



## HYDRODYNAMIQUE LAGUNAIRE ET REMISE EN SUSPENSION : LE CAS DE L'ÉTANG DE BAGES-SIGEAN (AUDE)

D. CATALIOTTI-VALDINA <sup>(1)</sup> et J. P. BARUSSEAU <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> B.C.E.O.M., 34280 La Grande Motte - <sup>(2)</sup> L.G.S.M., URA 715 - 66860 Perpignan Cédex

### Résumé

*Le complexe lagunaire de Bages-Sigean représente un ensemble de bassins cloisonnés de faible profondeur, caractérisés par une sédimentation active dans la période historique et dans l'actuel. Les résultats présentés ont pour objet de mettre en évidence les facteurs du transport sédimentaire, responsables d'une sédimentation rapide dans le chenal portuaire de Port-La Nouvelle. Les écoulements sont régis par les basculements du plan d'eau sous l'effet des vents, notamment des vents de terre. L'influence de la marée paraît subordonnée et les mises en charge par les précipitations trop épisodiques, pour jouer un rôle sensible sur le transport. Par contre, la masse sédimentaire disponible résulte essentiellement des apports fluviaux et de ceux issus directement du ruissellement érodant les falaises des rives ; les bassins de l'étang jouent le rôle de décanteur primaire. La remise en suspension implique des conditions qui semblent plus fréquemment réalisées que ne l'indiquent les simulations utilisant les relations hydrosédimentaires classiques.*

### Summary

*The lagoonal system of Bages-Sigean (Aude ; France) consists in several separated shallow basins where occurred a rapid deposition of sediments during the historical times up to the Present. Factors of resuspension and transport are studied in order to explain the high sedimentation rates in the main channel of Port-La Nouvelle harbour. Currents are mainly determined by changes of the lagoon level slope introduced by stronger winds acting in an offshore direction. Tidal currents are minor and river discharge too irregular in time to generate effective transport events. Available sediments are mostly issued from the catchment erosion by small rivers entering the lagoon and from nearby marly cliffs. Resuspension seems occurred more frequently than predicted by usual models*

### INTRODUCTION

Le complexe lagunaire de Bages-Sigean appartient au cortège d'"étangs" du Languedoc-Roussillon qui jalonnent le domaine littoral depuis la régularisation du trait de côte au cours de la seconde moitié de l'Holocène. D'une superficie de 37 km<sup>2</sup>, il s'insère entre l'étang de Lapalme au sud et celui de l'Ayrolle au nord. Il est encadré par un ensemble de reliefs mésozoïques et cénozoïques : massif de La Clape au nord, de Fontfroide et des Corbières en arrière-plan, à l'ouest, et du Cap Romarin au sud (fig. 1 ; les titres des figures sont en fin d'article).

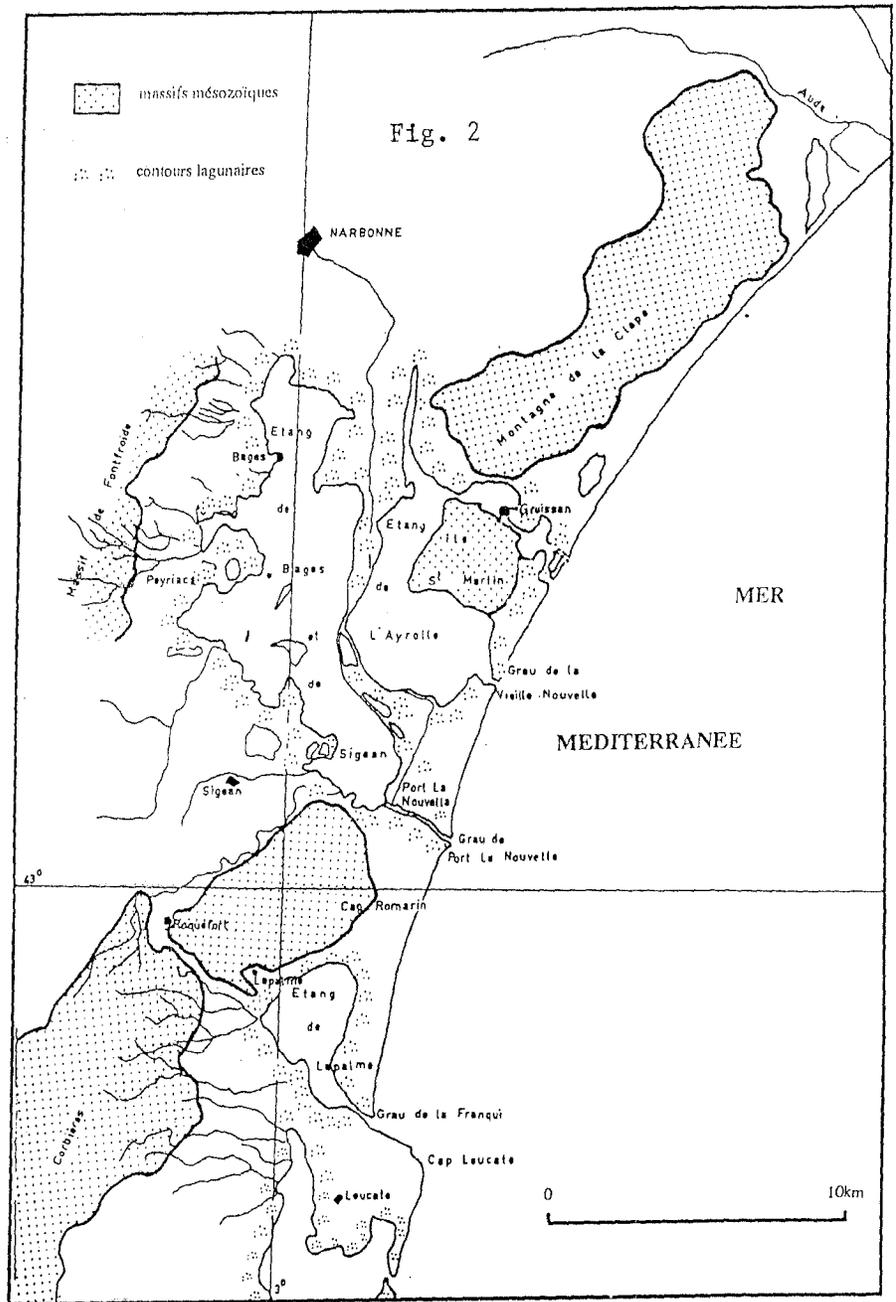
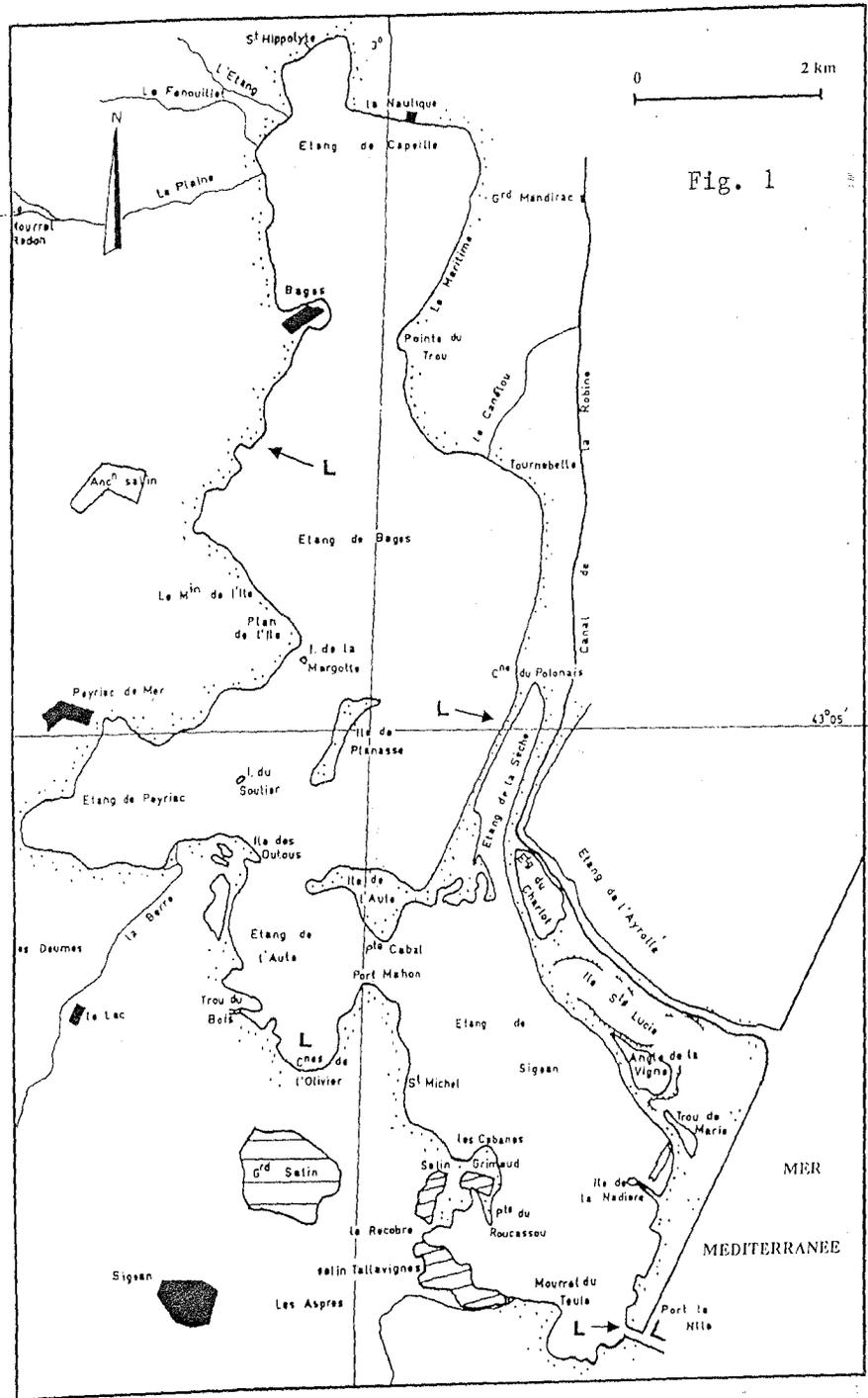
L'étang de Sigean est en réalité un ensemble de plans d'eau assez bien individualisés regroupant (fig.2) : au nord, l'étang de Capeille, au centre, les étangs de Bages et de Peyriac, à l'est, l'étang de la Sèche, au sud, l'étang de l'Auté et au sud-est, l'étang de Sigean-La Nadière. Il a été séparé de celui de l'Ayrolle par la construction du canal de la Robine. Actuellement, les échanges entre ces deux étangs ne peuvent résulter que d'infiltrations sous les ouvrages d'endiguement. Le chenal portuaire de Port-La Nouvelle relie l'étang de Sigean à la mer. La communication est assurée par un vannage construit en 1950 au niveau des Martelières.

