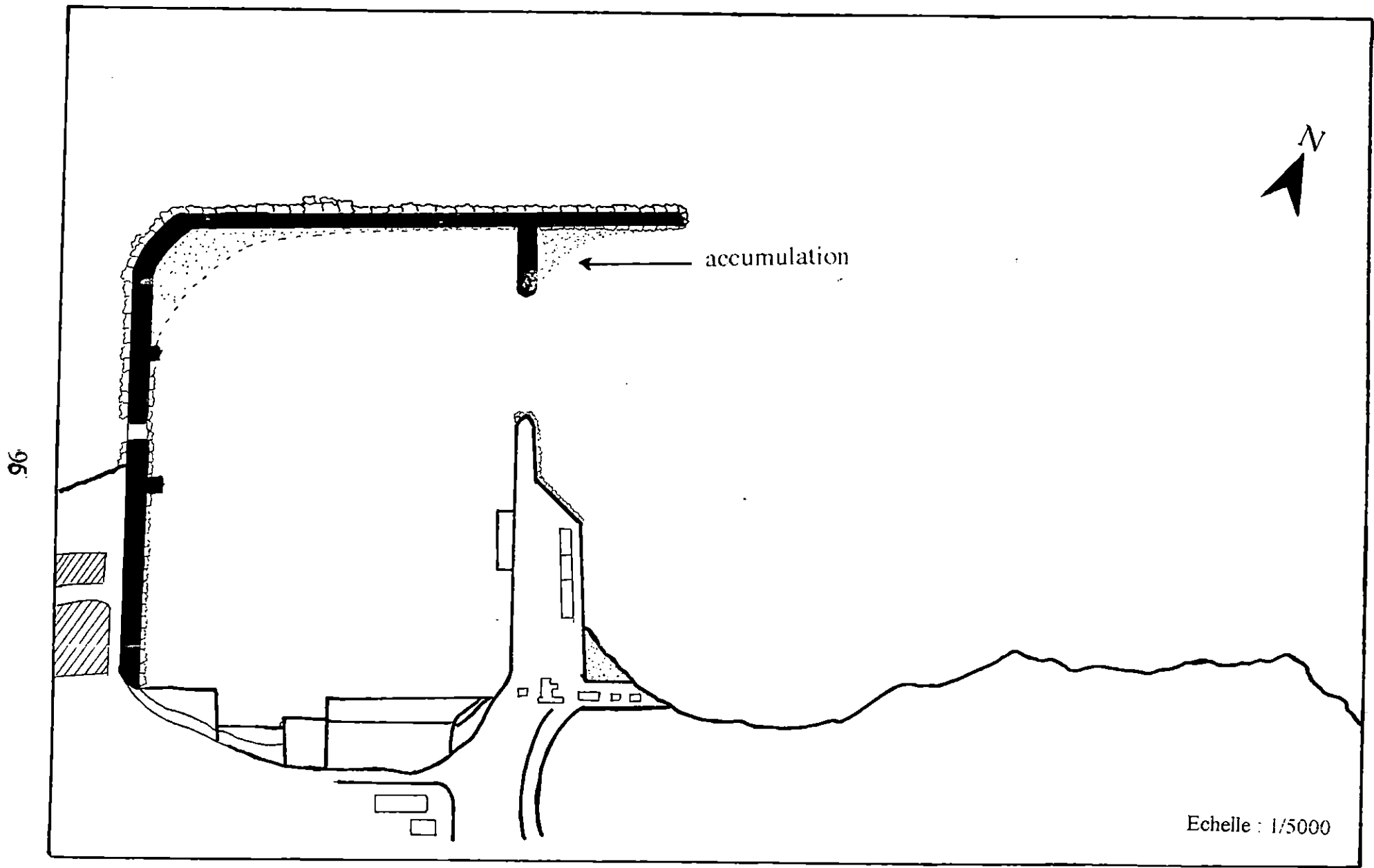


FIG 47 : Piège à sable au niveau de la passe d'entrée.

92

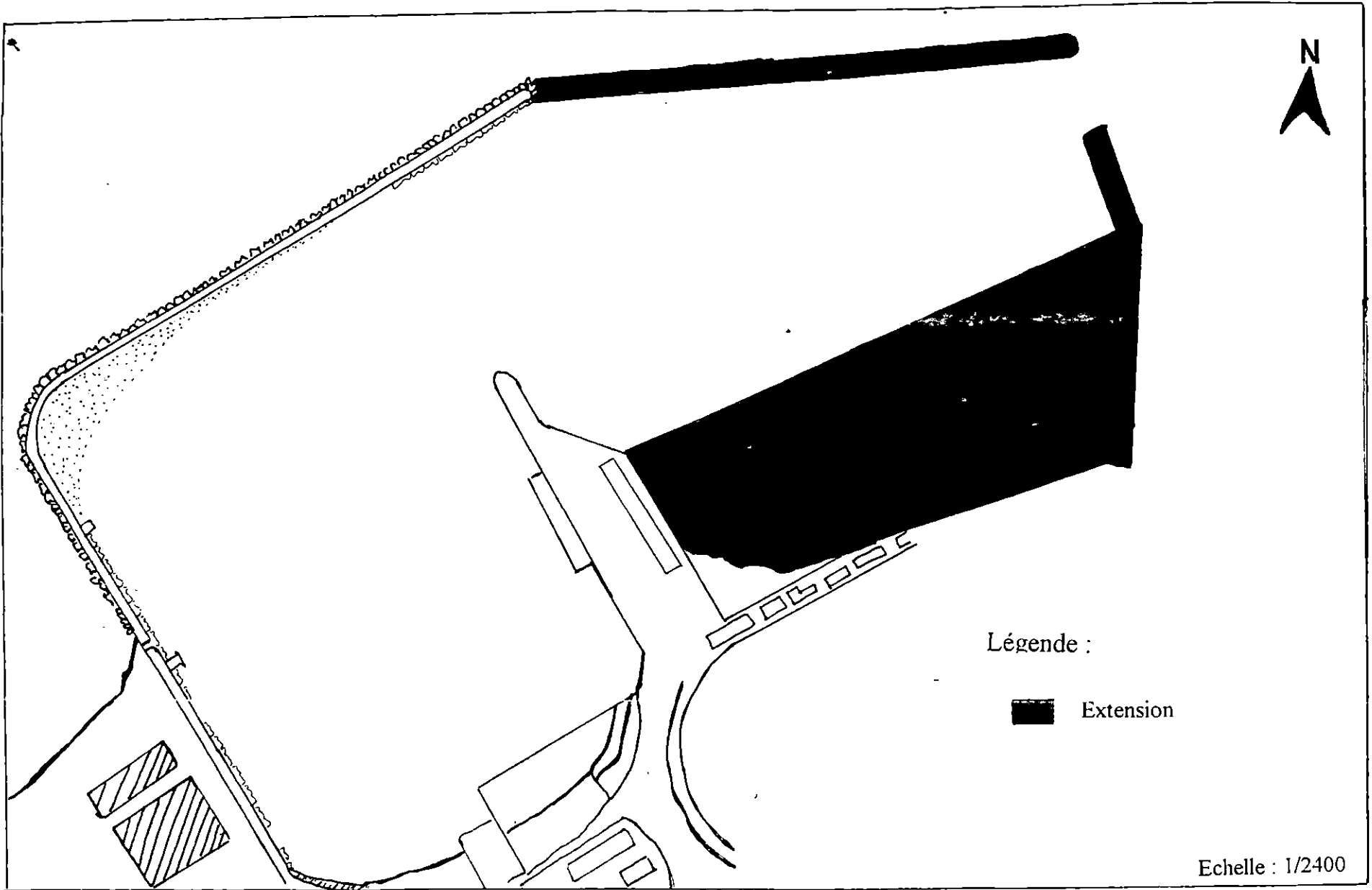


FIG 48 : Extension du port de Béni-Saf

Cet ouvrage devrait être étudié avec précision en modèle réduit avant sa réalisation et les résultats obtenus comparés aux solutions de dragages classique qui peuvent, dans le cas particulier du port de Béni-Saf, être plus économiques pour maintenir l'accès au port.

