

APPORTS DE L'IMAGERIE FOURNIE PAR LE SONAR A BALAYAGE LATERAL A LA CONNAISSANCE
DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE EN BAIE DE SEINE.

AUFFRET J.P. *, D'OZOUVILLE L. **.

Les enregistrements continus du sonar à balayage latéral permettent d'observer les contrastes de la répartition des sédiments sur le fond. Leur degré d'hétérogénéité et leur évolution avec le temps est ainsi aisément perceptible, ainsi que la nature des contacts entre les différentes formations sédimentaires recon- nues lors des cartographies établies par prélèvements. Nous avons utilisé le sonar à balayage latéral EG.G.sms960 de l'IFREMER (Berné *et al.*, 1985). Cet équipement permet de recueillir une imagerie corrigée en temps réel des fac- teurs d'anamorphose (obliquité transversale et compression longitudinale). Une couverture à grandes mailles de la baie de Seine a été réalisée en deux campa- gnes, du 9 au 14 mai 1982 et du 11 au 17 juillet 1983.

En Baie de Seine, les larges surfaces occupées par des sédiments sablo-grave- leux ou graveleux dans la partie centrale ou occidentale ont montré la présen- ce de structures sédimentaires nombreuses, témoignant de transits sableux en traction sur le fond. Elles indiquent une direction générale de transport vers le sud est, avec quelques inversions locales déterminées par la morphologie sous-marine ou littorale. A l'est de la baie, les sables fins présentent peu de structures de transit, mais par contre des signes d'envasement. La dynami- que sédimentaire des vases est caractérisée par un cycle annuel, où alternent des phases de dépôt en masse lors des crues, à proximité immédiate des estuai- res; et des phases de reprise de ces vases sous l'action des houles. Plus au large, des images sporadiques de "rubans de vase" paraissent issues de la re- mise en suspension de vases par la houle, suivie d'un entraînement de ces sus- pensions par le courant de marée. En Baie de Seine orientale, des structures attribuables au transport de sable tracté sur le fond ne sont observables que localement, à l'approche du banc de Seine et du banc du Ratier, et près du port d'Antifer. Ces informations complètent la connaissance de la distribution des sédiments et de leur dynamique acquise antérieurement par prélèvements et photographie sous-marine (Larsonneur, 1971), sonar latéral (Auffret *et al.*, 1984), ainsi que par suivi de traceurs (Avoine *et al.*, 1984).

1. REPARTITION DES SEDIMENTS (fig. 2).

L'utilisation de l'image fournie par le sonar à balayage latéral pour la recon- naissance de la nature du sédiment repose sur l'évaluation des propriétés de rétrodiffusion, qui varient avec la granulométrie, et sont traduites sur l'en- registrement par une gamme de gris de 16 niveaux. Le relief sous-marin est si- multanément exprimé par des contrastes de réflexion acoustique. Le sonar ne

* Université de Caen, Labo. Géologie marine, Fr., 14032 Caen Cédex.

