

QUELQUES EFFETS A LONG TERME DES AMENAGEMENTS
SUR LA SEDIMENTATION DANS L'ESTUAIRE DE LA
GIRONDE

par

G. P. ALLEN ⁽¹⁾, P. CASTAING ⁽²⁾, J. M. FROIDEFOND ⁽²⁾, C. MIGNIOT ⁽³⁾

RESUME.

— Les études sédimentologiques menées depuis une vingtaine d'années dans l'estuaire de la Gironde ont permis de préciser l'évolution sédimentaire de cet estuaire macrotidal depuis l'Holocène. Par ailleurs, une analyse détaillée, toujours en cours, des cartes bathymétriques de l'estuaire, levées depuis le 18^e siècle, permet de cerner l'impact à long terme des aménagements sur les processus sédimentaires. —

L'estuaire est caractérisé par d'importants apports fluviaux : un débit liquide annuel moyen d'environ $700 \text{ à } 800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, et un apport sédimentaire de 2 à 4 millions de tonnes par an (suspension $\simeq 75 \%$). Plusieurs centaines de milliers de m^3 de sédiments sont aussi fournis à partir de l'embouchure. Les mécanismes sédimentaires résultent de l'interaction de la stratification de densité (la circulation "estuarienne") et de la marée, avec des cycles de sédimentation et d'érosion se renouvelant en fonction des cycles de marées.

Depuis environ 5000 ans, l'estuaire se comble progressivement. Ce comblement, en grande partie dû à l'accumulation de sédiments fluviaux, procède de l'amont vers l'aval, en provoquant un mouvement de progradation à l'intérieur de l'estuaire. Actuellement, le comblement subtidal se poursuit à un taux annuel variant entre 1 et 3 millions de m^3 . L'analyse de la répartition longitudinale des taux et volumes moyens de cette sédimentation pour les périodes 1825-1874, et 1925-1973, périodes caractérisées respectivement par peu d'aménagements et des aménagements importants, montre une évolution significative de la répartition de la sédimentation. Avant les aménagements, malgré une tendance générale à la progradation vers l'aval, la sédimentation s'échelonnait tout au long de l'estuaire. A l'heure actuelle, la sédimentation est concentrée dans la partie aval. Ceci reflète l'action hydraulique des aménagements qui ont favorisé la migration des zones de dépôts vers l'aval. Ce mouvement vers l'aval, ainsi que l'accroissement notable des dragages depuis 20 ans, amplifient probablement le transit latéral des suspensions dans le bas estuaire, en maintenant un plus grand volume de sédiments en suspension ; et provoque vraisemblablement, une certaine augmentation de l'apport de sédiments en suspension au plateau continental.

(1) Département Environnement Littoral et Gestion du Milieu Marin - C. O. B. BREST

(2) Laboratoire de Géologie et Océanographie - Université de Bordeaux I - 33405 Talence - Cédex

(3) Laboratoire Central d'Hydraulique de France - 94700 MAISONS ALFORT.

SOME LONG TERM EFFECTS OF ESTUARY MODIFICATION
ON SEDIMENTATION IN THE GIRONDE ESTUARY

ABSTRACT

-During the past 20 years, numerous sedimentological studies in the Gironde have outlined the sedimentological evolution of this macrotidal coastal plain estuary. An ongoing study of bathymetric charts of the estuary, dating back to the 18th century have shown the main long term impacts of man made modifications on sedimentation patterns.-

The estuary is characterized by large fluvial inflow, with a mean annual liquid discharge of 700 and 800 m³ sec. and sediment discharge varying between 2 and 4 million tons per year (suspension load \approx 75 %). Marine sediments from the inlet also accumulate in the estuary (several hundred thousand M³ year⁻¹). Sedimentological processes result from the interaction of density circulation and tides, with repetitive cycles of sedimentation and erosion linked to spring-neap tide cycles.

Since about 5 000 BP, the estuary has been filling up by sedimentation. This filling is due mainly to fluvial sediments, which accumulate in a generally seaward progradational movement within the estuary. At the present time, subtidal sedimentation is occurring at an annual rate varying between 1 and 3 million M³.

A study of the longitudinal distribution of sedimentation rates and volume for the periods 1825 to 1874, and 1925 to 1973 characteristic respectively of a relatively natural system, and a man modified system, shows significant differences in sedimentation patterns. Before human modification, sedimentation occurred all along length of the estuary. At the present time, sedimentation is concentrated in the downstream of the estuary. This shift was caused by channel modifications and training works which have increased flushing in the upper estuary. This downstream movement of the sedimentation zone, accompanied by continuous large scale dredging since 20 years probably enhances the lateral flux of suspended sediment in the lower estuary, maintains larger volumes of sediment in suspension, and probably increases seaward escape of suspended sediment from the estuary.

INTRODUCTION

L'estuaire de la Gironde (Fig. 1), un des estuaires les plus vastes d'Europe, constitue un excellent "laboratoire naturel" pour étudier à la fois les processus sédimentaires naturels et l'impact des activités et aménagements sur ces derniers. En effet, cet estuaire est le siège de phénomènes sédimentologiques intenses, liés à l'importance des apports sédimentaires d'origine fluviale (2 à 4 millions de tonnes/an et au marnage (3 à 6 mètres à Bordeaux). Depuis la dernière moitié du 19^e siècle, des grands travaux d'aménagements ont été effectués sur l'estuaire afin de maintenir et d'approfondir le chenal d'accès au port de Bordeaux, source d'activités importantes pour toute la région. (FERAL, VILLEROT, 1973).

Depuis quelques années, de multiples études tant en France (LEVEQUE, 1936 ; MIGNIOT, 1971 ; OTTMAN, 1972) qu'à l'Etranger (NICHOLS, 1972), ont analysé l'impact des aménagements estuariens sur les processus hydrodynamiques et sédimentaires. Ainsi que l'avait déjà prédit PRITCHARD en 1955, elles ont montré que l'approfondissement des chenaux de navigation a pour conséquence une plus grande pénétration de l'eau salée. Cette plus grande intrusion saline se reflète d'une part dans la migration vers l'amont de la limite des eaux douces et saumâtres et, d'autre part, dans une stratification verticale de la salinité plus marquée. Ce dernier phénomène peut provoquer l'augmentation du dépôt des sédiments en suspension, en renforçant la circulation résiduelle vers l'amont au fond. Ainsi, la remontée de l'intrusion saline peut-elle induire la migration vers l'amont de la zone d'accumulation des suspensions (le "bouchon vaseux").

Hormis ces études d'incidence à court terme (la décennie environ), peu de travaux se sont attachés à traiter la question plus fondamentale des effets à long terme des aménagements humains sur la sédimentologie estuarienne et sur les zones côtières avoisinant les estuaires.

Ceux de la côte atlantique française sont caractérisés par une dynamique intense et les phénomènes géologiques sédimentaires s'y déroulent très rapidement (échelle de quelques siècles). L'étude de levés bathymétriques anciens, avant les travaux d'aménagement et leur comparaison à ceux suivant les travaux, peuvent permettre de saisir l'impact à long terme de l'homme sur le milieu sédimentaire. On appréhendera ainsi, notamment, les modifications apportées par l'homme au "rôle naturel" de l'estuaire, c'est-à-dire au piègeage et à l'évacuation en mer des sédiments fluviaux.

Le travail présenté ici a consisté à comparer les nombreux levés bathymétriques du Port Autonome de Bordeaux disponibles depuis le 18^e siècle. Dans un premier temps, on exposera les principaux mécanismes régissant la sédimentation dans l'estuaire ainsi que les tendances sédimentaires naturelles, puis ensuite le résultat de la comparaison des levés bathymétriques.

I - MECANISMES SEDIMENTAIRES ET TENDANCES NATURELLES.

Comme dans toute embouchure fluviale, les principaux phénomènes responsables du transport et de l'accumulation des sédiments sont les courants de marée et la circulation "estuarienne", engendrée par les gradients de densité provenant du mélange des eaux douces et marines (PRITCHARD, 1955). Plusieurs études, notamment celles de MIGNIOT (1971), BONNEFILLE (1971), ALLEN (1972) et ALLEN et al. (1976) ont permis de comprendre les grandes lignes de la sédimentation dans l'estuaire et les tendances naturelles du système girondin.