Toutefois, la construction d'un barrage au niveau du bassin versant de la Tafna, entraînera un changement de la dynamique sédimentaire au niveau de notre zone d'étude. Ce barrage, en cours de réalisation, permettra d'assurer l'alimentation en eau potable des différentes zones environnantes, à savoir, Tlemcen, Béni-saf, Meghnia et Ghazaouet; d'apporter un complément d'alimentation en eau potable et industrielle à Oran et Sidi-Bel-Abbés; et d'être utilisé pour l'agriculture au niveau des zones avoisinantes de la Tafna, surtout la plaine de Remchi qui représente des zones très fertiles.

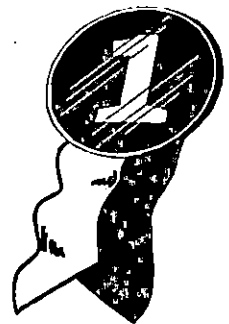
La construction de ce barrage assurera la régularisation du régime hydraulique, entraînant ainsi une modification des apports solides par modification des caractéristiques d'écoulement.

Ainsi, avant d'entreprendre le choix de la réalisation de l'épi, une étude plus détaillée sur la part des apports de la Tafna dans l'ensablement doit être effectuée après la réalisation du barrage.

Donc, la solution des dragages d'entretien estimés à 53.000 m³ /an reste la plus probable. Ceci nous permettra d'éviter l'artificialisation du site par l'emploi de techniques lourdes (construction de l'épi) qui demande beaucoup d'investigations et perturbe l'équilibre naturel du site.

CHAPITRE X

SITE DE DEPOT



Les volumes des matériaux dragués, sont très importants (plusieurs dizaines de millions de m³). Les coûts en investissement sont conséquents et posent bien évidemment le problème du rendement des projets engagés.

Cependant, le choix du devenir des produits dragués, dépend essentiellement de leurs dimensions granulométriques, du taux de polluants qu'ils renferment ainsi que du coût des opérations.

La recherche d'une zone de rejet est très délicate dans les opérations de dragage. En effet, il s'agit de localiser des zones satisfaisantes aux contraintes techniques, économiques et environnementales.

Les sites de rejets peuvent être localisés dans trois types de zones :

1- Immersion en mer

La méthode la plus répandue du dépôt des matériaux dragués, est celle du rejet en eau libre. Cette opération présente les risques les plus élevés, car les sédiments riches en polluants, peuvent être dispersés sur des surfaces importantes suite au transport par les vagues et les courants (ROCHON, 1984 in ADJOU, P.46).

Selon le décret « 88-228 » du 5-11-88, relatif à l'immersion en mer des déblais dragués, les sédiments doivent présenter des concentrations en métaux lourds inférieures aux normes nationales. En effet, les résultats des analyses montrent que les sédiments du port de Béni-Saf ne sont pas contaminés, permettant ainsi une immersion en mer.

Le rejet de ces produits dragués doit s'effectuer au niveau d'une zone, située le plus près possible de la zone d'extraction, de façon à minimiser les coûts de transport, sans toutefois permettre un recyclage des matériaux. Les matériaux déposés, doivent être aussi proche que possible, en taille et en nature des matériaux constituant la zone de dépôt, afin de minimiser les perturbations apportées à l'écosystème.

Mais l'étude géomorphologique de la région, a montré que le plateau continental, au niveau de notre zone d'étude est très étendu (18 km), ce qui cause le problème de l'éloignement de la zone de rejet, entraînant ainsi des coûts de transport très excessifs. Ce type de dépôt entraînera les impacts suivants :

- Impacts dû au transport vers la zone de rejet

Les pertes dues aux débordements du puits de la drague entraînent des perturbations de tout l'écosystème. Les atteintes à la qualité de l'eau se traduisent par la turbidité, la modification de la salinité et la diminution de la température de surface. Ces atteintes sont plus importantes quand les volumes à draguer augmentent.

Ces effets restent tout de même éphémères et peuvent être considérablement réduits lorsque le matériel est de bonne qualité et que les opérations se déroulent dans de bonnes conditions météorologiques (l'agitation augmente le débordement).

La faune et la flore subirait des perturbations négligeables si les recommandations citées étaient scrupuleusement appliquées. Le trafic maritime peut être quelque peu perturbé mais l'impact sera considéré comme nul.

La pêche et la plaisance peuvent éventuellement être affectées par les pertes aux débordements. Cette phase de transport détermine les seuils de rendements de l'opération de dragage. En effet les distances parcourues se répercutent directement sur le coût de l'opération.

- Impacts sur la zone de rejet

Le rejet des produits dragués se traduit par la fuite de poissons, la destruction de la population larvaire et par conséquent la diminution du stock halieutique. Ceci peut agir négativement sur la pêche, qui constitue une source importante de revenus, pour la plupart de la population de Béni-Saf.

Ces rejets détruisent les populations benthiques, modifient le faciès sédimentologique, ainsi que la salinité des eaux et provoquent une turbidité assez importante qui perturbera la photosynthèse en affectant ainsi toute la production primaire et donc toute la chaîne trophique.

2. Utilisation des produits dragués

Le développement économique et les exigences du monde moderne dans le domaine des aménagements et de la construction, induisent des besoins de plus en plus importants de granulats (sable et granulats notamment).

L'emploi de sable marin pour la fabrication de béton, pose des problèmes liés à certaines de leurs teneurs comme les sels, les coquilles, les micas et les fines argileuses.

Les sables grossiers sont les plus appréciés comme matériaux pour la construction. Les sables qui ne contiennent que quelques pourcentages de fins sont les plus adaptés. La présence d'une proportion importante de vase est un facteur très désavantageux. Il en est de même de la teneur en coquilles fines (les proportions doivent être inférieure à 30%).

La difficulté majeure pour l'emploi des granulats marins dans la fabrication du béton est posée par leurs teneurs en sels. Mais après dessalement, les granulats marins sont susceptibles de se substituer au granulats d'origine continentale. La proximité des sources d'eau douce est ainsi appréciable pour ce type d'opération.

Les matériaux dragués au niveau du port de Béni-Saf présentent une granulométrie fine, des pourcentages en carbonates inférieurs à 5% et un taux de pélites inférieur à 10%. Son utilisation dans le domaine de la construction s'avère impossible sans un dessalement effectué au préalable.

Une fois dessalé, ces granulats marins doivent être mélangés avec des sédiments plus grossiers pour ensuite être utilisés comme matériaux de constructions.

Malgré les coûts onéreux qu'engendrent ces opérations de dessalement, cette solution reste acceptable vu la demande croissante en sable.

3. DEPOT COTIER

Une solution qui consiste en la décharge des produits dragués au niveau d'encoches littorales est proposée. Un site situé à 9 km à l'Est du port a été choisi (figure 49). Le transport s'effectuera par camion jusqu'au site où se déroulera le déchargement par jet de ces matériaux du haut de la falaise.



FIG 49 : Dépôt côtier

Le sens de la dérive littorale (Ouest-Est) et l'orientation de cette encoche vers l'Ouest avantageraient le piégeage des sédiments à son niveau.