** IFREMER, à CCOP/SOPAC, Mineral Resources Dpt., SUVA, FIJI.

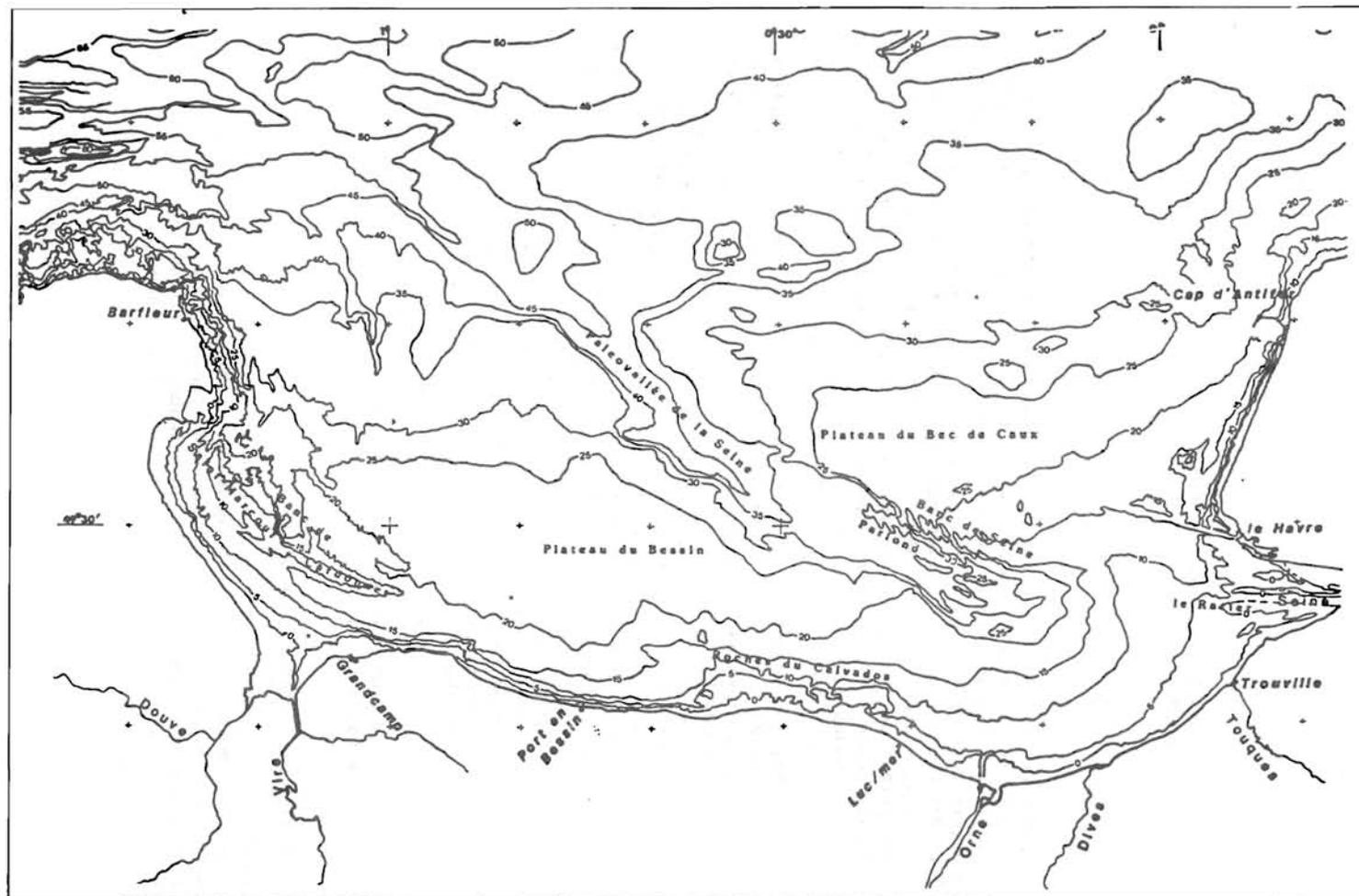


Fig.1 La baie de Seine carte bathymetrique

peut donc être utilisé que confronté avec la connaissance des sédiments acquise par prélèvements et photographie sous-marine; mais il permet d'observer la nature des contacts entre les différents faciès sédimentaires, et révèle ainsi la coexistence de phases résiduelles et mobiles que les prélèvements même ponctuels ont tendance à mélanger. Les principaux apports nouveaux à la connaissance de la répartition des sédiments (Vaslet *et al.*, 1978), sont la mise en évidence d'anomalies sableuses linéaires de direction NW-SE en Baie de Seine occidentale et centrale. Ces rubans correspondent à une différenciation sédimentaire sableuse en longs couloirs étroits ornés de mégarides sur un environnement de graviers sableux. L'asymétrie des mégarides indique une direction de transit vers le SE. Ces rubans sont de deux types différents par leur taux d'enrichissement relatif en sable par rapport à leur environnement graveleux. Au large, suivant exactement le versant sud de la paléovallée de la Seine, ce sont des rubans sableux étroits correspondant à un enrichissement en sable de 25 à 50%; sur la plateforme entre Barfleur et les rochers du Calvados, ce sont par contre des rubans sablo-graveleux et plus larges, correspondant à un enrichissement relatif en sable de 15 à 30%. Par ailleurs, les évolutions mises en évidence de la répartition des fonds graveleux, sableux, et sablo-vaseux, apportent des précisions à la cartographie par prélèvement. Le sable, constituant une phase mobile sur une surface résiduelle graveleuse de large extension, a tendance à se rassembler en traînées étroites qui convergent vers l'est. Au nord du Bessin, l'anomalie topographique que constitue le plateau rocheux du Calvados provoque l'accumulation d'une surface sableuse à mégarides et ridins (sand sheet), allongée parallèlement à la côte entre la pointe du Hoc et le nord d'Arromanches. On note que cette accumulation sableuse ne s'effectue pas ici contre le littoral, mais de 3 à 5 km au large, par une profondeur de 15 à 20 m.