Les apports fluviaux ont été estimés à environ 2 à 4 millions de tonnes par an ; soit une moyenne de $2,5 \times 10^6$ tonnes de vases en suspension (MIGNIOT, 1971) et $0,8 \times 10^6$ tonnes de sables charriées sur le fond (CREMER, 1975). La stratification saline engendre un mouvement résiduel des eaux du fond vers l'amont, ce qui provoque la création d'un "point nodal" à la limite amont de l'intrusion saline, où ces eaux convergent avec l'eau fluviale qui chemine vers l'aval. Ce phénomène renforce l'effet de l'asymétrie de l'onde de marée dans l'estuaire et amène une prédominance en flot des forces tractrices sur le fond. Ces deux phénomènes (densité et marées) se conjuguent pour former le bouchon vaseux (Fig. 2), découvert en Gironde en 1933 par GLANGEAUD (1938). Ce bouchon vaseux est un vaste "réservoir" de vases en suspension piégées à la limite amont de l'intrusion saline. Il représente en outre le principal phénomène contrôlant la localisation et l'ampleur de la sédimentation des vases fluviales dans l'estuaire. Le bouchon vaseux et les sédiments qu'il renferme subissent des fluctuations selon 3 cycles temporels : 1) un cycle d'érosion et de sédimentation au cours de la marée semi-diurne, avec prédominance de l'érosion au flot et de la sédimentation à l'étale de basse mer. 2) un cycle similaire à plus grande échelle, lié au cycle lunaire des marées, avec une sédimentation importante en morte eau et une érosion partielle en vive eau et 3) des migrations amont-aval ou aval-amont dans l'estuaire en liaison avec les fluctuations saisonnières du débit fluvial.

Le bouchon vaseux est localisé en amont, dans la région de Bordeaux, en période d'étiage (mai-octobre) et à 70 km en aval (St Christoly) en période de crues

(novembre - avril). Ces cycles contrôlent l'essentiel de la sédimentation des vases dans l'estuaire, sédimentation qui s'effectue préférentiellement en période de marées de mortes eaux : à l'amont en étiage, à l'aval en crue.

A l'heure actuelle, la zone privilégiée pour l'accumulation des vases en suspension est surtout la partie aval de l'estuaire, puisque comme il sera expliqué plus loin, les travaux de dragages à l'amont ont eu pour effet d'y empêcher l'accumulation des vases fluviales. Une étude récente (SAUZAY et al., 1977) par traçage radioactif a montré l'existence dans l'estuaire aval d'un transit latéral des sédiments en suspension de la rive gauche vers la rive droite. Ce transit, s'effectuant sur une grande échelle, provoque un flux résiduel de sédiments vers la rive droite de l'estuaire (Fig. 3). Le suivi de la dispersion des suspensions en mer par flotteurs dérivants et télédétection (CASTAING et al., 1979) indique qu'une masse non négligeable de suspensions fluviales est évacuée en mer en période de vives eaux et en crue. Ces suspensions cheminent vers l'Ouest et le Nord en se dispersant vers le large, où elles alimentent une vaseière située à l'Ouest de l'embouchure par des fonds de 50 à 70 mètres.

Les sables fluviaux s'accumulent dans les bancs longitudinaux caractéristiques des estuaires à marées qui s'échelonnent dans l'estuaire amont et moyen (Fig. 1). L'accumulation de ces sables provoque une progradation des bancs vers l'aval, comme l'a déjà signalé MIGNIOT (1971), mais sans atteindre (pour l'instant) l'embouchure, car les sables d'origine fluviale restent presque totalement piégés dans le bas estuaire (CREMER, 1975). Le piégeage est induit par la prédominance du flot au fond dans le bas estuaire ; cet effet provoque une entrée de sable marin, provenant de l'embouchure et de l'érosion des côtes bordant l'estuaire. Le sable marin tapisse les fonds de l'estuaire vers l'amont jusqu'à une quinzaine de kilomètres de l'embouchure où il existe un point de convergence pour l'accumulation des sables marins et fluviaux.

La tendance naturelle de l'évolution sédimentaire de l'estuaire consiste en un lent comblement, amorcé depuis la fin de la phase rapide de la transgression holocène, il y a 5000 ans (ALLEN et al., 1970 ; FERAL, 1970). A cette époque, l'estuaire formait un plan d'eau plus ouvert qu'actuellement et qui s'est depuis colmaté par accumulation de sédiments en grande partie vaseux dans les chenaux et dans les vaseières intertidales. Ce comblement s'est effectué de l'amont vers l'aval en dessinant un mouvement de progradation. Ce mouvement est illustré par l'âge de plus en plus jeune vers l'aval des files éche-

lonnées dans le haut et moyen estuaire (Fig. 4). Ces fles résultent du colmatage par les vases des bancs formés de sables fluviatiles. Ce phénomène de progradation représente un véritable "delta interne" qui progresse vers l'aval au cours des temps. Le colmatage des vasières bordant l'estuaire témoigne lui aussi de ce mouvement vers l'aval. Ainsi, les marais de St Ciers, dans le moyen estuaire résultent d'un engraissement datant du Moyen Age, tandis que les marais et vasières du bas estuaire (Le Verdon et Mortagne) ne datent que du 17^e siècle ou sont encore plus récents.

La Gironde constitue donc un système naturel provoquant un piégeage efficace des sédiments marins et fluviatiles. Le colmatage progressif dans le temps de l'amont vers l'aval laisse supposer qu'un auto-équilibre tend à s'établir. Néanmoins, le devenir géologique reste incertain : l'estuaire a-t-il atteint (ou atteindra-t-il) une configuration d'équilibre ; ou bien au contraire les travaux d'aménagement et d'approfondissement des chenaux amèneront-ils une modification des phénomènes naturels ?

Des études faites par le Port Autonome de Bordeaux et basées sur l'analyse de cartes bathymétriques levées depuis 1900, indiquent que l'estuaire n'est pas en équilibre, car un volume de sédiments équivalent à plusieurs millions de m³ s'y accumule chaque année.

II - EVOLUTION HISTORIQUE DES AMENAGEMENTS ET LEURS IMPACTS.

L'aménagement de l'estuaire a commencé vers 1850. Avant cette date, la Gironde était dans un état "sauvage" et les mécanismes naturels avaient libre cours. Les travaux d'aménagement ont tout d'abord débuté dans la partie amont de l'estuaire (MIGNIOT, 1971) et ont visé à l'approfondissement et à la régularisation du chenal maritime en amont du Bec d'Ambès. Ces travaux se sont poursuivis pendant la deuxième moitié du 19^e siècle, d'abord de façon empirique et se sont appuyés ensuite sur l'idée d'imposer à l'estuaire une loi de succession des largeurs du chenal (loi de Mengin énoncée en 1894) permettant d'augmenter la puissance hydraulique de la marée, ce qui entretient les profondeurs.

Dans cette perspective, plusieurs types d'aménagements ont été réalisés :

- 1) Concentration de la puissance hydraulique dans le chenal par raccordement d'fles au rivage ou entre elles par des barrages. Entre 1854 et 1859, l'île de Grattequina en aval de Bordeaux a été rattachée au rivage et les fles Cazeau, Verte et du Nord reliées entre elles.

2) Canalisation des courants de marée au moyen d'épis et de digues. L'exemple le plus remarquable concerne la digue de Valeyrac, longue d'une dizaine de kilomètres dans l'estuaire moyen, construite entre 1925 et 1928 (Fig. 5).

3) Dragages du chenal de navigation. Ces dragages ont intéressé de petites quantités au début du siècle et se sont considérablement amplifiés à partir des années 50. Entre 1939 et 1969 (MIGNIOT, 1971) près de $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sédiments mesurés en puits de dragues (surtout vaseux) ont été dragués dans le chenal de navigation entre Bordeaux et Le Verdon et près de $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ dans le chenal de l'embouchure. Sur cette masse considérable de sédiment, seulement 8,5 % environ ont été mis en remblai et ainsi soustraits à la masse des sédiments estuariens, ce qui ne représente que 2 à 4 ans d'apports fluviaux. A l'heure actuelle, la décision de maintenir le chenal de navigation à une profondeur minimale de 7 mètres (profondeur toujours exprimée par rapport au zéro hydrographique du lieu) nécessite un dragage annuel de $10 \text{ à } 12 \times 10^6 \text{ m}^3$ par an (mesurés en puits de dragues).