L'avantage de cette solution consiste en la proximité du site et le faible coût du transport. L'inconvénient réside dans la non réutilisation de ces produits surtout que ce sont des sédiments qui présentent de bonnes caractéristiques (utilisation comme matériaux de construction ou remblais); et les impacts que peut engendrer cette opération.

- Impacts dû au transport

Le chargement des camions et le transport vers la zone de rejet entraînera une augmentation de la circulation au niveau du port, du bruit, de la pollution de l'air et des pertes lors des chargements, transport et du déchargement.

- Impacts sur la zone de rejet

Le rejet en masse des produits dragués du haut de la falaise est à l'origine de la pollution de l'air.

Une fois dans l'eau, ces produits créent une turbidité assez importante, perturbant ainsi la photosynthèse (et donc toute la production primaire) et la répartition de la population benthique.

Ces impacts sont similaires à ceux rencontrés lors d'un rejet en mer, et ont donc les mêmes effets sur le site et sur l'environnement.

4. DEPOT TERRESTRE

Un site situé à environ 1 km à l'Est du port au niveau de la plage Sidi-Boucif a été choisi. L'accès à la plage se fait par route jusqu'à un tronçon où un mur en béton sépare la plage et le haut de la falaise (figure 50). Entre le mur et le haut de la falaise, une forme assez particulière faisant rappeler la vallée d'un ancien cours d'eau apparaît.

D'après la carte topographique de Béni-Saf (1/25000) agrandie à une échelle de 1/6000 (figure 51), on a estimé la surface totale de cette « cuvette » à 8100m², soit un volume total de 85500 m³.

Vu le volume estimé à draguer qui est de 53.000 m³/an, ce site devrait convenir. Ces produits une fois déposés peuvent être utilisés à d'autres fins tel que le remplissage de la plage Sidi-Boucif, son utilisation comme remblais ou pour la construction.

Le soucis de contamination des nappes phréatiques ne se pose pas au niveau de ce site. L'étude hydrogéologique a montré l'inexistence de nappes phréatiques à ce niveau.

L'aspect esthétique, aspect assez important, surtout que la plage de Sidi-Boucif reçoit une masse importante d'estivants, n'est pas affecté. Le sable extrait est propre et ne présente pas de problèmes d'odeur.

Les seuls impacts que peut entraîner ce type de dépôt résident au niveau du transport. En effet, comme pour le dépôt côtier, des impacts sont dus au bruit, l'encombrement au niveau du port lors du chargement ainsi qu'aux pertes observées au moment du chargement, transport et déchargement.

La proximité du site, son accessibilité par la route et sa forme géométrique rendent cette solution la plus adéquate dans le cas du dragage du port de Béni-Saf.

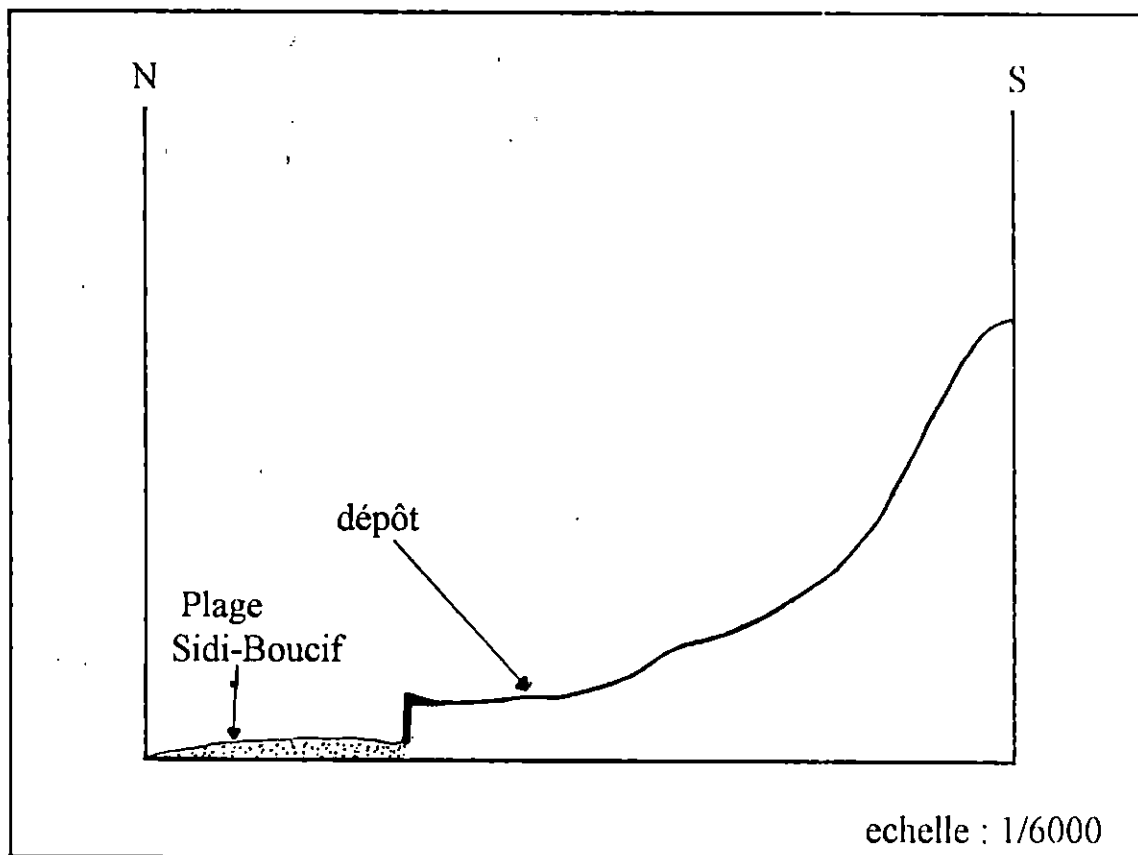


FIG 50 : Coupe topographique au niveau de la plage Sidi-Boucif.

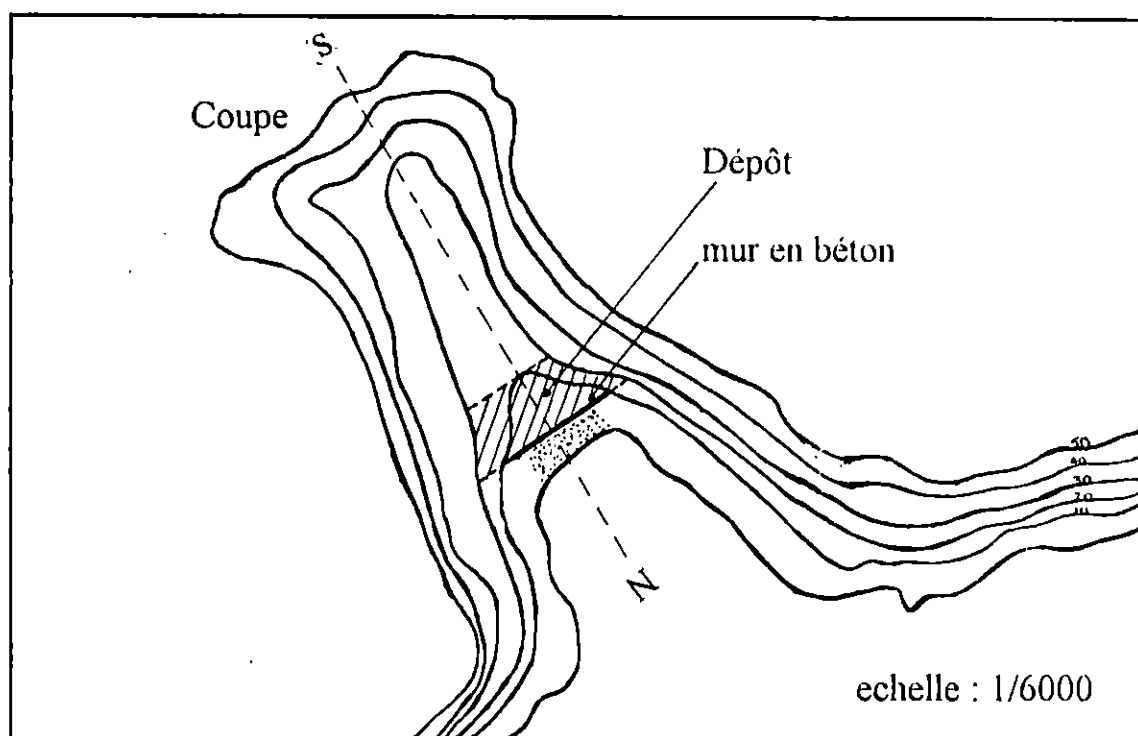
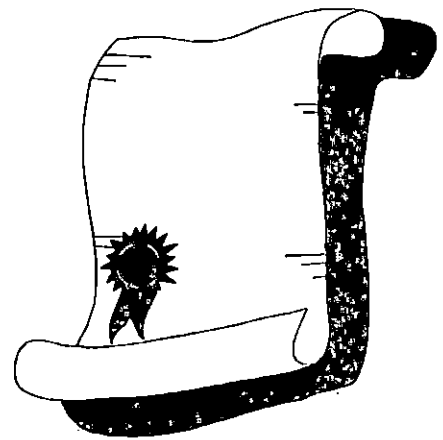