Dans les textes anciens rapportés par Lenthéric (1879), un grand ensemble laguno-marin s'étale entre les villes de Vendres, Capestang, Narbonne et Sigean (fig. 3) : le "lac" Rubresus, dans lequel, d'après Pomponius Mela, se jette l'Aude au début de notre ère. Au 5<sup>ème</sup> siècle encore, le massif de la Clape, le mamelon de Gruissan, le massif Saint-Martin et l'île Sainte-Lucie sont isolés. L'Aude divague, en fonction de ses crues, en distribuant ses alluvions dans les différents détroits qui les séparent. Le remblaiement qui en résulte impose très tôt des travaux d'aménagement. Le 12 octobre 1316, une crue détermine un changement d'embouchure ; la rivière qui se jetait dans l'étang de Gruissan se détourne vers le sud dans l'étang de Bages. L'ouverture du complexe lagunaire se fait alors au grau de la Vieille Nouvelle, endigué en 1704 afin de maintenir les fonds lors des chasses succédant aux surcotes de vent de mer.

La construction du canal de la Robine en 1778 et celle de la voie ferrée intralagunaire Narbonne-Perpignan en 1860 ont supprimé cet effet. La seule communication avec la mer reste donc le chenal portuaire de Port-La Nouvelle, dans lequel il faut lutter contre l'accumulation annuelle de 200 000 m<sup>3</sup> de sédiments de façon à entretenir un plafond de dragage à la cote -8 m à son entrée. Entre 1760 et 1952, la superficie de l'étang a diminué du tiers de sa superficie antérieure (Boutière, 1974). Les dépôts sont plus importants sur la bordure orientale sous l'effet de la barrière des aménagements (fig. 4). Une flèche littorale de simplification de côte accuse le rôle des vents de terre, en soulignant les directions orthogonales NNE-SSW (fig. 5). Comme la plupart des plans d'eau lagunaires du Languedoc-Roussillon, l'étang de Bages-Sigean présente un fort taux de sédimentation qui se marque dans la bathymétrie par des profondeurs faibles, comme le montre la carte de la figure 6 pour les bassins sud de l'étang, cependant les plus profonds (Cataliotti-Valdina, 1978).

### CARACTÈRES HYDROLOGIQUES

L'ensemble des apports en eau douce dans le bassin est d'environ 150 millions de m<sup>3</sup> par an, répartis très irrégulièrement au cours de l'année ; l'évaporation



s'établit au tiers de cette valeur. Le bilan est donc positif (100 millions de m<sup>3</sup>, soit le double du volume de l'étang approximativement).