Une première conclusion peut être dégagée de ces chiffres à savoir qu'outre les modifications morphologiques (géométrie et profondeur) de l'estuaire, l'action de l'homme, par le biais des dragages provoque le maintien en suspension dans l'estuaire d'une masse non négligeable de sédiments qui autrement s'accumulerait dans le chenal de navigation.

Les divers types d'aménagements énumérés ci-dessus ont généralement eu un impact sédimentologique rapide et localisé. Ainsi, l'implantation d'un barrage submersible à l'amont du bras de Macau, destiné à augmenter l'écoulement du jusant dans le chenal de navigation, a été suivie d'une sédimentation dans le bras.

La digue de Valeyrac constitue un autre exemple de l'impact à court terme des aménagements (Fig. 6). Dans les vingt années qui ont suivi la construction de cette digue, une rapide sédimentation vaseuse s'est effectuée près de la rive droite de l'estuaire. Cette sédimentation est probablement liée au piégeage par la digue des sédiments transitant latéralement vers la rive gauche et à la réduction de la puissance des courants de jusant le long de cette rive. Dans les vingt années suivant cette période (1953 à 1968) (Fig. 7), la sédimentation le long de la rive droite a diminué et on a constaté une reprise de la sédimentation dans le chenal longeant la rive gauche. Ce basculement latéral de la sédimentation dans cette partie de l'estuaire est probablement à mettre en liaison avec la rupture d'un banc sableux longitudinal, situé au milieu de l'estuaire, en amont de la digue de Valeyrac.

Cette rupture, comme l'ont signalé MIGNIOT (1971), ALLEN (1972) et CREMER (1975), a provoqué une perte de la puissance hydraulique du jusant dans le chenal de navigation amenant une forte sédimentation en aval de la brèche, près de la rive gauche. Cette forte sédimentation a été une des causes de l'intensification notable des dragages dans cette zone de l'estuaire à partir des années 60. Depuis ce basculement latéral la sédimentation le long de la rive droite est restée faible.

Cette digue a enfin eu pour effet de concentrer les courants de jusant à son extrémité aval, ce qui a accéléré l'érosion d'un important banc sableux (Banc de Goulée) sur lequel s'appuyait l'extrémité aval de la digue (Fig. 8). Relativement stable de 1910 à 1920, il s'allonge rapidement vers l'aval entre 1930 et 1940, diminue de hauteur en progressant dans deux directions, une oblique à la digue, vers la rive droite et l'autre dans le prolongement de la digue. En 1973, ce banc a pratiquement disparu. Cette érosion et le transport vers l'aval d'une quantité importante de matériaux ont provoqué une sédimentation sableuse dans l'estuaire aval.

III - EVOLUTION A LONG TERME.

Pour déterminer l'impact global et à long terme de l'action humaine sur l'estuaire, on a effectué une étude comparative des cartes bathymétriques échelonnées avant et après le début des aménagements de l'estuaire. Les plus anciennes cartes bathymétriques relativement précises de l'estuaire datent de 1825, ce qui permet un recul de 25 ans par rapport au début des aménagements (mi - 19^e siècle).

La première carte disponible pour l'ensemble de l'estuaire date de 1874, soit une vingtaine d'années après les premiers aménagements (de faible ampleur). On peut donc considérer que la période de 1825 - 1874 est représentative (surtout pour l'estuaire moyen et aval) des processus naturels. A partir de 1925, l'aménagement du bas estuaire (Digue de Valeyrac) s'est intensifié et de ce fait, la période 1925 - 1973 (48 ans) est représentative de l'estuaire "aménagé".

Tous les 5 km, le long de l'estuaire de Bordeaux à l'embouchure, les profils sous le zéro hydrographique ont été comparés et les surfaces d'érosion ou de sédimentation calculées (FROIDEFOND et CASTAING, 1979). A partir de ces surfaces, la répartition des zones de sédimentation a pu être mise en évidence le long de l'estuaire (Fig. 9 et 10).

Pendant la période 1825 - 1874, la sédimentation s'est effectuée à peu près régulièrement tout le long de l'estuaire. Le taux maximal d'accumulation pendant cette période (5 cm/an) se localisait dans la région de confluence de la Garonne et la Dordogne, vraisemblablement à cause de l'existence de plusieurs chenaux où l'énergie hydraulique se dissipait. Dans le reste de l'estuaire, la sédimentation s'effectuait à un taux compris entre 0 et 1 cm/an. La zone aval, tapissée de sable, se sédimentait à un taux nettement plus élevé que l'estuaire "vaseux" en amont. Cette sédimentation résultait de l'apport conjugué de sables d'origine fluviale et marine.

La période 1925 - 1973 se caractérise par une concentration de la sédimentation dans la partie aval de l'estuaire. En effet, toute la zone en amont du PK 45 est en érosion, tandis qu'en aval, les taux de sédimentation vont croissants (Fig. 9). Le taux maximal est atteint dans la zone sableuse du bas estuaire, avec une moyenne supérieure à 2 cm/an.

Cette différence de répartition de la sédimentation des apports fluviaux dans l'estuaire est liée à l'effet de chasse hydraulique des aménagements, ainsi qu'aux dragages qui ont empêché la sédimentation à l'amont et amené une concentration des sédiments à l'aval. Les ouvrages ont donc accéléré le processus de progradation naturelle (Fig. 4) qui tend à faire migrer lentement vers l'aval la zone de sédimentation fluviale dans l'estuaire.

L'analyse des superficies d'érosion et de sédimentation sur les profils étudiés a permis un calcul (très approximatif) des volumes de sédimentation dans l'estuaire. Ces évaluations (Fig. 10) indiquent une légère augmentation du volume sédimenté dans l'estuaire pendant la période actuelle par rapport à la période 1825 - 1874.

C O N C L U S I O N .

L'étude détaillée de l'impact des aménagements sur la sédimentation à long terme dans l'estuaire est actuellement en cours, et les résultats présentés ici sont relativement incomplets. Néanmoins les conclusions suivantes peuvent d'ores et déjà être dégagées :

- Le principal effet à long terme des aménagements, outre le maintien de profondeurs acceptables dans les chenaux de navigation, a été de concentrer la sédimentation fluviale dans le bas estuaire ; ceci étant en opposition avec les processus de sédimentation dans l'estuaire "sauvage", ou malgré une tendance à la progradation vers l'aval, les sédiments fluviaux se répartissaient régulièrement tout le long de l'estuaire.

- L'estuaire continue à être un piège à sédiments fluviaux puisqu'il y retient chaque année plusieurs millions de m³. Il semble qu'à l'heure actuelle cette sédimentation soit supérieure à celle s'effectuant pendant la période 1825-1874. Sans qu'il soit possible aujourd'hui d'expliquer cette évolution, plusieurs hypothèses se présentent :

. basculement d'une sédimentation sub et intertidale à une sédimentation à prédominance subtidale ; ceci lorsque s'est effectué le comblement des vasières intertidales des deux rives.

. augmentation du volume des apports fluviaux en suspension par suite des aménagements du bassin versant, et ceci malgré le barrage de Golfech.

. augmentation de l'intensité du piégeage des sédiments, éventuellement liée à l'augmentation de la stratification saline, ou de l'action du flot par augmentation des profondeurs dans le chenal de navigation.

- L'impact d'ouvrages longitudinaux se fait sentir par suite de la concentration des courants le long d'une rive et l'incidence sur le mouvement latéral de l'eau et des sédiments en suspension. Un piégeage important de sédiments fins peut en résulter.

- L'entretien d'un chenal profond par dragages continus provoque par ailleurs le maintien d'une quantité importante de sédiments en suspension et en mouvement dans l'estuaire. Ceci peut renforcer le transit latéral des suspensions dans le bas estuaire et l'évacuation des suspensions dans l'océan. Ce phénomène reste à préciser, car il est en contradiction avec l'augmentation récente des volumes sédimentés dans l'estuaire.

BIBLIOGRAPHIE

ALLEN G.P., 1972

Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde.

Thèse d'Etat Sciences, Univ. Bordeaux I, 314 p.