En Baie de Seine orientale le faible contraste de rétrodiffusion entre le sédiment fin et le sable est défavorable à l'utilisation des enregistrements à des fins de cartographie sédimentaire. De plus, les sédiments fins ont tendance à se mélanger en proportion variable au sable, ces évolutions progressives sont difficilement perceptibles au sonar.

2. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE.

Les chercheurs anglo-saxons sous l'impulsion de Belderson, Kenyon et Stride (1972), utilisent depuis plus de 20 ans le sonar à balayage latéral pour décrire les principales formes sous-marines qui expriment le déplacement des sédiments. Nous avons voulu dépasser le simple constat descriptif de l'existence des formes sédimentaires sous-marines et des directions de transit qu'elles expriment, pour chercher à définir les phénomènes sédimentaires actuellement actifs : érosion, transport et dépôt. En Baie de Seine occidentale et centrale, les structures sédimentaires indiquant le déplacement de sédiments tractés sur le fond sont nombreuses. Nous avons retrouvé la plupart des structures classiquement décrites (Belderson *et al.*, 1972).

- Les structures longitudinales sont parallèles au courant générateur et de faible élévation par rapport à la surface de sédiments graveleux qui les porte. Les bancs sableux linéaires, dont l'épaisseur en baie de Seine peut dépasser 20 m (Auffret *et al.*, 1983), constituent donc une exception. Le banc de Seine ainsi que le banc de Saint-Marcouf et Cardonnet représentent la forme d'accumulation offshore des sables marins, principale phase sédimentaire mobile en charriage sous l'action des courants.

- Les structures transversables sont des rides sédimentaires dont la taille varie depuis les rides, plus petites que le pouvoir séparateur du sonar mais vues en photographie sous-marine (Larsonneur, 1971), jusqu'aux grandes vagues de sable ou ridins (longueur d'onde supérieure à 20 m), formes de troisième ordre qui portent elles-mêmes des mégarides. Nous avons pu observer des formes