Les entrées d'eau marine ont deux origines principales : la marée, avec un débit alternant de 30 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en moyenne et les entrées de SE. Ces dernières occasionnent des mouvements d'eau de l'ordre de 25 millions de m<sup>3</sup> pendant la durée du coup de vent (4 à 5 jours) soit un débit moyen de 60 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Par comparaison, les sorties d'eau provoquées par les vents de terre sont de l'ordre de 13 millions de m<sup>3</sup>, correspondant à des débits de 50 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> pour un coup de vent de 3 jours. Les surcotes ou décotes induites atteignent respectivement +0,7 m (NGF) et -0,35 m (NGF). Le régime de salinité matérialise ces échanges avec un gradient moyen nord-sud compris entre 10 ‰ et 30 ‰.

### LE RÉGIME DES VENTS

Les vents jouent un rôle fondamental dans la genèse de l'agitation des plans d'eau lagunaires et des courants résultants. Les synthèses régionales (Casanobe, 1968 ; Person, 1973) montrent que, parmi tous les secteurs de vents rencontrés dans la région (fig. 7), deux directions prédominent : les vents de secteur NW (vents de terre : tramontane, narbonés), et les vents de secteurs SE (vents de mer : marinade, marin). La tramontane et le marin sont eux-mêmes plus fréquents que le narbonés et la marinade. La tramontane correspond le plus souvent à la coexistence d'un minimum barométrique sur le golfe de Gènes et d'une dorsale anticyclonique sur la France ; le marin est engendré par une dépression sur le golfe de Gascogne et de hautes pressions sur la Lybie, il entraîne généralement de fortes précipitations.

Les résultats rapportés dans cette note ont été obtenus au cours de la période 1976-1977. Au cours de ces deux années, des vents de vitesse nulle n'ont été enregistrés que pendant 5% du temps. Des fluctuations mensuelles sensibles sont observées ainsi qu'une variabilité interannuelle notable. Cependant la répartition des vents par secteur respecte les fréquences relevées. Les vents de NW ont soufflé 204 jours en moyenne sur les deux années et les vents de SE 65 jours (fig. 8). Pour les vents de terre, les vitesses enregistrées à Perpignan étaient supérieures à 5 m s<sup>-1</sup> pendant 60% du temps, à 10 m s<sup>-1</sup> pendant 19% du temps et à 15 m s<sup>-1</sup> pendant 2% du temps. Par comparaison, pour les vents de mer, les valeurs ont été supérieures à 5 m s<sup>-1</sup> pendant 39% du temps et supérieures à 10 m s<sup>-1</sup> pendant 5% du temps. Dans la région de Port-La Nouvelle, l'incidence des vents de terre est encore plus sensible que ne l'indiquent ces résultats. Une statistique complète sur 20 ans (PNEG 29, 1975) rend compte, pendant 76% du temps, de vents de vitesse supérieure à 5 m s<sup>-1</sup>, pendant 45% du temps de vitesse supérieure à 10 m s<sup>-1</sup> et pendant 13% du temps de vitesse supérieure à 15 m s<sup>-1</sup> (fig. 9).

### LES CHANGEMENTS DE NIVEAU

Les variations du niveau de l'eau dans l'étang ont pu être connues grâce à quatre limnigraphes (L sur la figure 2) calés sur le zéro NGF (0,4 m au-dessus du niveau des

plus basses mers). Elles sont dues à trois facteurs : la marée, les précipitations et le vent.

La marée ne se fait sentir que dans le bassin sud (bassin de Sigean-La Nadière) et dans le chenal portuaire. Elle est faible (marnage de 0,1 m) et irrégulière puisque dépendant de la marée mixte du golfe du Lion (Barusseau *et al.*, 1989). Ses effets sont aussi, comme on le verra, fortement influencés par le régime de vent.

Les crues entraînent par contre une variation plus sensible. Au cours de la période étudiée, plusieurs périodes de précipitations ont permis de mesurer les variations conséquentes de la cote du plan d'eau lagunaire qui peuvent atteindre 0,3 à 0,4 m. Les modalités de l'élévation sont variables en fonction de la localisation des pluies, de leur intensité et de leur durée ainsi que de leur fréquence.

Les vents ont un rôle très actif compte tenu des faibles profondeurs. Par temps de tramontane (fig. 10), le niveau d'eau s'abaisse (0,3 m en 2 jours). Une mise en charge du bassin sud peut toutefois être observée (à partir du 15 novembre) car le rétrécissement de la section d'écoulement aux Martelières ralentit la vidange. Si la tramontane se maintient, un équilibre s'établit à une altitude inférieure au niveau moyen de l'étang. Par temps de marin, les mouvements sont inverses ; la remontée du niveau se produit de façon plus progressive en plusieurs jours. Elle atteint des valeurs de dénivelée semblables (0,3 m). Le niveau est alors plus haut à Bages qu'à Port-La Nouvelle.

### LES ÉCOULEMENTS RÉSULTANTS

La quantité d'eau échangée entre la mer et l'étang se traduit annuellement par le déplacement d'environ 500 millions de m<sup>3</sup> soit près de dix fois le volume de l'étang. Pendant deux tiers du temps, les débits sont en sortie ; ils sont en entrée pendant le reste. Parmi les trois facteurs qui règlent le régime hydrologique, le vent et la marée ont seuls une occurrence suffisante pour en être en grande partie responsables. A la différence de la marée, le vent agit, en outre, sur la totalité du domaine lagunaire ; il est donc plus simple d'examiner les écoulements en fonction des deux types de vents qui interviennent dans la région, celui de tramontane étant le plus actif.

Les vents renforcent ou entravent les écoulements dus à la marée à la jonction de l'étang et du chenal portuaire. Ainsi, le débit du jusant peut être augmenté d'un facteur 6 par une tramontane de 9 m s<sup>-1</sup>. En flot, il peut être affaibli ou annulé, même pour une tramontane faible. Dans les bassins sud, les effets de la marée peuvent complètement disparaître sous l'effet des vents (fig. 11 et 12) et les écoulements s'orientent alors en surface en fonction de leur direction, quelle que soit l'alternance tidale. La direction des courants au fond est réglée par des effets de compensation lorsque le vent est faible. L'entraînement unidirectionnel se déclenche dès qu'un seuil de vitesse est dépassé. Le phénomène est net pour la tramontane, régime pour lequel on a pu procéder à des observations suffisamment abondantes (fig. 13). Pour des vitesses jusqu'à 9 m s<sup>-1</sup>, les courants de fond se déplacent, dans les bassins sud, en direction opposée à