ALLEN G.P., CASTAING P., FERAL A., KLINGEBIEL A., VIGNEAUX M., 1970

Contribution à l'étude des faciès de comblement et interprétation paléogéographique de l'évolution des milieux sédimentaires récents et actuels de l'estuaire de la Gironde.

Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine, n° 8, p. 99-155.

ALLEN G.P., SAUZAY G., CASTAING P., JOUANNEAU J.M., 1976

Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France.

In : Estuarine Processes, Academic Press, N.Y. Martin Wiley ed., vol. II, p. 63-81.

BONNEFILLE R., 1971

Remarques sur les écoulements moyens à l'aval de la Gironde.

Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine, n° 11, p. 361-364.

CASTAING P., ALLEN G.P., HOUDART M., MOIGN Y., 1979

Etude par télédétection de la dispersion en mer des eaux estuariennes issues de la Gironde et du Pertuis de Maumusson.

Océanologica Acta, vol. II, n° 4.

CREMER M., 1975

Etude dynamique de l'évolution des bancs de sable dans l'estuaire de la Gironde.

Thèse 3e cycle, Univ. Bordeaux I, 109 p.

FERAL A., 1970

Interprétation sédimentologique et paléogéographique des formations alluviales fan-driennes de l'estuaire de la Gironde et de ses dépendances marines.

Thèse 3e cycle, Univ. Bordeaux I, 158 p.

FERAL A., VILLEROT M., 1973

La géologie et les aménagements portuaires.

Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine, n° 14, p. 57-73.

FROIDEFOND J.M., CASTAING P., 1979

Analyse de l'évolution morphologique et estimation du volume des apports sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde de 1825 à 1973.

Contrat C.N.E.X.O.-I.G.B.A. n° 78/5613. Publ. Inst. Géol. Bassin Aquitaine, Mars 1979, 1 t. texte 59 p., 1 t. pl.

GLANGEAUD L., 1938

Transport et sédimentation dans l'estuaire et à l'embouchure de la Gironde. Caractères pétrographiques des formations fluviales, saumâtres, littorales et néritiques.

Bull. Soc. Géol. France, (5), VIII, p. 599-630.

LEVEQUE F., 1936

Bordeaux et l'estuaire girondin.

Bordeaux, Imp. DELMAS, 167 p.

MIGNIOT C., 1971

L'évolution de la Gironde au cours des temps.

Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine, n° 11/2, p. 221-279.

NICHOLS M., 1972

Effect of increasing depth on salinity in the James River Estuary.

In : B.W. Nelson, Environmental framework of coastal plain estuary. Geol Soc. Am. Memor., 133 : 571-589.

OTTOMAN F., LAHUEC G., 1972

Les effets des dragages sur l'environnement marin.

Congrès de l'Ass. Fr. Avanc. des Sc., (A.F.A.S.), Orléans, 9 p.

PRITCHARD D.W., 1955

Estuarine circulation patterns.

Proc. Am. Soc. Civ. Engin., N.Y., vol. 81, p. 1-11.

SAUZAY G., JEANNEAU B., GOURLEZ P., ALLEN G.P., CASTAING P., JOUANNEAU J.M.,

1977

Tracer study of suspended sediment in a coastal plain estuary.

Public. XVIIth I.A.H.R. Congress, Baden-Baden, 15-20 Août 1977, Subject B.b.,
p. 251-258.

MORPHOLOGIE DES FONDS ACTUELS DE L'ESTUAIRE

Fig 1

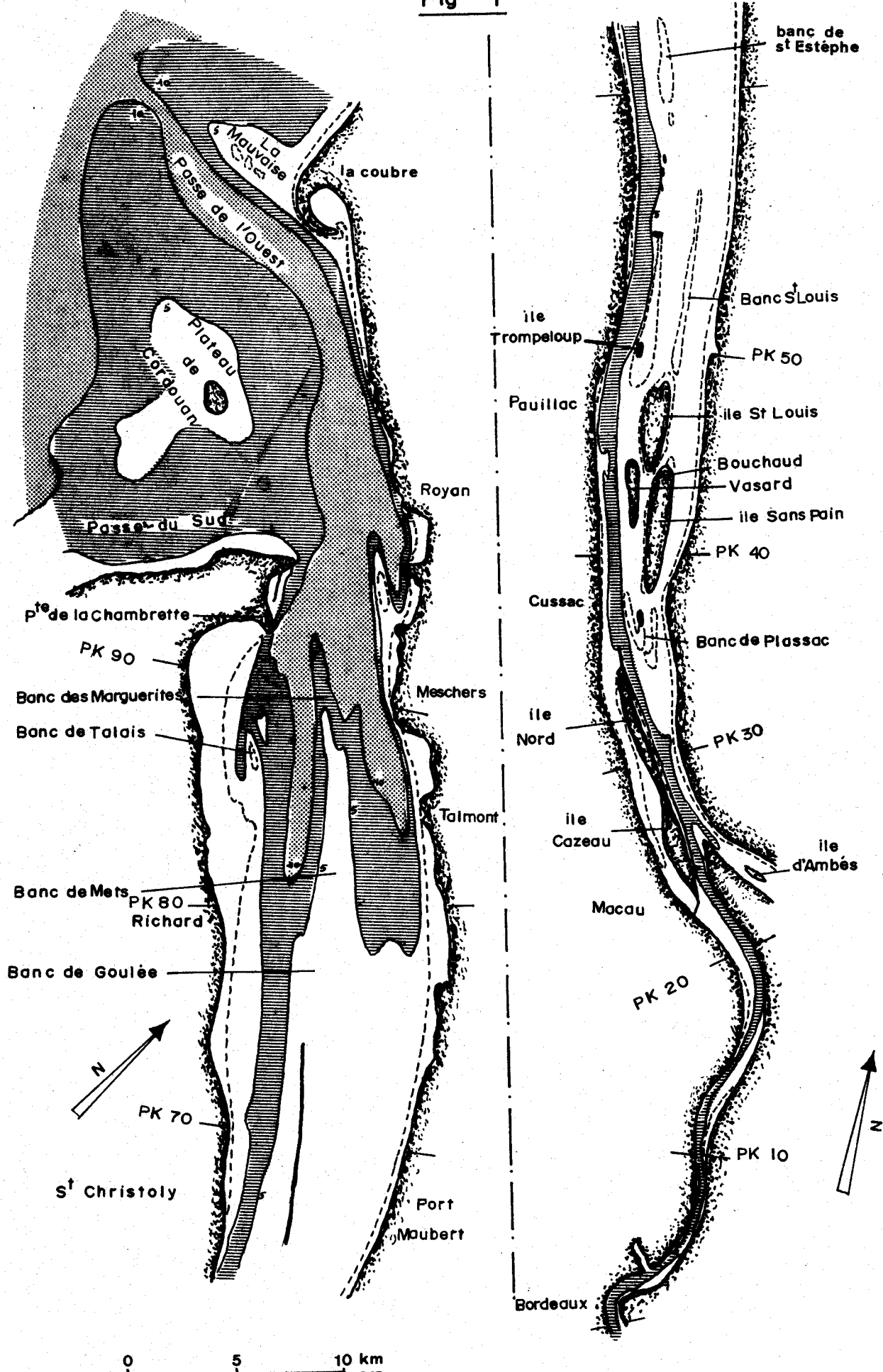


Fig: 2
SCHEMA SYNTHETIQUE DE L'EVOLUTION SAISONNIERE
DU BOUCHON VASEUX ($C_s \geq 1g/l$), DE L'INTRUSION SALINE,
ET DE LA CIRCULATION RESIDUELLE DANS LE CHENAL DE NAVIGATION.