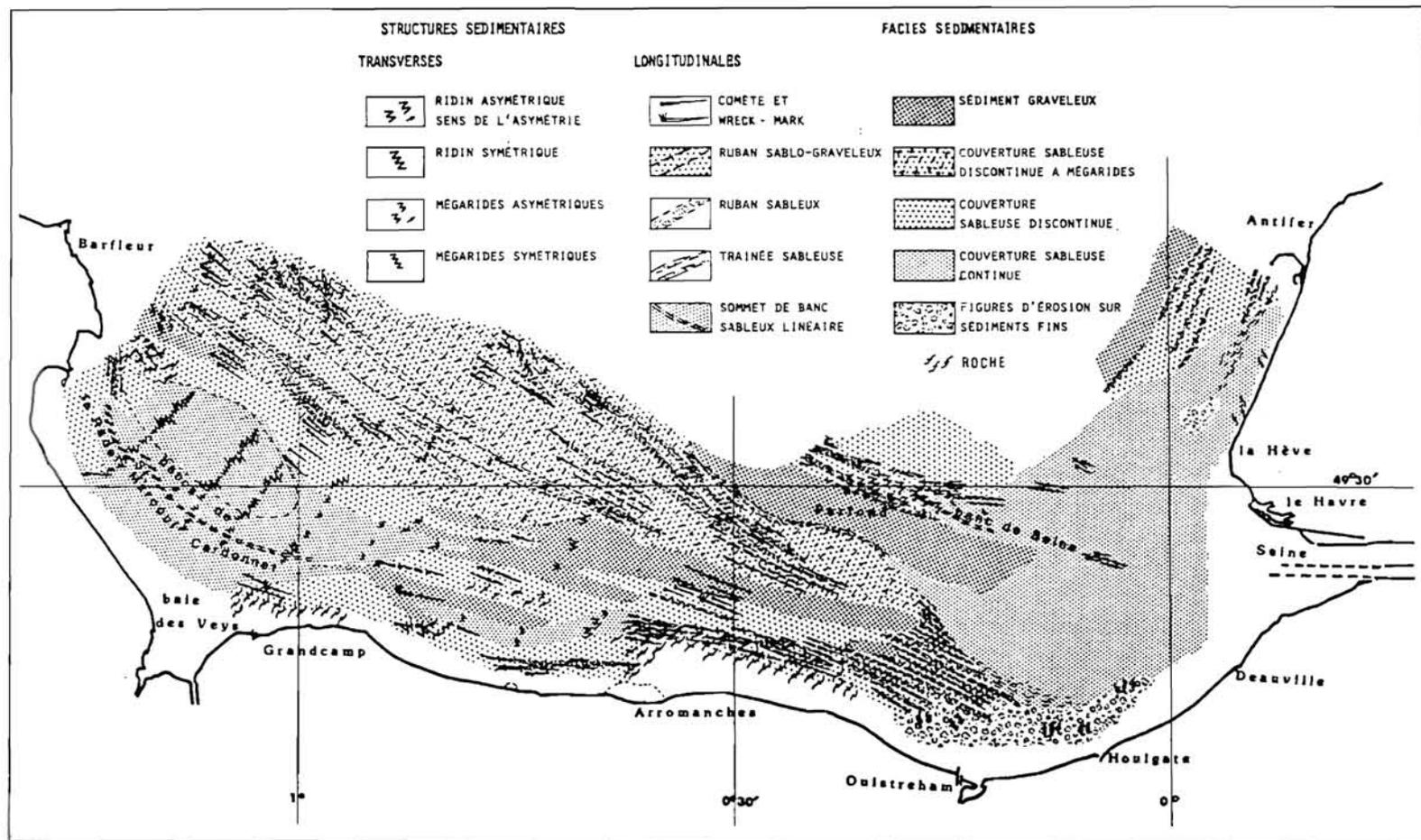


Fig.2 Faciès et figures sédimentaires

Cette figure 2 est reproduite en dépliant à la fin du volume.

transverses de longueur d'onde comprise entre 0,6 m (limite inférieure du pouvoir séparateur de l'équipement) et 200 m pour quelques ridins du banc de Saint-Marcouf, du banc de Seine et d'Antifer. La plupart sont dissymétriques et traduisent ainsi le sens du transit sédimentaire résiduel; mais il existe également des formes symétriques, en particulier les formes de courte longueur d'onde (0,6 à 1,2 m) qui sont des rides de houle. Celles-ci sont rares en Baie de Seine, à moins que leur faible longueur d'onde ne les rende imperceptibles dans les conditions moyennes d'enregistrement.

A côté de ces formes sédimentaires maintes fois décrites, nous avons pu observer en Baie de Seine orientale des structures permanentes ou temporaires que nous avons interprétées comme issues de la reprise sous l'action de la houle et des courants des sédiments fins cohésifs. Ces structures sont, d'une part des formes d'érosion en sillons ou en taches, et d'autre part des rubans temporaires de vase en suspension à l'interface eau-sédiment. Nous avons noté la coïncidence entre ces rubans de vase et un type de condition météorologique; ils correspondent probablement à un phénomène temporaire de couche néphéloïde ou de crème de vase à forte dilution sur le fond (d'Ozouville & Auffret, 1986).

3. PHENOMENES SEDIMENTAIRES.

3.1. Direction et sens des transits en traction (fig. 2).

3.1.1. En Baie de Seine occidentale :

On note une tendance générale de transit vers le SE exprimée par de nombreuses structures sédimentaires. Le domaine situé au sud d'une ligne joignant Barfleur et Grandcamp échappe à cette règle. Les transits sédimentaires s'effectuent en sens inverse sur les deux flancs des bancs de Saint Marcouf-Cardonnet, vers le NW sur le flanc interne du banc et vers le SE sur son flanc externe. Entre les îles Saint-Marcouf et la zone des rubans sablo-graveleux du large, s'étend une surface ovale de couverture sableuse continue peu épaisse, ornée de mégarides et de ridins dépourvus de dissymétrie apparente. Nous avons pu observer, lors d'un profil enregistré au flot puis au jusant, une inversion de sens des indices secondaires de polarité (inversion de crêtes) dans cette zone à mégarides et ridins sub-symétriques.

Ces directions de transit sédimentaire sont en accord avec les données de courantologie (Salomon, 1985; Le Hir, 1984; Le Provost et Fornerino, 1984). Le sens de transport vers le SE correspond à la dissymétrie générale de la courbe de marée en Baie de Seine où le flot est en général dominant sur le jusant, à l'exception de contre courants littoraux générés, dans la baie des Veys, par le promontoire du Cotentin. Les surfaces d'accumulation sédimentaire coïncident également avec les zones d'amortissement des courants instantanés aux deux extrémités de la baie.