FIG 51 : Plage Sidi-Boucif : extrait de la carte topographique de Béni-Saf.

CONCLUSION



CONCLUSION

La construction de tout ouvrage en site maritime ou littoral crée une perturbation de l'équilibre naturel. En effet, la construction du port de Béni-Saf a perturbé les différents mouvements sédimentaires existants, en agissant comme un épi de grande dimension qui a arrêté les apports venant de l'Ouest, causant ainsi d'une part un engraissement à son aval (formation de la plage du puits), un exhaussement des fonds parallèlement à sa jetée principale, la formation d'une flèche sableuse le long de cette jetée et d'autre part une érosion à son amont (l'Est).

Par contre, immédiatement à l'Est de la jetée secondaire, les fonds se sont sédimentés, les sables ayant tendance à être entraînés par le courant dextrorsum qui se produit à l'abri de la jetée principale.

L'analyse minéralogique et morphoscopique a montré que c'est les apports de la Tafna qui sont à l'origine de cet ensablement. Les études par traceurs radioactifs ont confirmé cette origine et ont montré que les transports de l'Ouest vers l'Est s'effectuent dans la zone de petits fonds de -5m où la plus grande masse sédimentaire transite de l'ouest vers l'Est sous l'action des houles du Nord-Ouest à l'Ouest. Ce sont ces houles qui sont à l'origine de la formation de la flèche sableuse à l'extrémité de la jetée Nord. Ceux du secteur Nord-Est contribuent à la formation de la bande sableuse et provoquent une agitation assez importante au niveau du port dépassant 0.5m vu l'ouverture de ce dernier sur cette direction.

Pour palier au problème de l'ensablement, plusieurs propositions d'aménagement ont été émises. Celle qui nous semble la plus appropriée au cas du port de Béni-Saf est la réalisation de dragages d'entretien en attendant la construction du barrage « La Tafna » et ainsi connaître la part des apports de cet Oued dans les années qui suivent la fin des travaux.

L'importance de cet ensablement a entraîné une gêne pour la navigation et a obligé l'administration à exécuter des travaux de dragage (solution provisoire). Ces travaux d'une importance capitale au niveau du port de Béni-Saf (premier port de pêche en Algérie) entraînent des impacts importants surtout sur le plan environnemental qu'il faudrait mettre en évidence.

L'analyse de l'état de pollution au niveau du port à travers l'étude benthique et celle des métaux lourds, a montré que les sédiments de ce port présentent un faible degré de pollution surtout au niveau de la bande sableuse où les dragages devront s'effectuer.

Le choix d'un site de dépôt dépend essentiellement de la qualité du sédiment. Celui du port de Béni-Saf étant propre lui confère l'avantage d'être rejeté en différentes zones sans la crainte d'une contamination ou une atteinte à l'environnement récepteur.

Notre étude nous a amené à proposer un site terrestre situé non loin du port. L'analyse des impacts dus aux différents rejets proposés a induit cette solution qui reste un compromis entre l'aspect technique, économique et surtout environnemental.

Ainsi, notre étude n'est qu'une modeste contribution à la résolution du problème d'ensablement au niveau du port de Béni-Saf, ce travail devrait être poursuivi et complété par d'autres études sur le port de Béni-Saf qui permettront d'avoir des informations supplémentaires qui confirmeraient éventuellement nos résultats (conclusions). Ils s'agit notamment des études suivantes :

- Dosage des hydrocarbures dans l'eau et le sédiment ainsi qu'une analyse microbiologique.

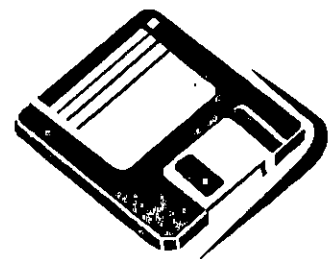
- Une étude détaillée du benthos afin de connaître les effets des travaux de dragage sur la répartition de ces peuplements.

- Analyse des paramètres physico-chimiques (température, salinité, PH) qui suite à des difficultés matérielles n'a pu être effectuée.

- Une étude sur la Tafna pour connaître la part de son apport dans les prochaines années surtout avec la construction du barrage.

- Une étude d'impact si la solution de la construction d'un épi perpendiculaire à la jetée nord est retenue.

BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

- ADJOU A., SILINI A., 1992 . Embouchure de l'Oued el Harrach : les conditions de dragage et l'impact sur l'environnement. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Aménagement du Littoral, I.S.M.A.L (Alger) : 40-55.
- AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES, 1982. Projet d'alimentation en eau potable de Béni-saf (Tlemcen), 10p.
- AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE HYDRAULIQUE , 1992. Hydrologie du bassin versant de la Tafna (Tlemcen), 32p.
- BAKALEM A., ROMANO J.C.L, 1983. Les peuplements macrobenthiques du port de Bejaia .Pelagos, 7(1) : 41-48.
- BELLAN G., BELLAN-SATINI D., PICARD J., 1980. Mise en évidence de modèles éco-biologiques dans des zones soumises à des perturbations par la matières organiques . Oceanologica Acta , Vol.3-N°3 : 383-390.
- BENATIA M., 1991. Contribution à l'étude des peuplements macrobenthiques des petits fonds de la baie de Fetzera (Golfe de Skikda). Mémoire de Technicien Supérieur en biologie de pêche, I.S.M.A.L (Alger), 144 p.
- BENCHEIKH LEHOCINE O., GHEZALI L., 1995. Application de la fluorescence X au dosage des métaux lourds dans les sédiments marins de la baie d'Alger, évolution de l'état de pollution. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'environnement, U.S.T.H.B (Alger), 84 p.
- BERTHOIS L., 1975. Les roches sédimentaires : Etude sédimentologique des sédiments meubles (Techniques et méthodes). Ed. Doin, 270 p.
- CHAMLEY H., 1987. Sédimentologie. Ed. DUNOD, 175 p.
- CHAPON J., 1984. Travaux maritimes. Tome 2. Ed. Eyrolles (Paris), 365p.
- FAUVEL P., 1923. Faune de France N°5. Polychètes errantes. Ed. Paul Lechevalier, 488 p.
- FAUVEL P., 1929. Faune de France N°16. Polychètes sédentaires. Ed. Kraus, 494 p.
- FENICHE S., HATTOU H., 1992. Impacts des apports solides sur l'envasement du port de Ghazaouet. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en hydraulique, U.S.T.H.B (Alger), 176 p.