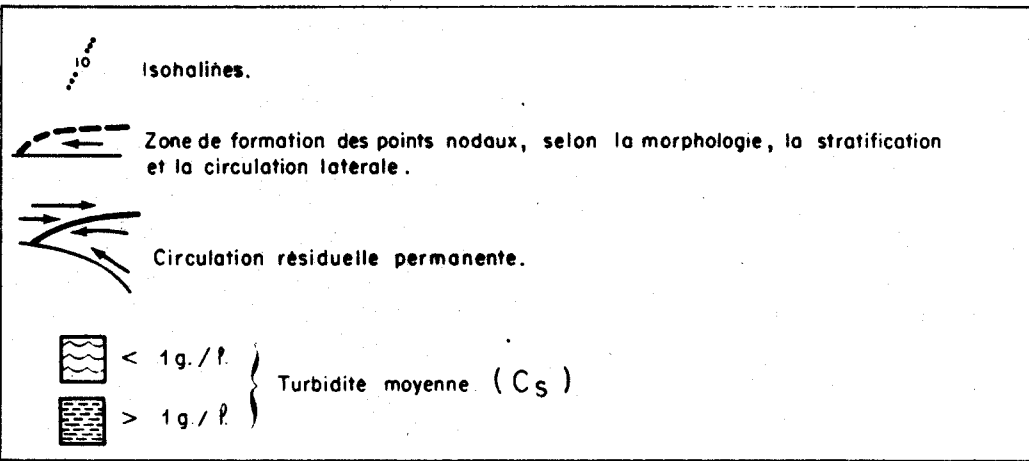
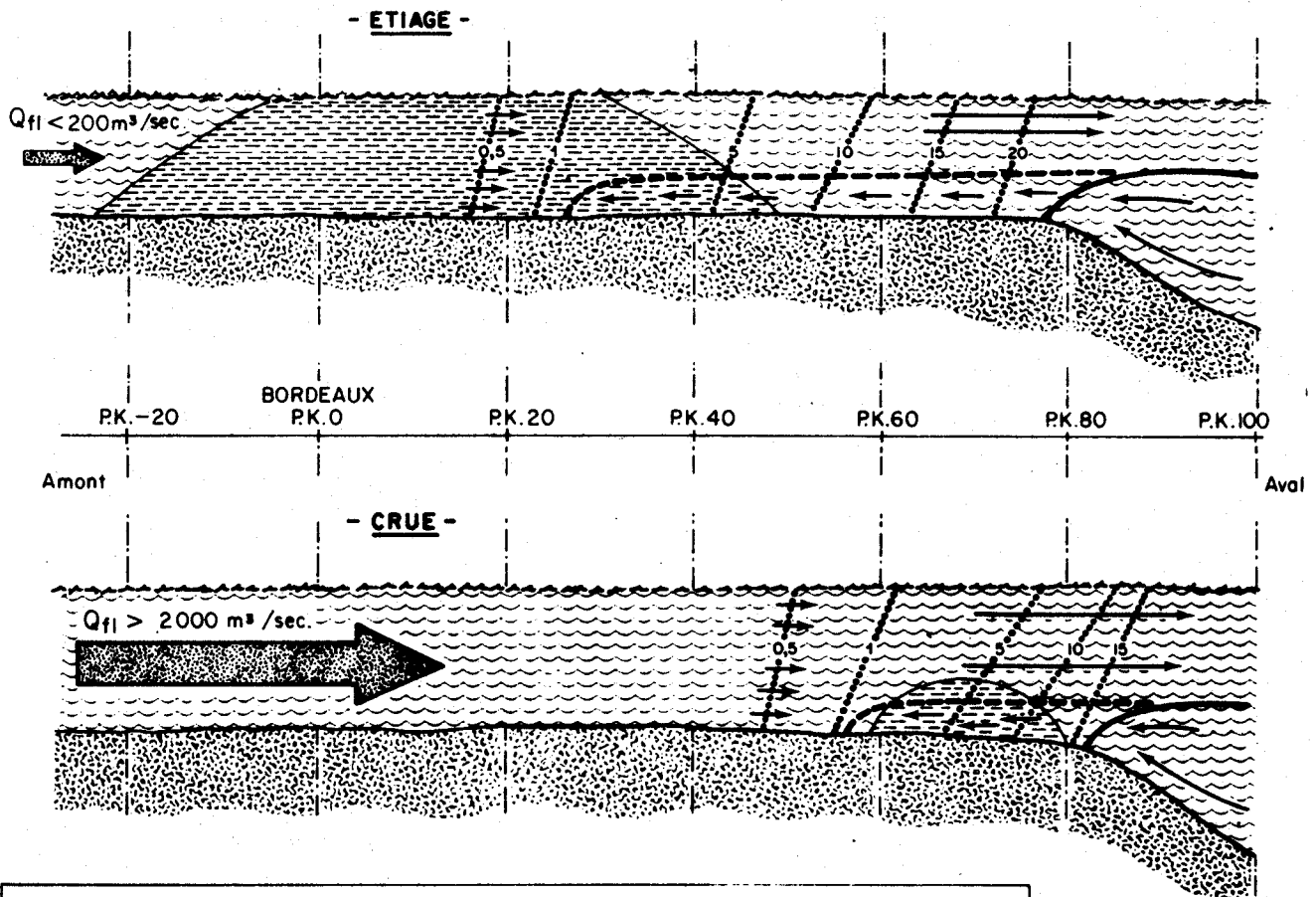
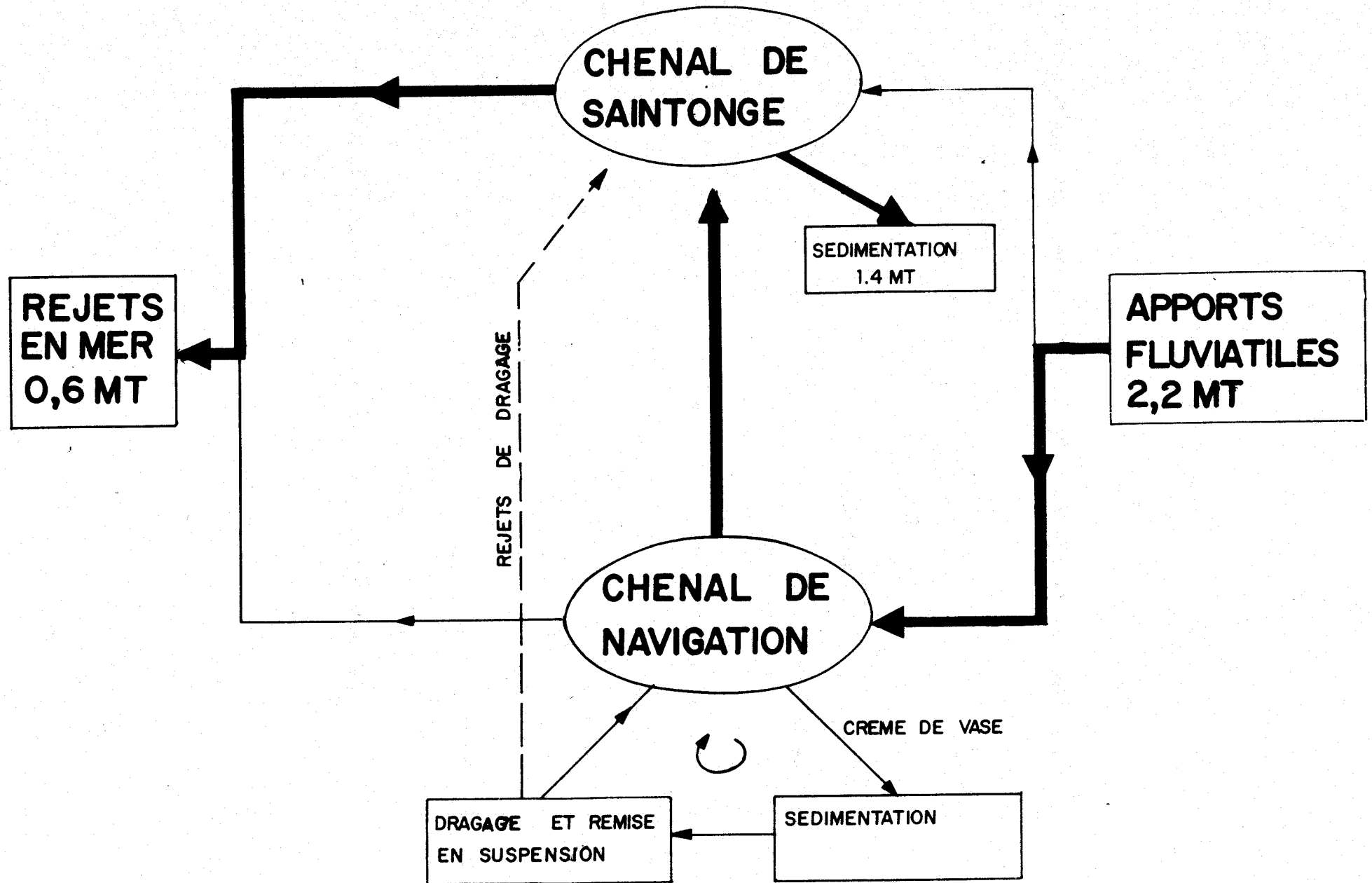