3.1.2. En Baie de Seine centrale :

On peut observer des particularités de la répartition des sédiments liées à la géomorphologie sous-marine. Ainsi les rubans sableux les plus éloignés du littoral (fig. 2) sont étroitement associés au versant méridional de la paléovallée de la Seine, qui correspond ici à une dénivellation d'une quinzaine de mètres (Auffret & Larssonneur, 1977). Les causes de cette localisation du ruban de sable sont à rechercher dans le mode hydrodynamique de genèse de ces structures sédimentaires à la convergence de vortex longitudinaux (McLean, 1981). Ces vortex sont créés par la perturbation du flux d'écoulement des courants de marée par le versant de la paléovallée selon le schéma de Nikuradse (in Allen, 1984). Sur le méridien de Ver-sur-Mer, un décrochement vers le nord du versant provoque une montée des rubans sur le plateau du Calvados.

Ils rencontrent probablement là des conditions hydrodynamiques défavorables car ils ne se maintiennent que sur 8 km environ, longueur à rapprocher des 65 km du ruban principal représenté sur la fig. 2 entre Barfleur et le méridien d'Arromanches. Au pied du versant septentrional de la paléovallée de la Seine, on observe également la formation de rubans de sable. Ils portent à l'approche du banc de Seine de grandes mégarides en croissant ($\lambda=10$ à 20 m, $h=1$ à 2 m). Ces mégarides se rassemblent en ridins pour former l'unité superficielle du banc de Seine. Ce banc, malgré son étalement et son profil bas est donc une unité sédimentaire active dont la localisation est liée au versant du Parfond (Auffret et d'Ozouville, 1985).

On peut également constater le rôle joué par le plateau des rochers du Calvados dont les reliefs sont débordés vers le nord par des trainées sableuses étroites à polarité vers l'est. Elles se prolongent vers l'est dans un vaste champ de rubans sableux situé, au nord de Luc-sur-Mer à la transition entre le plateau de roches sub-affleurantes du Bessin et la couverture sableuse continue de la baie de Seine orientale vers laquelle progressent les sables. Nous n'avons pas observé d'anomalie morphologique à l'amont de ce champ de rubans, son origine doit donc être recherchée dans les facteurs purement hydrodynamiques. L'étude de Salomon (1985, fig. 1 et 3) montre que le facteur hydrodynamique discriminant de cette zone est l'élongation des roses de courant et donc des trajectoires lagrangiennes de l'excursion de marée. Cette observation est cohérente avec l'allongement des rubans de sable dont la direction est conforme à l'élongation des roses de courant.

3.1.3. En Baie de Seine orientale :

La majeure partie des fonds est dépourvue de structures sédimentaires observables par le sonar latéral. Ceci est probablement dû à des causes sédimentologiques et hydrodynamiques. Il s'agit en effet de la zone estuarienne de la baie, caractérisée par l'épaisseur notable de sa couverture sédimentaire meuble constituée de sable fin (Auffret et d'Ozouville, 1985), ainsi que par un envasement saisonnier (Crevel, 1983; Avoine *et al.*, 1985) qui accroît la cohésion des dépôts. L'hydrodynamique est également différente: les vitesses de courants sont plus faibles et les trajectoires de marée ont un caractère rotatif par opposition à leur caractère alternatif à l'ouest (Salomon, 1985, fig. 3). Il faut noter que les figures sédimentaires observées au sonar latéral étant en majorité linéaires, leur genèse s'accommode mal de courants rotatifs.

Des structures, attribuables à l'action de la houle sur le fond, ont été mises en évidence ici en raison de la faible profondeur moyenne d'eau, ce sont d'une part des remises en suspension des vases et d'autre part des structures pré-littorales d'érosion (fig. 2).

En 1982, les conditions météorologiques ayant été variables au cours de la campagne, nous avons pu observer des formes évolutives apparaissant après les périodes de houle et interprétées comme issues de la remise en suspension par les vagues de particules fines ou de faible densité (débris organiques). Ces suspensions constituent à l'interface eau-sédiment une couche turbide de "crème de vase" étirée en rubans parallèles par les courants de marée (d'Ozouville et Auffret, 1986). Cette reprise des vases a également été observée par utilisation de traceurs radioactifs (S.A.R. 1984) et par les cartographies saisonnières établies par prélèvement (Avoine *et al.*, 1984).