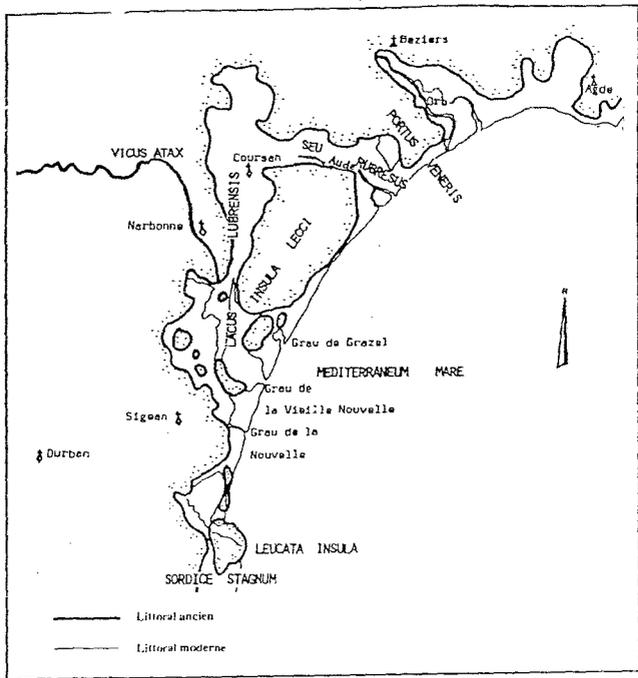


Fig. 3

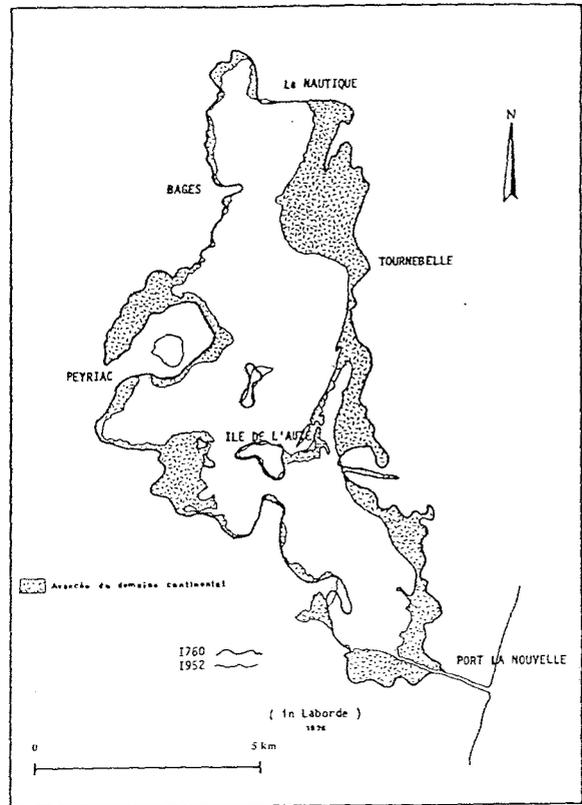


Fig. 4

Fig. 5

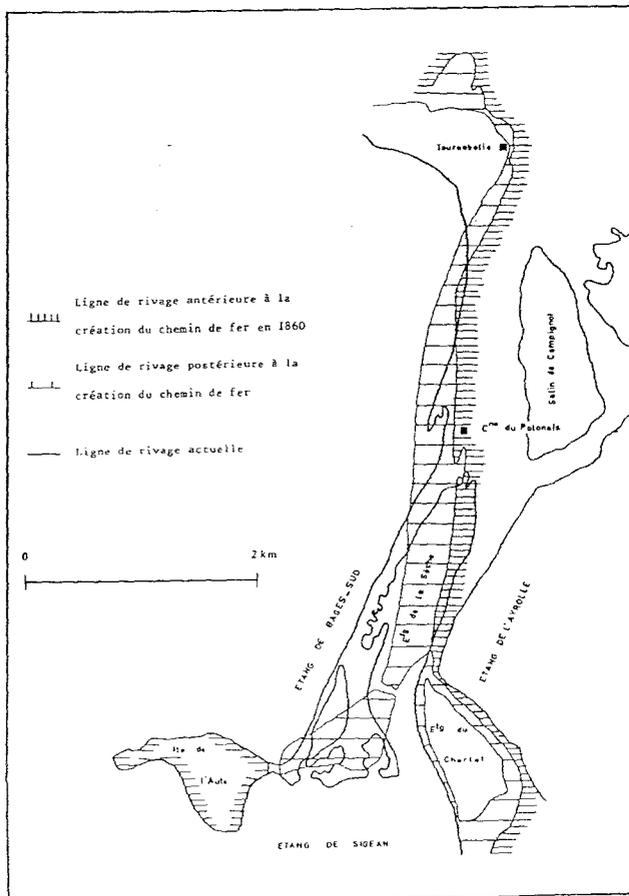
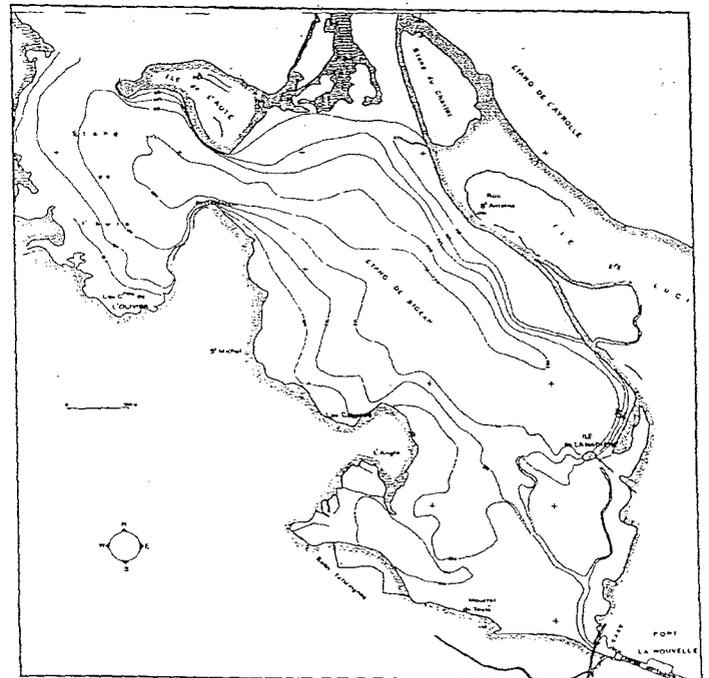