Fig: 3 TRANSIT SCHEMATIQUE DES SUSPENSIONS DANS L'ESTUAIRE AVAL



Les dates sont de BRUTAILS_1913. les positions sont approximatives

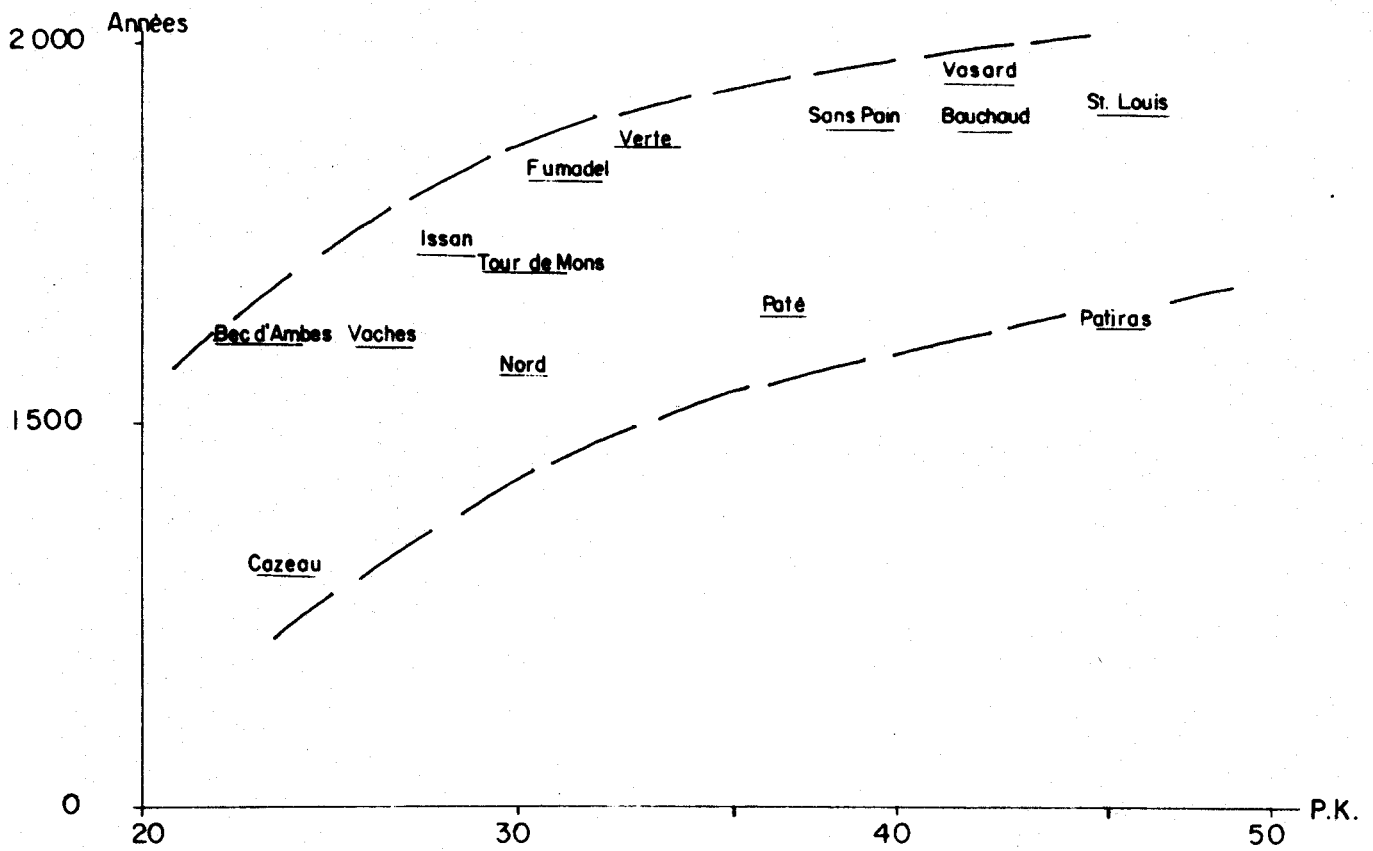
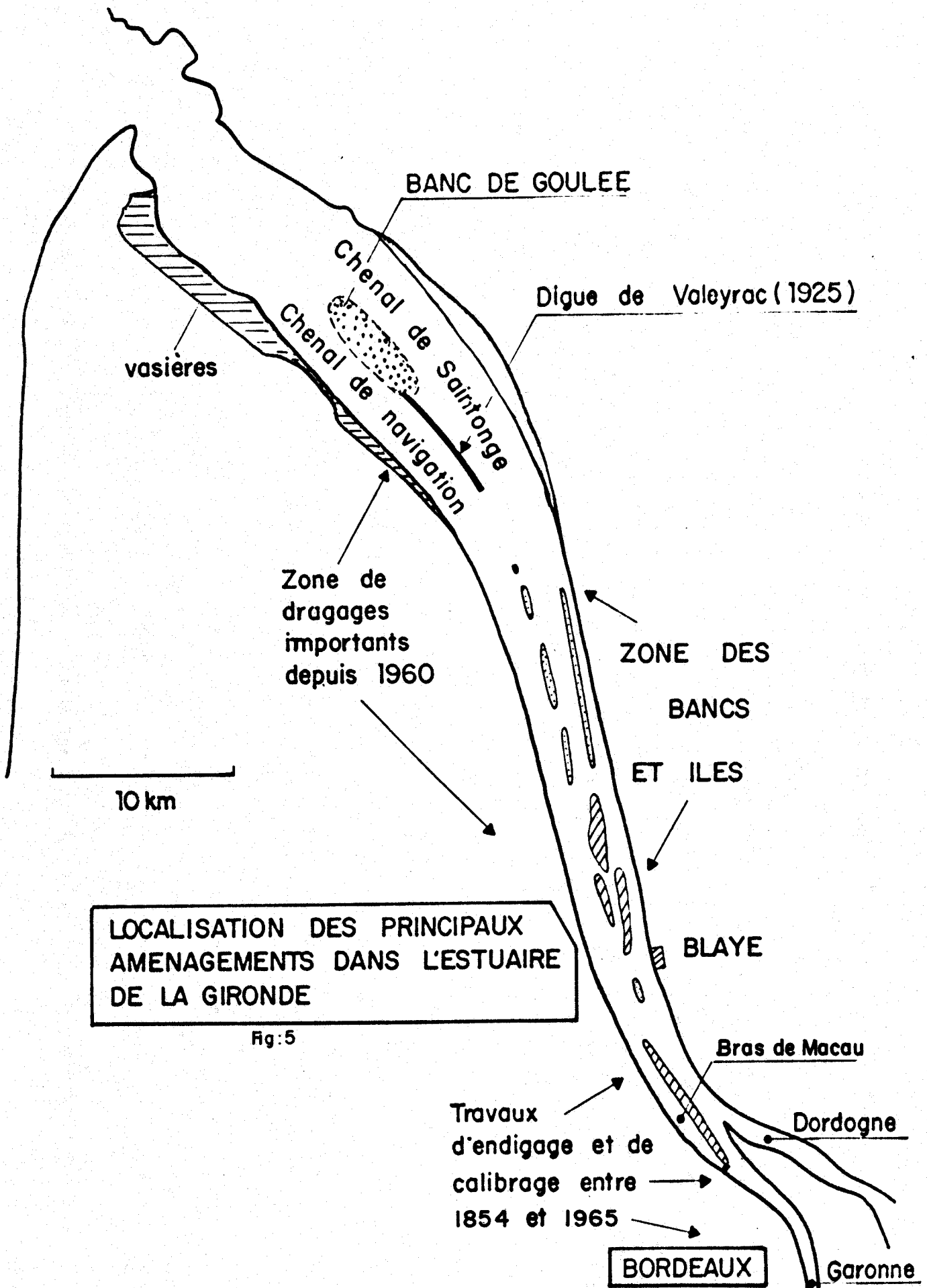


Fig : 4 - Date de formation des îles en fonction de leur localisation dans l'estuaire.