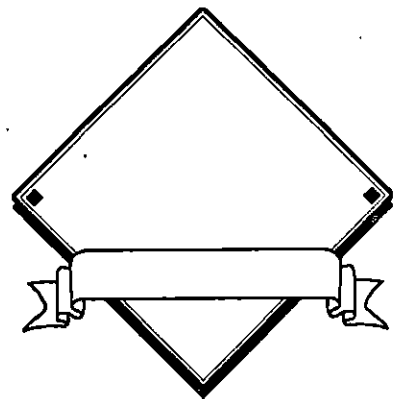
- GENTIL L., 1903. Etude géologique de la Tafna. Ed. Adolphe Jourdan, 404p.
- GUILCHER A., 1971. Précis d'hydrologie marine et continentale. Ed. Masson (Paris), 252p.
- JEUDY De GRISSAC A., 1979. Impacts des aménagements littoraux : Installations portuaires, plages artificielles (Quelques exemples provinciaux). Ed. Géomer, 46 p.
- LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE, 1970. Port de Béni-Saf : Etude des conditions d'ensablement. Rapport préliminaire, 48 p.
- LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE, 1970. Port de Béni-Saf : Rapport sur les études avec traceurs radioactifs et fluorescents, 75 p.
- LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE, 1971. Port de Béni-Saf : Etude des conditions d'ensablement. Rapport complémentaire, 27 p.
- LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE, 1971. Port de Béni-Saf : Etude des conditions d'ensablement. Rapport général, 38 p.
- LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE, 1979. Extension du port de Béni-Saf. Rapport général, 77 p.
- LARRAS J., 1978. Physique des lames et de la houle. Ed. Technip (Paris), 282 p.
- LARID M., 1992. Cours d'aménagement du littoral I, I.S.M.A.L, 159 p.
- LECLAIRE L., 1972. La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléaires (Précontinent algérien). Mémoire du muséum national d'histoire naturelle. Série C. Tome 241, 391 p.
- MOUFFAK L., BEROUGET Y., 1990. Contribution à l'étude de la contamination bactérienne de la frange littorale au niveau de la baie de Béni-Saf. Mémoire de D.E.S, Université de Tlemcen (Tlemcen), 92 p.
- OFFICE NATIONAL DE METEOROLOGIE, 1994. Atals Climatologique National (Région de Béni-Saf), 24 p.
- OTTOMAN F., 1965. Introduction à la géologie marine et littorale. Ed. Masson, 245p.
- OTTOMAN F., BOUTMIN G., 1984. Dragage et exploitation des sable marins : Qualité des matériaux et conséquences sur le milieu. Ed. Masson, 167 p.

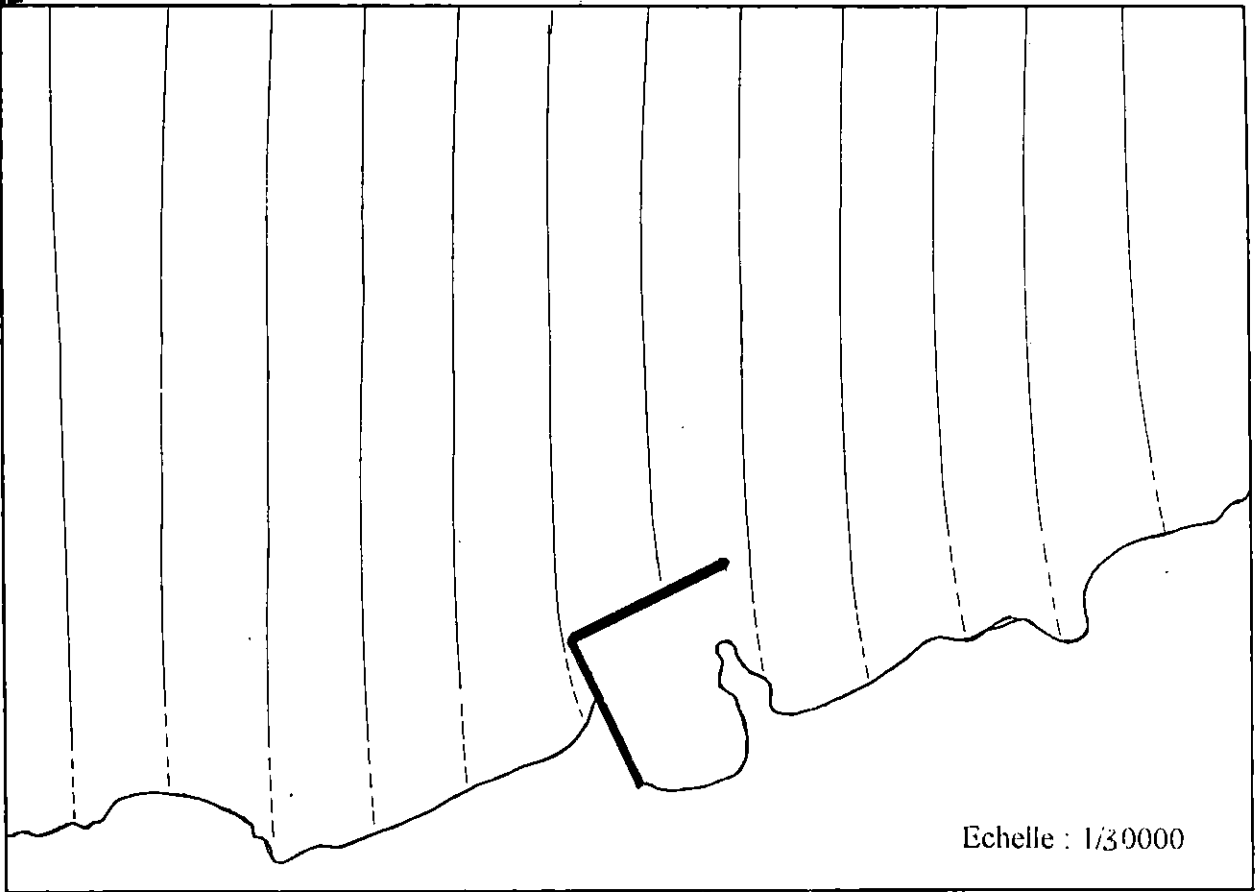
- OURARI M., BENDJOUADI., 1990. Etude d'Aménagement du port de Béni-Saf en port de pêche. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en hydraulique, U.S.T.H.B (Alger), 186 p.
- REBZANI - ZAHAF C., 1990. Les peuplements macrobenthiques du port d'Alger: Evolution spatio-temporelle, impact de la pollution. Thèse de Magister, U.S.T.H.B (Alger), 188 p.
- RIVIERE A., 1977. Méthodes granulométriques (Techniques et interprétations). Ed. Masson, 167 p.
- SADRAN G., 1958. Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du tell Oranais, 535 p.
- SAIDINI R., 1994. Présence de métaux lourds (Fe, Zn, Pb, Cd...) chez quelques espèces de poissons et d'algues au niveau du littoral Ouest algérien. Mémoire d'Ingénieur en contrôle de qualité, Université de Tlemcen (Tlemcen), 95 p.
- VATAN A., 1967. Manuel de sédimentologie. Ed. Technip, 397 p.