Fig. 6



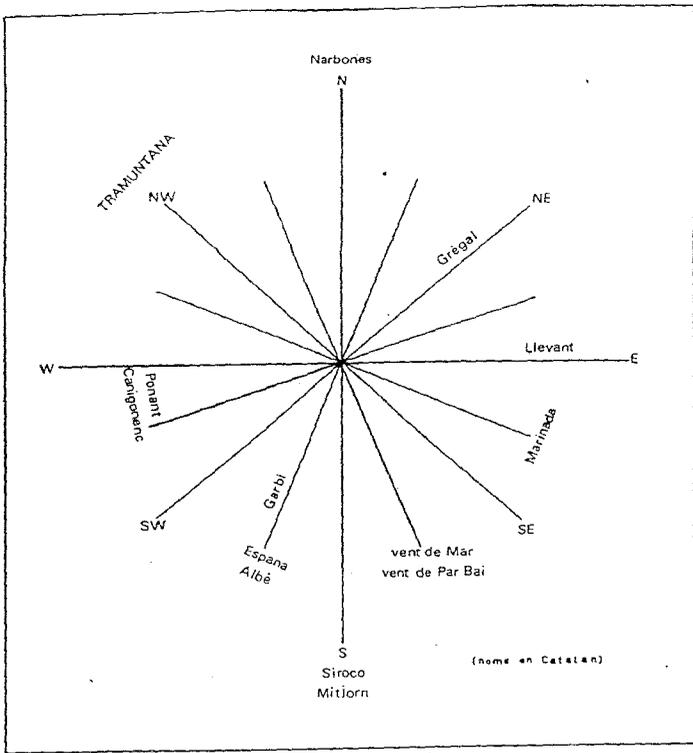


Fig. 7

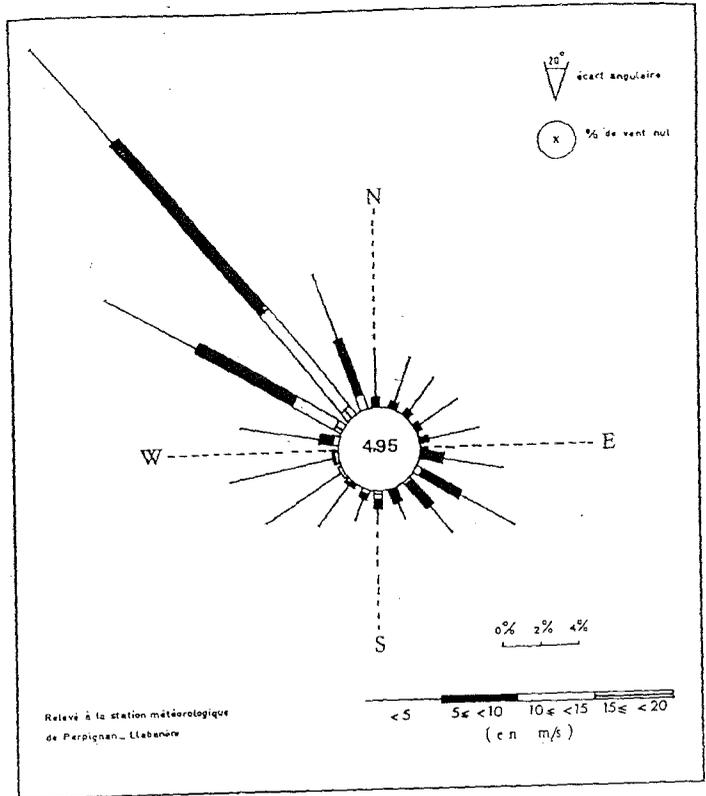


Fig. 8

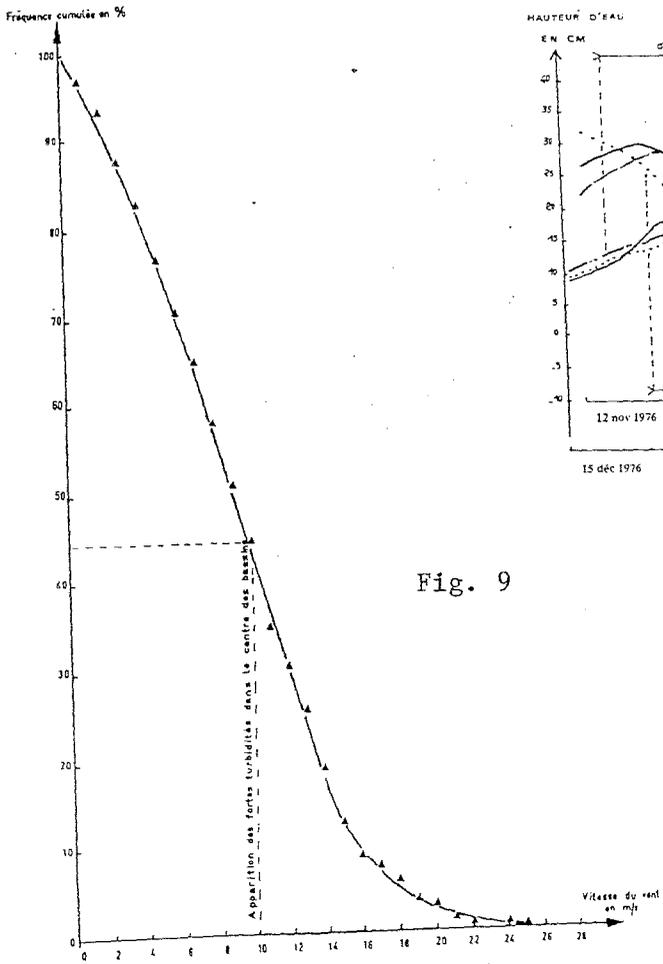


Fig. 9

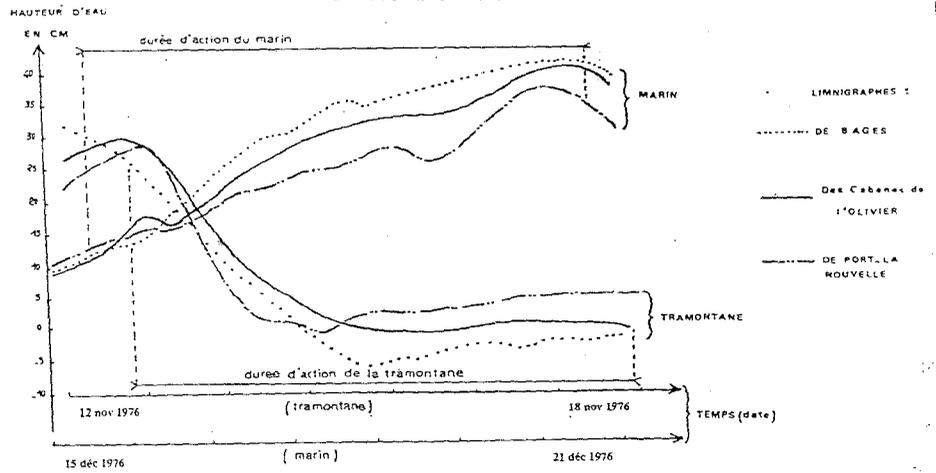


Fig. 10

ceux de surface ; les directions deviennent les mêmes pour une tramontane de  $11 \text{ m s}^{-1}$ .

Par tramontane bien établie ( $> 10 \text{ m s}^{-1}$ ), des vitesses de l'ordre de  $30 \text{ cm s}^{-1}$  peuvent être notées, elles sont cependant plus faibles en général dans l'étang.

Il existe une corrélation entre la vitesse du vent et la vitesse des courants mesurés aussi bien dans le chenal portuaire que dans les bassins lagunaires (fig. 14), même si une forte dispersion la masque en partie. Cette corrélation induit une relation entre les vitesses observées dans le chenal et dans l'étang (fig. 15). Linéaire pour les vitesses inférieures à  $20 \text{ cm s}^{-1}$  dans l'étang, elle ne l'est plus ensuite, sans doute parce que les fortes vitesses correspondent à un régime de tramontane, c'est-à-dire à un plan d'eau déprimé aux Martelières, impliquant des capacités d'évacuation relativement moindres. Lorsque les courants sont unidirectionnels, la valeur de vitesse au fond n'est que 60% de la valeur en surface.