LOCALISATION DES PRINCIPAUX AMENAGEMENTS DANS L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

Fig:5

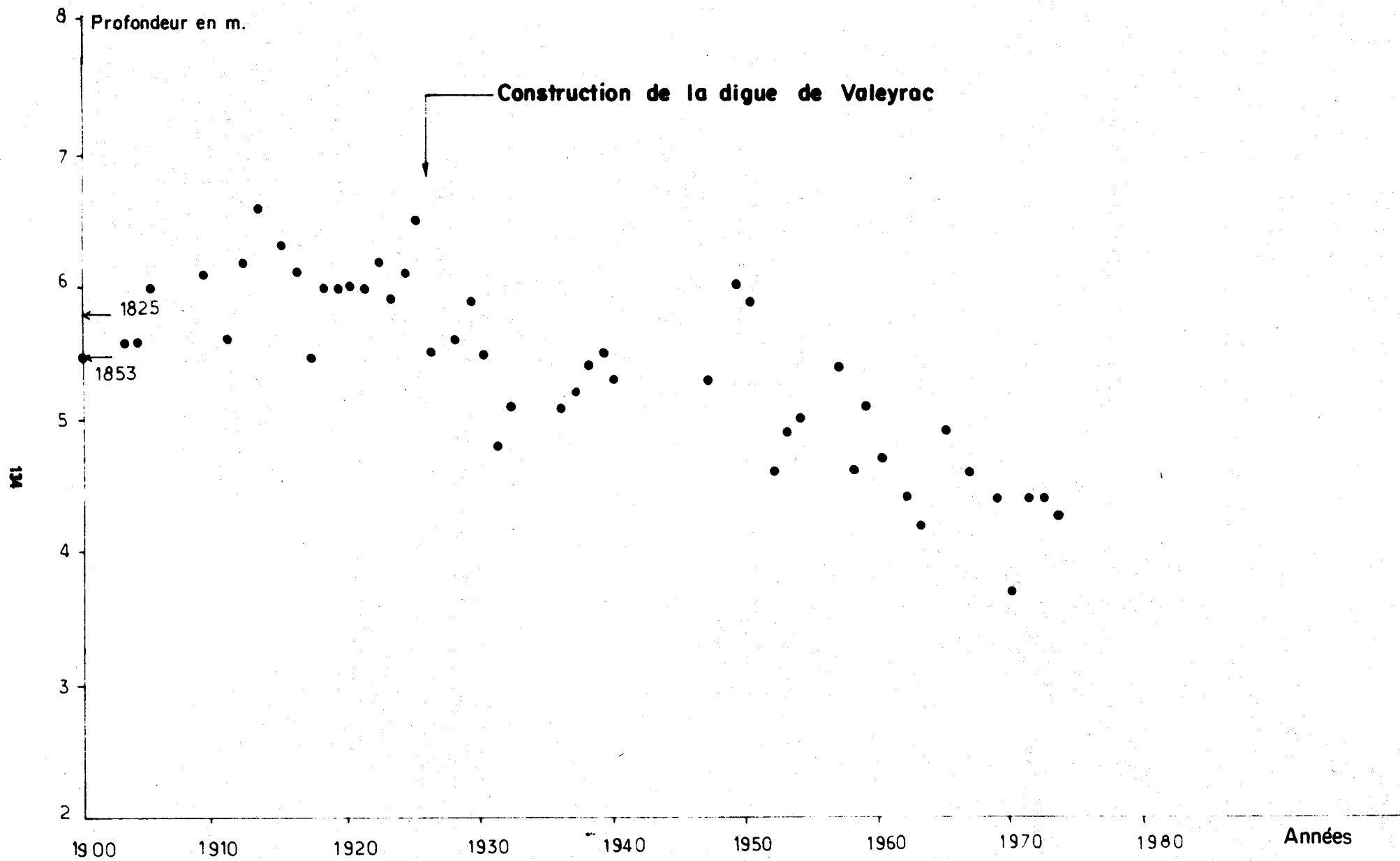


Fig:6 EVOLUTION DE LA PROFONDEUR MAXIMALE DU CHENAL DE SAINTONGE AU P.K. 70

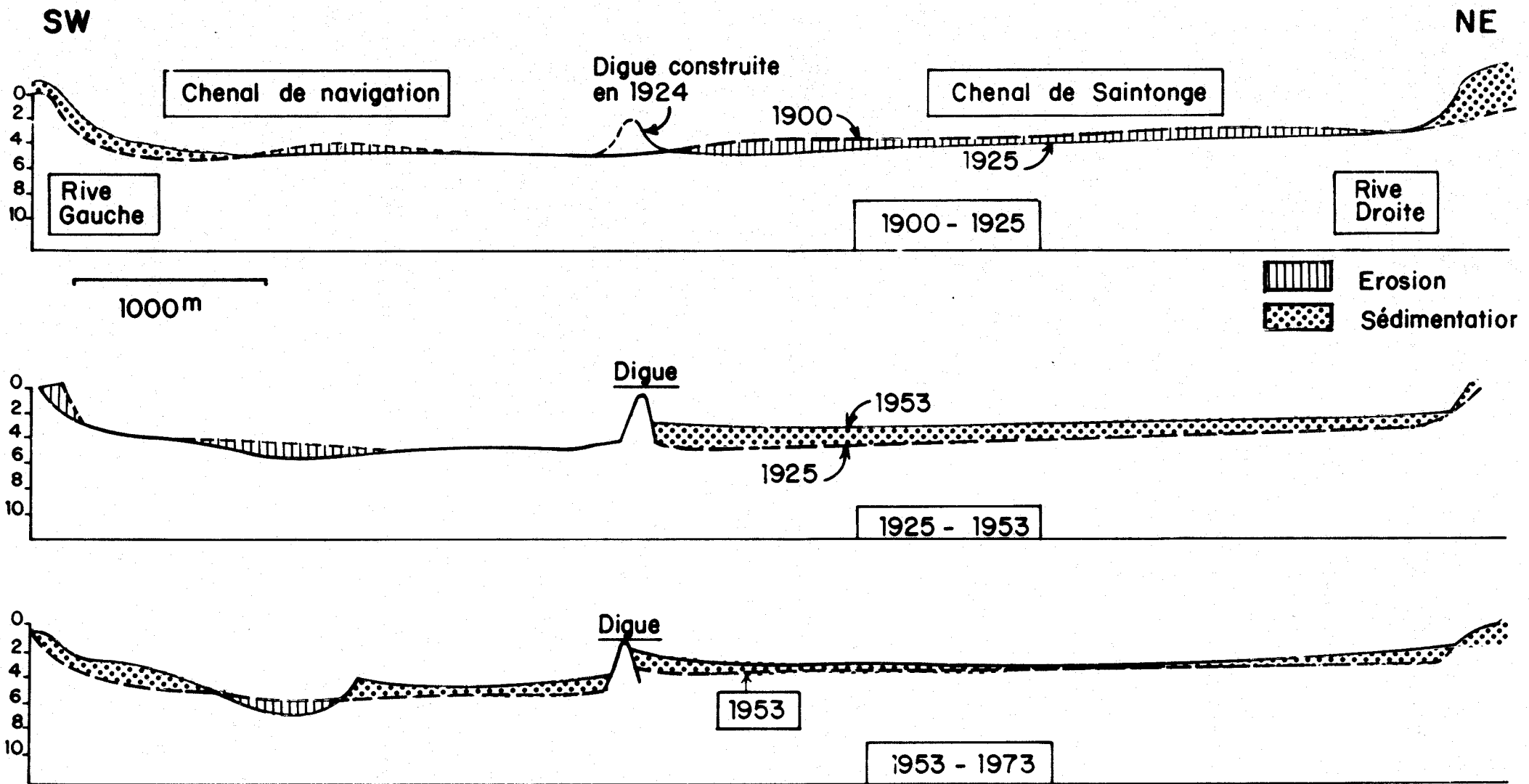
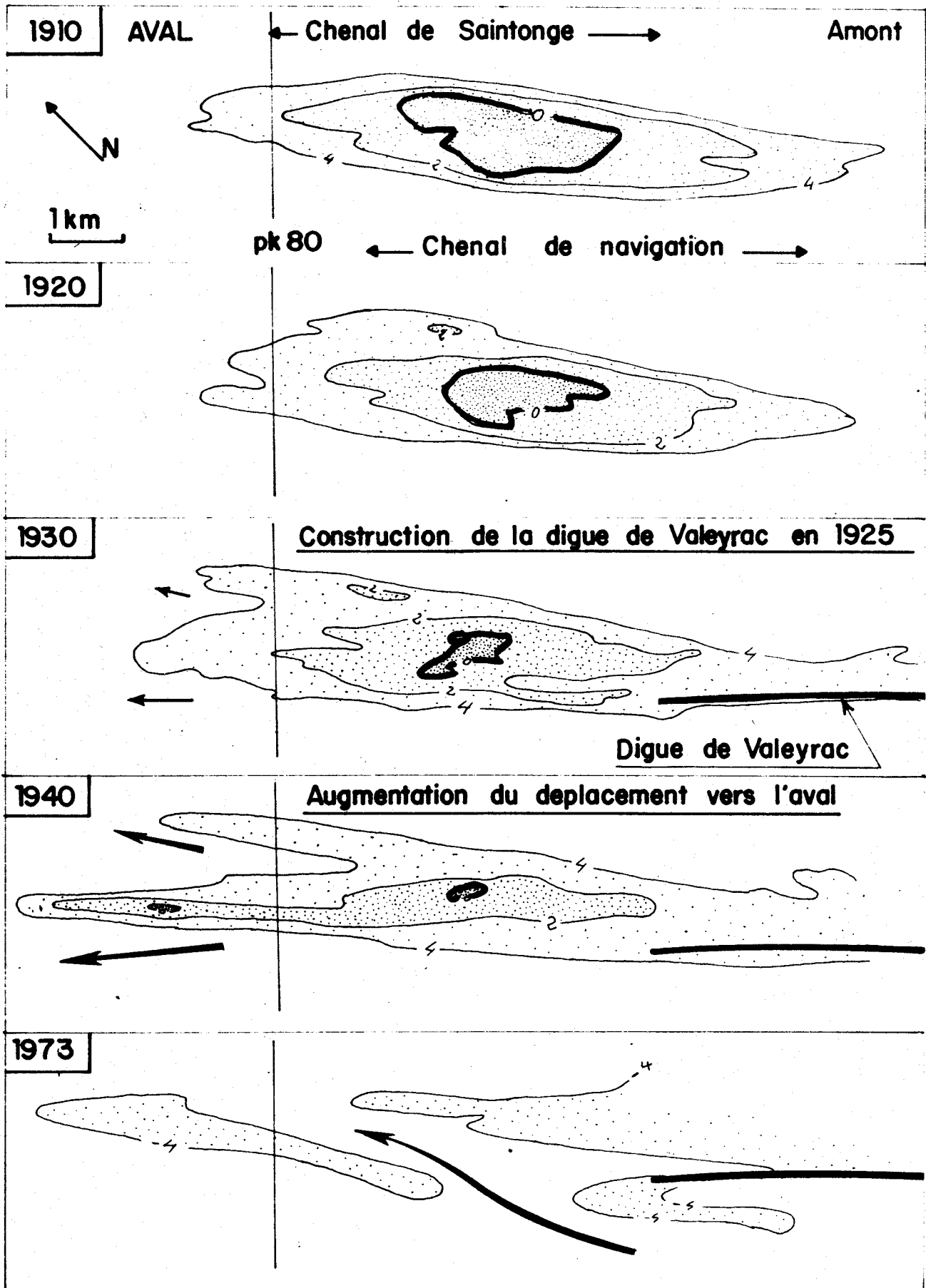