Cartes

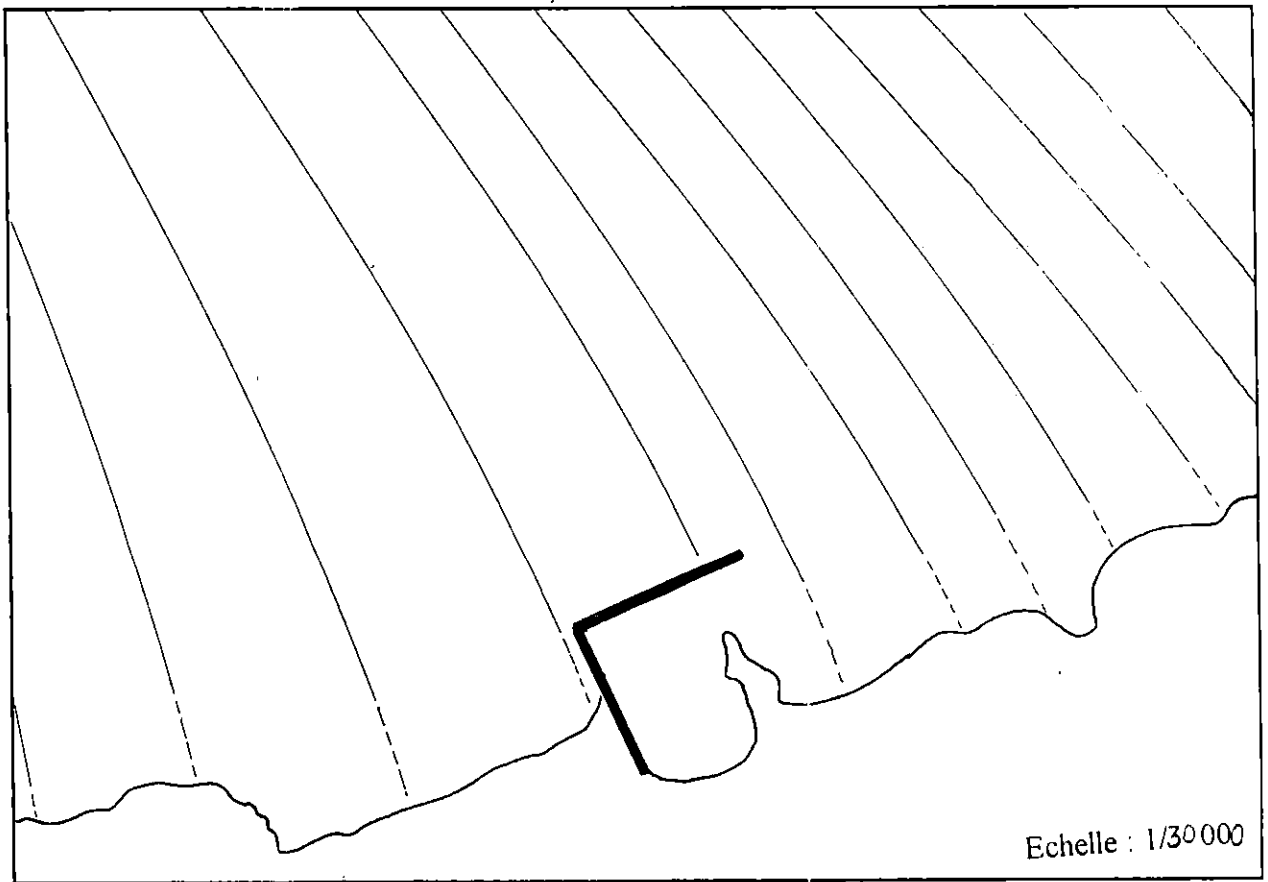
- GENTIL L., 1900 - Carte géologique de Béni-Saf. Ed. Bastide-Jourdan. E=1/50.000.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL DE FRANCE, 1960.
Carte topographique de Béni-Saf, n°3-4 et 5-6, I.N.C (Alger), E=1/25.000.
- CARTE MARINE n°1202, 1948 I.N.C (Alger), E = 1/120.000.

ANNEXES





Plan de vague théorique par direction Nord
 $T = 6s, Lo = 80 m$



Plan de vague théorique par direction Nord-Ouest
 $T = 6s, Lo = 80 m$



Plan de vague théorique par direction Nord-Est
 $T = 6s, L_o = 80 m$



Plan de vague théorique par direction Ouest
 $T = 6s, L_o = 80 m$

ANNEXE 3

Résultats de la morphoscopie (PORT DE BENI-SAF)

N° échantillon	Forme	Eclat	Couleur
Port St. 1	Arrondi : 6 Emoussé : 54 Anguleux : 40	Luisant : 58 Picoté : 20 Mat : 22	Orange : 6 Marron : 16 Laiteux : 16 Transparent 60 Gris : 4
Port 12	Arrondi : 16 Emoussé : 54 Anguleux : 30	Luisant : 46 Picoté : 18 Mat : 36	Orange : 10 Marron : 22 Laiteux : 8 Gris : 14 Noir : 2 Transparent : 44
Plage du puits St. 1	Arrondi : 4 Emoussé : 58 Anguleux : 38	Luisant : 56 Picoté : 32 Mat : 12	Transparent : 58 Gris : 26 Marron : 16
Plage du puits St. 3	Arrondi : 18 Emoussé : 64 Anguleux : 18	Luisant : 50 Picoté : 18 Mat : 32	Orange : 22 Transparent : 48 Laiteux : 4 Gris : 20 Marron : 6
Plage du puits St. 5	Arrondi : 8 Emoussé : 54 Anguleux : 38	Luisant : 56 Picoté : 32 Mat : 8	Orange : 4 Transparent : 56 Gris : 6 Marron : 22 Noir : 8
Plage du puits St. 8	Arrondi : 8 Emoussé : 50 Anguleux : 42	Luisant : 78 Picoté : 20 Mat : 2	Orange : 2 Transparent : 78 Laiteux : 4 Marron : 12 Noir : 4

Suite des resultats de la Morphoscopie (port de Béni-saf) .

Plage du puits St. 10	Arrondi : 2 Emoussé : 60 Anguleux : 38	Luisant : 54 Picoté : 32 Mat : 14	Orange : 14 Transparent : 56 Laiteux : 6 Marron : 18 Gris : 4 Noir : 2
Plage du puits St. 11	Arrondi : 20 Emoussé : 64 Anguleux : 16	Luisant : 42 Picoté : 32 Mat : 26	Orange : 14 Transparent : 42 Laiteux : 4 Marron : 18 Gris : 20 Noir : 2
Plage du puits St. 12	Arrondi : 10 Emoussé : 50 Anguleux : 40	Luisant : 42 Picoté : 44 Mat : 14	Orange : 8 Transparent : 44 Laiteux : 4 Marron : 20 Gris : 16 Noir : 8
Madrid St. 1	Arrondi : 30 Emoussé : 40 Anguleux : 30	Luisant : 40 Picoté : 18 Mat : 42	Orange : 14 Transparent : 34 Laiteux : 20 Marron : 22 Gris : 10
Madrid St. 2	Arrondi : 14 Emoussé : 76 Anguleux : 10	Luisant : 22 Picoté : 68 Mat : 10	Orange : 12 Transparent : 22 Laiteux : 2 Marron : 16 Gris : 34 Noir : 4
Plage de Rechgoun (embouchure O. Tafna)	Arrondi : 16 Emoussé : 66 Anguleux : 18	Luisant : 50 Picoté : 36 Mat : 14	Orange : 12 Transparent : 50 Laiteux : 4 Marron : 14 Gris : 16

Aspect qualitatif et quantitatif des stations :

Station	Nombre d'espèces	Densité (ind/m ²)	Groupe zoologique	Nombre d'espèces	Densité (ind/m ²)
1	1	40	Mollusques	0	0
			Polychètes	0	0
			Crustacés	1	40
2	6	30	Mollusques	6	30
			Polychètes	0	0
			Crustacés	0	0
3	20	2090	Mollusques	20	2090
			Polychètes	0	0
			Crustacés	0	0
4	4	20	Mollusques	4	20
			Polychètes	0	0
			Crustacés	0	0
5	18	235	Mollusques	9	155
			Polychètes	8	125
			Crustacés	1	5
6	12	120	Mollusques	10	110
			Polychètes	1	10
			Crustacés	1	5
7	13	365	Mollusques	8	145
			Polychètes	5	220
			Crustacés	0	0
8	14	190	Mollusques	10	115
			Polychètes	4	75
			Crustacés	0	0
9	34	3675	Mollusques	34	3675
			Polychètes	0	0
			Crustacés	0	0
10	23	1200	Mollusques	20	605
			Polychètes	3	595
			Crustacés	0	0
11	19	125	Mollusques	16	85
			Polychètes	3	40
			Crustacés	0	0
12	18	175	Mollusques	17	165
			Polychètes	0	0
			Crustacés	1	10

Aspect qualitatif et quantitatif des stations(port de Béni-saf).