Sur le pré-littoral entre l'Orne et la Touques, existent des réseaux de sillons ramifiés de profondeur métrique, de direction perpendiculaire au littoral et aux isobathes (fig. 1). Le fond de ces sillons, à forte rétrodiffusion, porte des mégarides de houle sub-symétriques de longueur d'onde de 0,7 à 1 m. Il sont associés à des formes plus irrégulières, lichenoïdes, localisées sur les deltas de jusant des estuaires. Des analogies existent avec les sillons pré-littoraux à mégarides de houle mis en évidence en Baie de Morlaix

(Augris *et al.*, 1986) et sur les littoraux des Etats-Unis (Morang & McMaster, 1980), où des formes en thalles existent également (Shipp, 1984). Ces formes lichenoïdes résultent probablement de l'érosion de vases molles, à forte teneur en eau, par la houle: les prodeltas de jusant de l'Orne et de la Dives sont envasés lors des crues par l'expulsion et le dépôt en masse de la crème de vase accumulée dans les estuaires en étiage (Auffret *et al.*, 1985).

Les formes en sillons, en raison de leur profondeur, affectent plutôt les sédiments compactés de l'unité fluvio-marine fossile observée à la base du prisme sédimentaire holocène, qui affleurent ici (Auffret et d'Ozouville, 1985). La concentration de sédiments graveleux au fond des sillons et les mégarides de houle qui les ornent, indiquent que ces sédiments coquilliers oscillent sous l'action des houles, à l'image des galets sur une plage. Cette oscillation exerce donc, lors des tempêtes, une action d'abrasion sur les dépôts sablo-argileux compactés, creusant les sillons selon le mécanisme décrit pour les courants par Flood (1981). La méconnaissance de ces phénomènes d'érosion sous-marine est une source probable du déficit des apports constaté dans les tentatives d'estimation du bilan de la sédimentation dans l'estuaire de la Seine (Avoine *et al.*, 1984).

4. CONCLUSION.

Malgré le caractère incomplet de la couverture régionale réalisée au sonar latéral, les résultats obtenus comblent une lacune de connaissances des formes sédimentaires de transit sur la plate-forme française. Il apporte une moisson d'informations à la connaissance de la dynamique sédimentaire de la baie de Seine. Par l'observation en continu des objets sédimentaires d'échelle moyenne qu'il permet, il est complémentaire des techniques antérieurement utilisées: cartographie régionale par prélèvements ou observations ponctuelles locales par photographie ou traceur. Les informations recueillies sur la dynamique actuelle de l'unité sédimentaire superficielle sont également utiles à la connaissance du bilan des dépôts holocènes établi par l'étude sismique (Auffret et d'Ozouville, 1985).

A l'exception des zones estuariennes orientales et occidentales sablo-vaseuses, la baie de Seine a une couverture meuble de graviers d'épaisseur réduite sur laquelle s'effectuent des transits sableux vers le SE, qui s'expriment par des structures sédimentaires de surface. Le rôle de ces transits dans l'alimentation des zones d'accumulation reste à quantifier. Des phénomènes d'érosion sous-marine, dont il serait également souhaitable de mesurer l'efficacité, ont été découverts en Baie de Seine orientale. Cette capacité à observer en continu les objets et les phénomènes fait de la reconnaissance par sonar à balayage latéral un préalable efficace à la définition des stratégies d'étude en phases de projet. En phase de réalisation, c'est un complément indispensable aux techniques ponctuelles d'étude du fond de la mer, de sa dynamique sédimentaire et de ses faunes, si l'on a l'ambition d'étendre les conclusions acquises à un espace régional.

Allen J.R.L. (1984).- Sedimentary structures, their character and physical basis. Dev. in Sedimento., v30, 1196 p., Elsevier ed., Amsterdam.

Auffret J.P. & Larsonneur C. (1977).- Paléovallées et bancs sableux entre l'estuaire de la Seine et le nord du Cotentin. Journées Lennier, Bull. Soc. Géol. Normandie, LXIV, n° 4, p. 21-33.

Auffret J.P., Alduc D., Larsonneur C. & Smith A.J. (1983).- La Manche orientale, carte des paléovallées et bancs sableux. CNEXO/BRGM ed, Orléans.

Auffret J.P., Walker P. & d'Ozouville L. (1984).- Le sonar à balayage latéral et ses applications à l'étude des transports sédimentaires en Manche. XVIIIèmes Journées de l'hydraulique, Marseille, rap. 1/14, 8 p.