### LE MATÉRIEL EN SUSPENSION

Le vent, en engendrant une agitation de la surface à caractère de clapot et en déterminant les courants, est le facteur principal de la remise en suspension et du transport du matériel. Le phénomène s'installe lors des coups de vent rapides, établis pendant au moins 36 h. Le changement de couleur des eaux est progressif ; il prend naissance dans les parties centrales des bassins lagunaires et s'étend ensuite vers les rives en gagnant d'abord les franges nord-est. Sous régime de vent de terre, une exportation de sédiment en résulte, sans qu'il y ait un apport simultané issu du bassin-versant. L'étang joue donc le rôle d'un bassin de décantation primaire pour les particules issues de l'amont et d'un réservoir à l'égard des zones de sédimentation de l'aval.

Le matériel sédimentaire présent dans le complexe lagunaire résulte d'arrivées fluviales, de venues directes par le ruissellement de rive et de l'existence d'une production organique, notamment coquillière, autochtone. Les apports solides d'origine fluviale ont pour vecteur principal la Berre, rivière qui débouche au SW par un petit delta intralagunaire et représente à elle seule 50% des apports solides. En ordre d'importance, le second affluent est le Rieu mais ses apports sont 10 à 50 fois plus faibles. Pendant les trois crues étudiées au cours de la période de mesures, les débits liquides ont varié dans un rapport de 1 à 4 tandis que les débits solides étaient dans un rapport de 1 à 25. Il existe donc une très forte variabilité affectant l'estimation moyenne des venues alluvionnaires dans la lagune ; la fourchette varie entre 5000 et 15 000 t par an pour les deux collecteurs principaux. L'apport par ruissellement direct a pu être évalué en mai 1977 par une estimation des cubatures de matériel marno-calcaire érodé, au cours d'une même phase de précipitations, sur les versants des reliefs de bordure, dans un certain nombre de secteurs, en extrapolant les valeurs obtenues en fonction du linéaire de ces formations de rive. L'apport, pour une crue, serait supérieur à 10 000 t. Au total, l'apport terrigène a été estimé à 30 ou 40 000 t par an, en supposant que la production coquillière n'ait que peu d'influence sur les volumes effectifs de matériel sédimenté, compte tenu de sa fragilité.

La turbidité des eaux, contrôlée par des séries de prélèvements exécutées dans des conditions variées du régime météorologique, montre, à la fois, cette influence des précipitations et de la remise en suspension par le vent dans l'étang (fig. 16). D'une manière générale, la turbidité décroît du nord vers le sud ; dans les deux bassins de l'Aute et de Sigean, la variation dépasse 30%.

Dans le chenal portuaire, l'arrivée des eaux turbides est plus ou moins différée en fonction des conditions d'écoulement. Le délai peut atteindre 24 h. La turbidité des eaux du chenal rend compte des capacités de remobilisation du matériel sédimentaire par le vent et l'influence de sa vitesse. Le graphique de la figure 17 permet d'observer cette variation : de 5 à  $15 \text{ mg l}^{-1}$  pour des vents faibles jusqu'à 50 à  $300 \text{ mg l}^{-1}$  pour des vents de vitesse supérieure à  $10 \text{ m s}^{-1}$ , valeur critique pour la remise en suspension.

Bien que des vitesses de courant au fond supérieures à  $30 \text{ cm s}^{-1}$  aient pu être mesurées, les valeurs sont le plus souvent sensiblement plus faibles lors des coups de vent de terre. En tenant compte des relations établies au LCHF entre vitesse critique et rigidité initiale pour les sédiments de l'étang (Leclerc *et al.*, 1976 ; Migniot, 1977), les vitesses d'érosion devraient être de l'ordre de  $50$  à  $60 \text{ cm s}^{-1}$ . Les courants réels observés n'ont donc qu'une faible capacité de remise en suspension. De la même façon, en considérant les vitesses orbitales induites sur le fond dans les zones centrales des bassins (profondeur moyenne : 1,5 m), on arrive également à prédire des capacités de remobilisation plus limitées que celles réellement observées. Dans les deux cas, seuls des vents de  $15 \text{ m s}^{-1}$  constitueraient des agents suffisants. On a vu que le phénomène se déclenche avec des vents établis de  $10 \text{ m s}^{-1}$ . On est donc conduit à appliquer à cette valeur trop restrictive une correction de 30 à 40% pour tenir compte de l'influence de la durée d'action du vent.

### CONCLUSION

Le transport du matériel sédimentaire en direction du chenal de Port-La Nouvelle est un phénomène fréquent qui se manifeste dès qu'un régime de vent de terre de vitesse supérieure à  $10 \text{ m s}^{-1}$  s'établit pendant une durée de 36 h au moins. Les concentrations s'échelonnent alors entre 50 et  $300 \text{ mg l}^{-1}$ . Il existe un désaccord entre ces observations et les modèles offerts par diverses relations entre vitesse-critique d'érosion et rigidité initiale des sédiments cohésifs d'une part et caractères des clapots induits par les vents existants d'autre part. Dans l'un et l'autre cas, les conditions indiquées impliquent des vents plus forts ( $15 \text{ m s}^{-1}$ ) que ceux qui provoquent réellement la remise en suspension. On peut donc présumer que la durée d'action du vent joue également un rôle.