Station	Nombre d'espèces	Densité (ind/m ²)	Groupe zoologique	Nombre d'espèces	Densité (ind/m ²)
13	6	35	Mollusques	3	15
			Polychètes	3	20
			Crustacés	0	0
14	7	35	Mollusques	6	30
			Polychètes	1	5
			Crustacés	0	0
15	14	70	Mollusques	6	45
			Polychètes	6	75
			Crustacés	2	15
16	12	1005	Mollusques	10	160
			Polychètes	2	845
			Crustacés	0	0

ANNEXE 4

Facteurs écologiques abiotiques au niveau du port de Béni-Saf.

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
F.éco. abiotique																
Température (°C)	24	25	23	24	25	25	26	26	25	25	24	25	26	25	24	24
M.E.S (mg/l)	/	23.93	14.40	10.59	12.16	13.79	/	11.56	4.43	11.37	13.11	3.56	/	/	/	/
M.O (%)	2.68	16.43	22.58	18.50	22.17	26.05	22.34	25.0	17.87	15.98	3.09	5.06	3.74	4.09	4.04	14.05

LISTES FAUNISTIQUES

PORT DE BENI-SAF (JUILLET, 1995)

BIVALVES

Espèce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	GE
<i>Abra ovata</i>																	
<i>Acanthocardia echinata</i>									1								sspr
<i>Acanthocardia paucicostate</i>			1		1			1	1	1						1	V
<i>Acanthocardia tuberculata</i>			1		1	1		1	1	1	1	1	1				S
<i>Acanthocardia spinosa</i>																	sspr
<i>Aequipecten opercularis</i>									1								sspr
<i>Anomia ephippium</i>									1								LRE
<i>Astrate vulcata</i>									1			1		1		1	sspr
<i>Callista chione</i>			1								1						S
<i>Cerastoderma glaucum</i>			1			1	1		1	1		1					S
<i>Chamelea gallina</i>							1			1	1	1					S
<i>Chlamys varia</i>			1						1	1		1		1	1		sspr
<i>Circomphalus casinus</i>									1							1	SV
<i>Corbula gibba</i>		1	6	1	9	6	4		4	5		1					LRE
<i>Donax variegatus</i>								1		1	1	1		1		2	S
<i>Donax trunculus</i>								1		2	1	1		1	4		S
<i>Glycymeris glycymeris</i>											1	1		1	1		S
<i>Leda pella</i>			1						1								V
<i>Limaria tuberculata</i>									1								G/R
<i>Mactra corallina</i>									1		1					2	S

<i>Modiolus adriaticus</i>		1		1						4	1	1				2	sspr
<i>Mya arenaria</i>			1			1											V
<i>Mytilus galloprovincialis</i>									1	3		1			1	3	G/R
<i>Nacula nucleus</i>			2						1								Mixt
<i>Neopynodonte cochlear</i>				1													R
<i>Panopea glycymeris</i>									1								sspr
<i>Pitar rudis</i>											1						V
<i>Ruditapes decussatus</i>					1		1										SV
<i>Serobicularia plana</i>					1												V
<i>Spondyle gaederopus</i>									1								G
<i>Striarca lactea</i>						1			1	1	1	1					sspr
<i>Thracia pubescens</i>					1												SV
<i>Venerupis aurea</i>											1						SV
<i>Venerupis rhomboides</i>								1	1								SG
N	0	2	11	3	7	5	4	5	20	11	11	12	2	5	4	7	
A	0	2	17	3	15	10	7	5	23	21	11	12	2	5	7	12	

GASTEROPODES

Espèce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	GE
<i>Alvania beanii</i>			1						75	26	1	2					sspr
<i>Buccinum</i> Sp		1	5			1			28	1							sspr
<i>Bifornia perversa</i>															1		sspr
<i>Calliostoma zizyphinum</i>									9								V
<i>Cerithiopsis tubercularis</i>			369	1	1	4	17	13	325	27	1	5					sspr
<i>Cyclope neritea</i>			1														SV
<i>Disdora gibberula</i>									1	9	2	8			1		sspr
<i>Emarginula multidreata</i>										1							sspr
<i>Hamineoa navicula</i>						1		1	20								sspr
<i>Hinia incrassata</i>			9		5	2	3	2	18	29		1				17	S
<i>Hinia reticulata</i>							1	1	8								S
<i>Hydrobia ulvea</i>																1	LRE
<i>Hydrobia ventrosa</i>			4														LRE
<i>Littorina neritoides</i>			1														sspr
<i>Lunatia guillemini</i>		1															SV
<i>Patella nigra</i>									1								R
<i>Patella caenulea</i>									1		1				1		R
<i>Rissoa parva</i>						3	1	1	4	2	1	5	1			2	sspr
<i>Rissoa ventricosa</i>		1	9						169								sspr
<i>Skeneopsis planorbis</i>		1							39								sspr
<i>Triphora adversa</i>									14	1							sspr
<i>Turbonilla</i>			2														sspr
<i>Urosalpinx</i>										4							sspr
N	0	4	9	1	2	5	4	5	14	9	5	5	1	1	2	3	
A	0	4	401	1	6	11	22	18	712	100	6	21	1	1	2	20	

POLYCHETTE

Espèce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	GE
<i>Aricia foetida</i>															3		SV
<i>Chaetopterus</i> sp					1												sspr
<i>Capitella capitata</i>					9	2	16	6		72	4		2	1	1	98	LRE
<i>Capitellides giardi</i>					3		12	5		46						71	V
<i>Eteone longa</i>															4		sspr
<i>Lacydonia miranda</i>															2		sspr
<i>Lumbri conereis gracilis</i>											1						S
<i>Masto branchis trinchessii</i>							1										S
<i>Notomastus latericus</i>					1												LRE
<i>Ophelina bicornis</i>					3								1		4		S
<i>Oxydromus propinquus</i>											3						G
<i>Paraonis</i> sp							14										sspr
<i>Raphidrilus nemasoma</i>					2			2									S
<i>Raphidrilus</i> sp							1										sspr
<i>Scalibregma inflatum</i>					1												V
<i>Spermosyllis lorulosa</i>								2									SV
<i>Spio filicornis</i>					5					1							S
<i>Stylarioides plumosa</i>															1		V
<i>Syllis amica</i>													1				sspr
N	0	0	0	0	8	1	5	4	0	3	3	0	3	1	6	2	
A	0	0	0	0	25	2	44	15	0	119	8	0	4	1	15	169	