Fig: 7

MOUVEMENTS SEDIMENTAIRES
DANS LE PROFIL AU POINT
KILOMETRIQUE 70

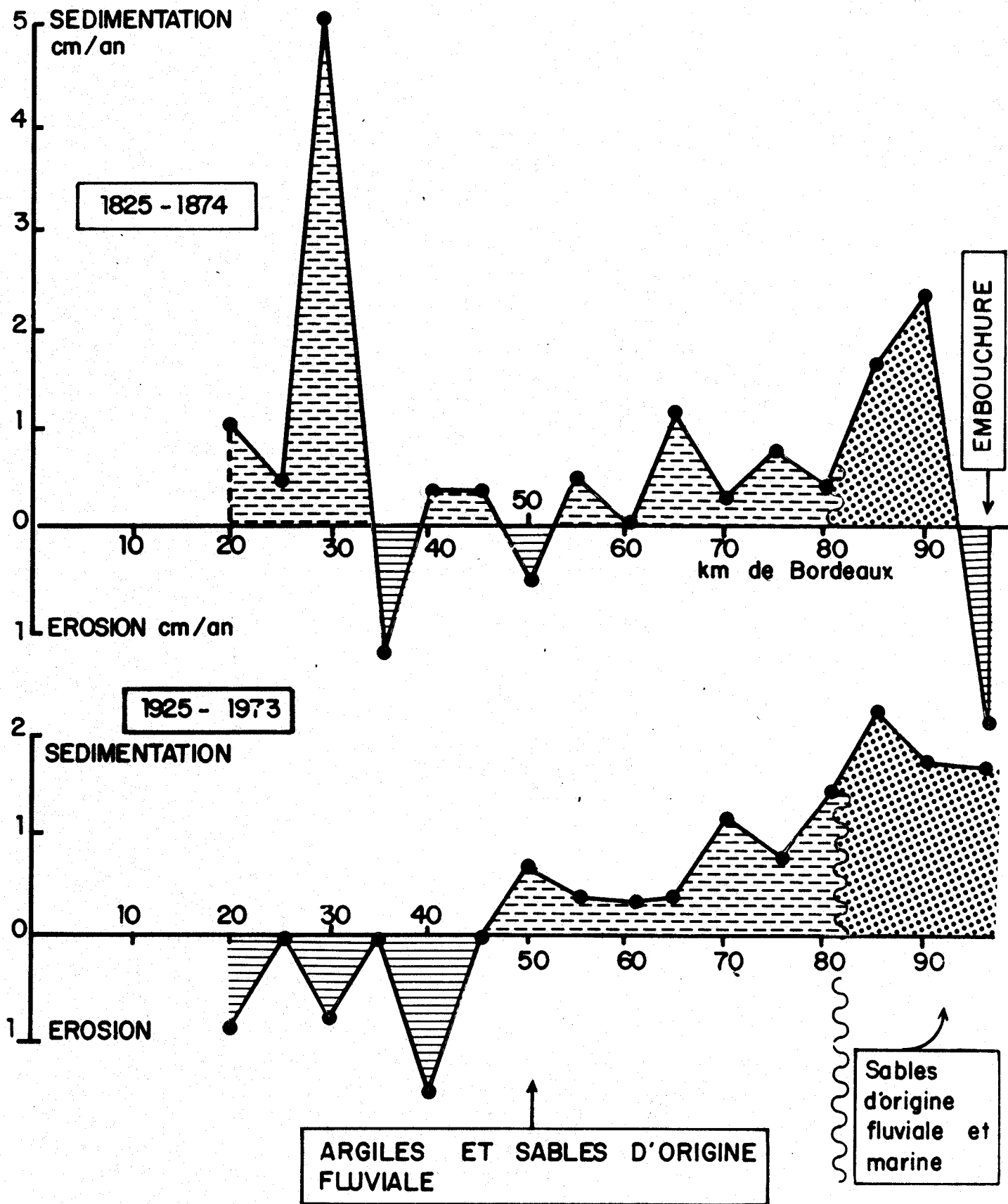
Fig: 8

IMPACT DE LA CONSTRUCTION DE LA DIGUE DE VALEYRAC SUR L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DU BANC DE GOULEE



TAUX DE SEDIMENTATION ET D'EROSION
SUBTIDIAUX LE LONG DE L'ESTUAIRE DE
LA GIRONDE

Fig: 9



REPARTITION LONGITUDINALE DES VOLUMES
D'EROSION ET DE SEDIMENTATION SUBTIDEAUX
DE LA GIRONDE

Fig: 10