Fig. 11

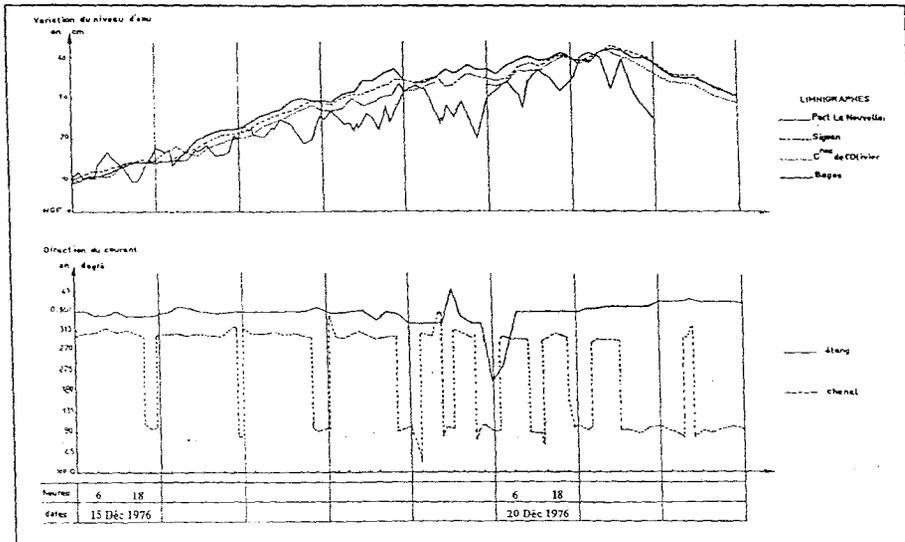
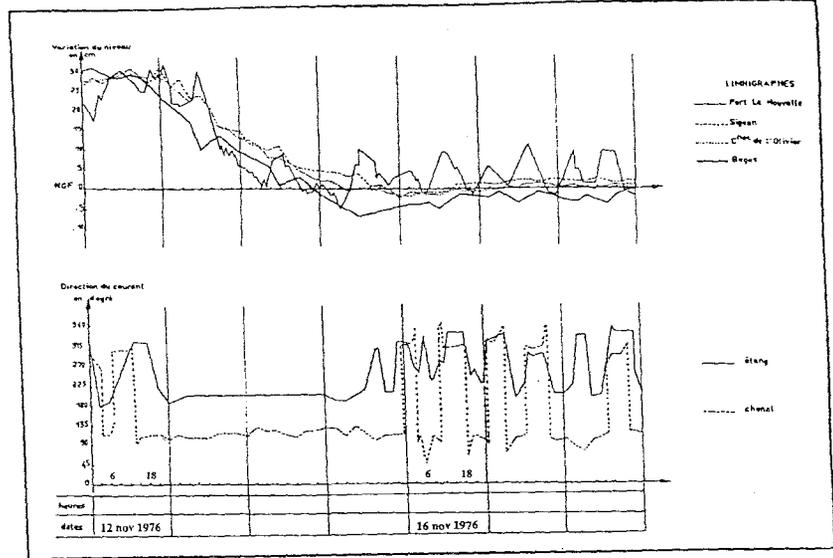
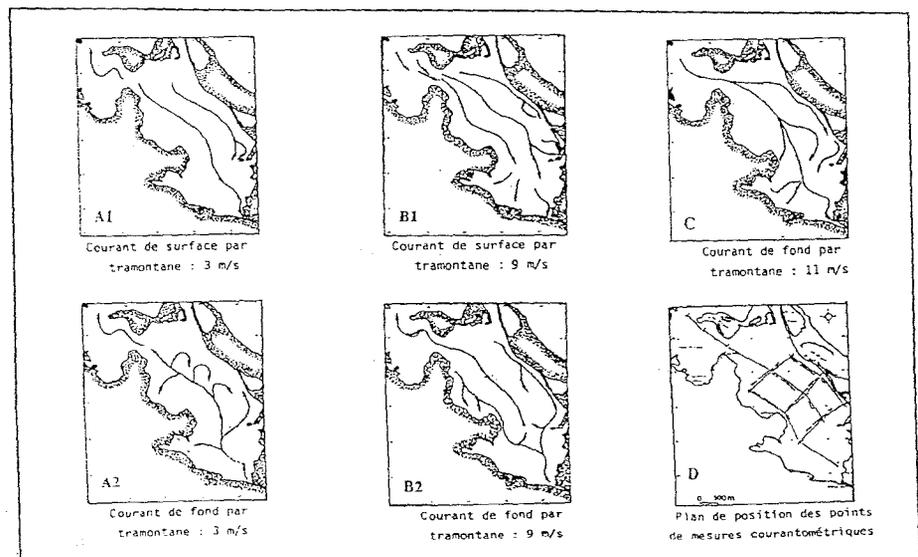