CRUSTACES

Espèce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	GE
<i>Eurydice pulchra</i>	8											2					S
<i>Gastrosaccus spinifer</i>															2		S
<i>Iphinoe maculata</i>					1	1											sspr
<i>Liocarcinus vermales</i>															1		S
N	1				1	1						1			2		
A	8				1	1						2			3		

CALIBRATION REPORT

Calibration file: C:\AXIL\SPECT\KARIMA\KARIMAR.CAL

Created on: 11-18-1995

Calibration performed on: 11-18-1995

Tube excitation: No secondary target Operating at: 45.0 KV

Method used: REGRESSION of Intensity vs Concentration

Standard #: C:\AXIL\SPECT\KARIMA\TA1356.ASR
Measurement date: 11-13-1995 Live time: 900
counts

Element	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Rb	Br	Ka	Sr	Ca	Pb	Hg	Pb	
Element	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Rb	Br	Ka <td>Sr</td> <td>Ca</td> <td>Pb</td> <td>Hg</td> <td>Pb</td>	Sr	Ca	Pb	Hg	Pb	
counts	332	37	12	8	55	6170	141	0	0	1218	-392	398	585	398	37	44	31	37	917	917	
conc	88700.000	2190.000	55.500	59.900	312.000	24100.000	15.000	36.900	365.000	977.000	26.900	0.750	75.100	71.000	170.000	4.470	9.330	548.000	7.520	347.000	347.000
\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA

Tube current: 5.000

Standard #: C:\AXIL\SPECT\KARIMA\TSDM2TM.ASR
Measurement date: 11-18-1995 Live time: 901
counts

Element	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Rb	Br	Ka	Sr	Ca	Pb	Hg	Pb	
Element	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Rb	Br	Ka <td>Sr</td> <td>Ca</td> <td>Pb</td> <td>Hg</td> <td>Pb</td>	Sr	Ca	Pb	Hg	Pb	
counts	451	67	-19	26	161	5501	129	38	55	102	-52	66	487	487	4868	18	38	17	-2	217	
conc	112000.000	2740.000	91.200	77.200	1170.000	27100.000	19.600	56.100	32.700	74.800	19.300	0.600	55.700	55.700	548.000	0.119	0.990	252.000	0.054	22.800	
\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA

Tube current: 5.000

Standard #: C:\AXIL\SPECT\KARIMA\TSDMLSO.ASR
Measurement date: 11-13-1995 Live time: 900
counts

Element	Ca	Ti
Element	Ca	Ti
counts	436	39
conc	11100.000	2610.000
\$EXP_DATA	\$EXP_DATA	\$EXP_DATA

Fe Ka	2703 g 51	10320.000	\$EXP_DATA
Zn Ka	27 g 13	30.100	\$EXP_DATA
Br Ka	186 g 32	5.630	\$EXP_DATA
Rb Ka	375 g 38	38.800	\$EXP_DATA
Sr Ka	4870 g 81	470.000	\$EXP_DATA
Sb La	44 g 14	0.560	\$EXP_DATA

Estimates for each element

R = Int elem
Conc of elem in \$EXP_DATA

Estimate for Ca-Ka

$$R = 4.2163E-002 + 4.8215E-007 * Conc$$

Using Unweighted Least Squares regression

Conc	Exp R value	Fitted R value	Diff.
8.8700E+004	7.3780E-002	8.4929E-002	1.5112E+001 %
1.1200E+005	1.0010E-001	9.6164E-002	-3.9325E+000 %
1.1100E+004	9.6890E-002	4.7514E-002	-5.0950E+001 %
0.0000E+000	0.0000E+000	4.2163E-002	

Mean difference = 1.7501E+001 %

Estimate for Ti-Ka

$$R = 7.9002E-004 + 5.1061E-006 * Conc$$

Using Unweighted Least Squares regression

Conc	Exp R value	Fitted R value	Diff.
2.1900E+003	1.2000E-002	1.1972E-002	-2.3030E-001 %
2.7400E+003	1.4870E-002	1.4781E-002	-6.0044E-001 %
2.6100E+003	1.4000E-002	1.4117E-002	8.3516E-001 %

Mean difference = 5.5530E-001 %

Estimate for V -Ka

$$R = 5.6118E-003 + 3.7031E-005 * Conc$$

Using Unweighted Least Squares regression

Conc	Exp R value	Fitted R value	Diff.
5.5500E+001	8.6670E-003	8.6570E-003	1.0746E-005 %
9.1200E+001	9.9890E-003	9.9890E-003	9.8285E-006 %

Mean difference = 1.0035E-005 %

Estimate for Cr-Ka

$$R = 1.1365E-003 + 8.8919E-005 * Conc$$

Using Unweighted Least Squares regression

Conc	Exp R value	Fitted R value	Diff.
6.9800E+001	7.3330E-003	7.3330E-003	0.0000E+000 %
7.7200E+001	7.9910E-003	7.9910E-003	0.0000E+000 %

Mean difference = 0.0000E+000 %

Estimate for Mn-Ka

$$R = 3.6673E-003 + 2.7413E-005 * Conc$$

Using Unweighted Least Squares regression

Conc	Exp R value	Fitted R value	Diff.
3.1200E+002	1.2220E-002	1.2220E-002	-7.6212E-006 %
1.1700E+003	3.5740E-002	3.5740E-002	0.0000E+000 %

Mean difference = 3.8105E-006 %

Estimate for Fe-Ka

Using Unweighted Least Squares regression

$$R = -4.4900E-001 + 1.2133E-004 * Conc + -1.9011E-009 * Conc^2$$

Conc	Exp R value	Fitted R value	Diff.
2.4100E+004	1.3710E+000	1.3710E+000	-8.6951E-006 %
2.7100E+004	1.4430E+000	1.4430E+000	4.1306E-005 %
1.0320E+004	6.0070E-001	6.0070E-001	-1.1907E-004 %

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Délégué
Recherche, la Technologie
l'Environnement

الوزارة المنتدبة
للبحث والتكنولوجيا
والبيئة

004..../MDRTE/91

le 19 NOV 1991

MESSIEURS LES WALIS

MESSIEURS LES DIRECTEURS GENERAUX
DES ENTREPRISES PORTUAIRES.

OBJET/ - Immersion des déblais de dragage des
enceintes portuaires.

Etant souvent sollicités par des demandes d'immersion de
déblais de dragage des enceintes portuaires,

Je vous rappelle que :

- Les opérations d'immersion de ce type de déchets doivent s'ef-
fectuer conformément aux dispositions du décret n° 88 - 228 du 05 Novembre
1988.

- si les déblais de dragage contiennent des éléments toxiques
à des concentrations supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau
ci-après, leur immersion en mer est strictement interdite, du fait de
la toxicité de ces éléments vis à vis de la faune et la flore, notamment.

./.

METAUX LOURDS	CONCENTRATION A NE PAS DEPASSER (mg/kg de matières sèche).
ARSENIC CADMIUM CHROME CUIVRE MERCURE NICKEL ZINC	30 3 250 150 1,5 250 75 500

Dans ce cas, ils doivent alors impérativement être traités à terre. Le procédé le moins coûteux consisterait à les mettre en décharge dans des dépôts côtiers aménagés, de préférence, à proximité des enceintes portuaires.

Ce type d'ouvrage doit cependant, préalablement à sa réalisation, faire l'objet d'une étude d'impact sur l'Environnement conformément aux dispositions du décret n° 90-78 du 27 Février 1990.

Vous trouverez ci-joint les principales recommandations, établies par les services de l'Environnement, en ce qui concerne les dispositions à prendre pour la réalisation et l'exploitation d'un dépôt côtier.

Je vous prie de bien vouloir veiller au respect des recommandations de cette circulaire, et reste à votre disposition pour tous renseignements complémentaires.

Pr. A. GAID
Directeur d'Etude