Fig. 12

Fig. 13



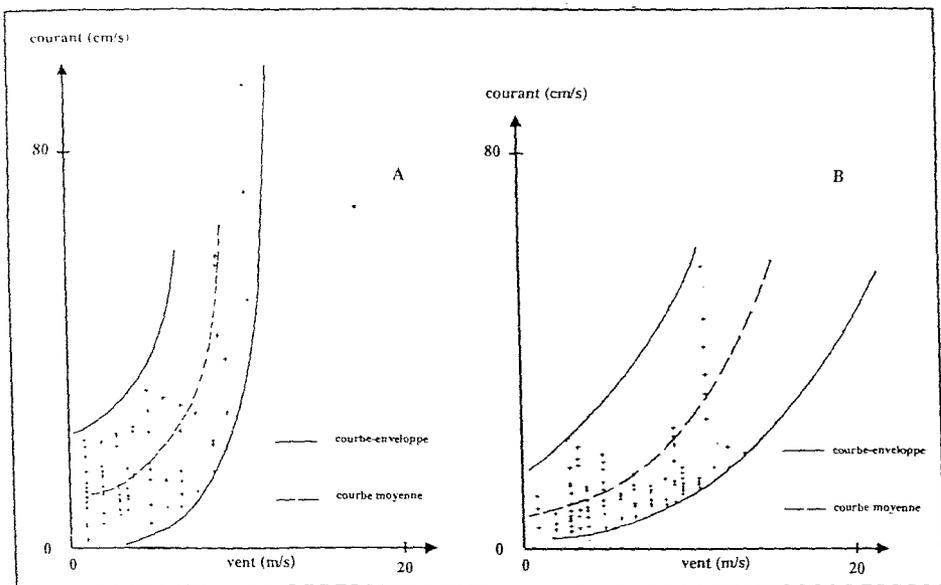


Fig. 14

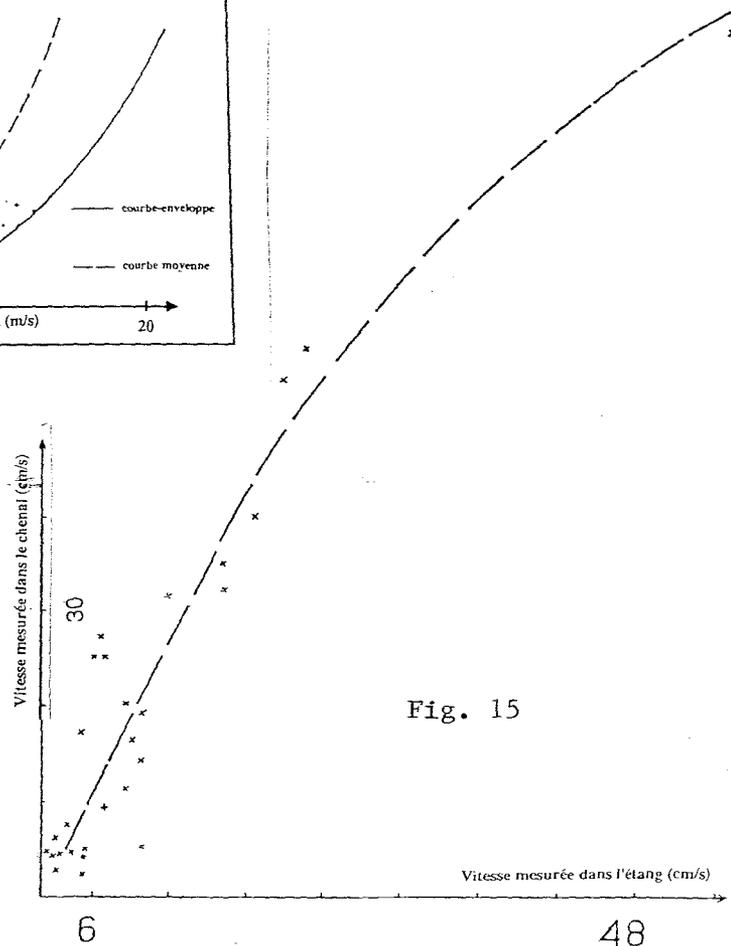


Fig. 15

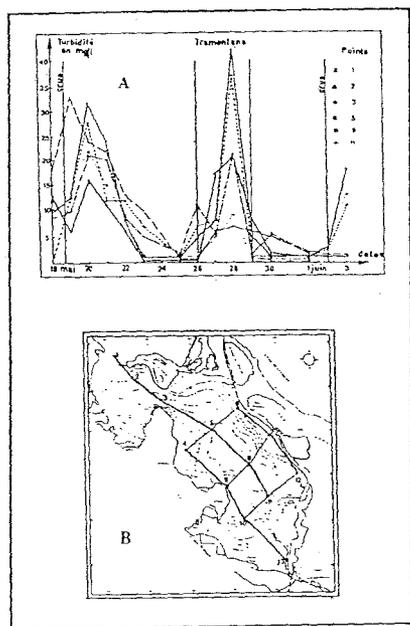


Fig. 16

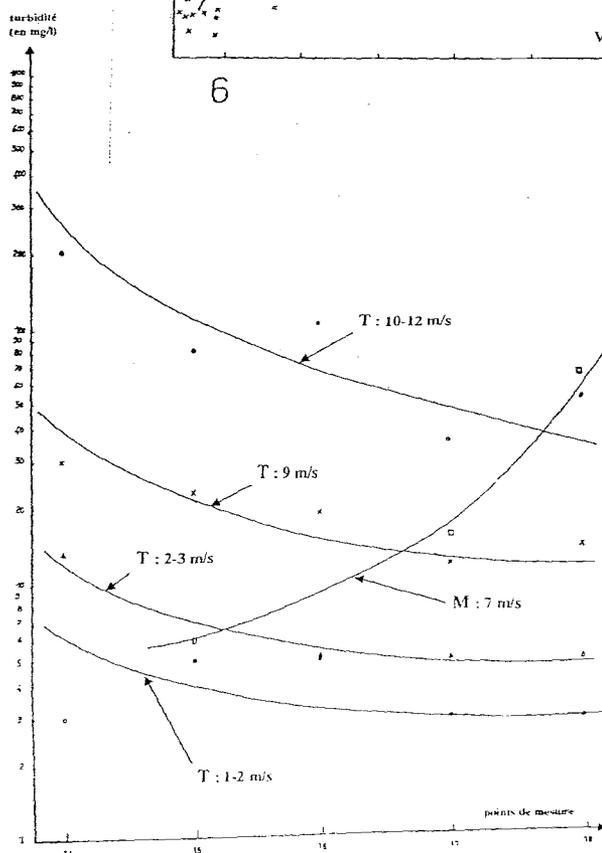


Fig. 17

### Liste des Figures

- Fig. 1 : Localisation de la zone étudiée  
Fig. 2 : Toponymie de l'étang de Bages-Sigean (L : position des limnigraphes)  
Fig. 3 : Evolution de la géographie côtière au cours des temps historiques  
Fig. 4 : Sédimentation récente dans l'étang de Bages-Sigean  
Fig. 5 : Transformations modernes liées aux aménagements et adaptations naturelles postérieures  
Fig. 6 : Bathymétrie du bassin de Sigean-La Nadière  
Fig. 7 : Principaux vents régionaux  
Fig. 8 : Statistique des vents pendant la période 1976-1977  
Fig. 9 : Fréquence des vitesses de vents de terre  
Fig. 10 : Variations du niveau de l'étang sous l'effet de la tramontane  
Fig. 11 : Influence du régime de vent sur la marée (tramontane)  
Fig. 12 : Influence du régime de vent sur la marée (marin)  
Fig. 13 : Direction des courants de vents dans le bassin sud de l'étang  
Fig. 14 : Vitesses de courants dans le chenal-portuaire de Port-La Nouvelle par temps de tramontane (A) et de marin (B)  
Fig. 15 : Comparaison des vitesses de courants dans le chenal portuaire et l'étang  
Fig. 16 : Variation de la turbidité sur un profil longitudinal dans le bassin de Sigean-La Nadière  
Fig. 17 : Variation de la turbidité dans le chenal-portuaire de Port-La Nouvelle en fonction du vent (T : tramontane ; M : marin).

### Références Bibliographiques

- Barusseau J. P., Brissaud L., Drapeau G. et Long B. 1989. Stabilité des profils de plages dans la région Languedoc-Roussillon. Rapp. Contrat IFREMER, non publié, vol. 1 : texte, 66p., vol. 2 : figures et planches.
- Boutière H. 1974. L'étang de Bages-Sigean, modèle de lagune méditerranéenne. *Vie et Milieu*, 24, I-B, 23-57.
- Casanobe G. 1968. Vents del Rossello. *Ann. Climatologiques*, 11-29.
- Cataliotti-Valdina D. 1978. Modalités et bilan de la sédimentation pélagique dans un milieu margino-littoral. Le complexe lagunaire de Bages-Sigean-Port-La Nouvelle. Thèse de Spécialité, Université de Toulouse, 203 p.
- Leclerc J.P., Bellessort B. et Migniot C. 1976. Action de la houle sur les sédiments. Rapport CNEXO-LCHF, 191 p.
- Lentheric C. 1879. Les villes mortes du golfe du Lion. Plon et cie, édit., Paris, 167p.
- Migniot C. 1968. Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques. *La Houille Blanche*, 7, 591-620.

Person R. 1973. Contribution à l'étude thermique du golfe du Lion. Thèse Docteur-Ingénieur, Paris VI, 115 p.

P.N.E.G. 29. 1975. Etude de l'évolution de la côte et de l'avant-côte dans la région de Port-La Nouvelle. Rapport non publié pour l'installation de la centrale nucléaire de Port-La Nouvelle, 103p.

### QUESTION DE MONSIEUR RUEDA

A-t-on les moyens de connaître la profondeur limite, dans un étang, de la remise en suspension des matériaux?

### RÉPONSE

On observe un changement de la couleur des eaux, dans le bassin sud (profondeur maximale : 2,10 m), lorsqu'un régime de vent de terre (tramontane) de vitesse

élevée (> 10 m/s) se maintient pendant au moins 36 h.

Le phénomène s'observe d'abord dans les zones centrales, là où les profondeurs - faibles, comme on l'a vu - sont les plus grandes.

Il s'étend plus tardivement aux rives. Sans répondre à la question, on peut cependant dire que les phénomènes courantologiques surimposés sont dominants.