

CARTOGRAPHIE DU PRISME SEDIMENTAIRE HOLOCENE EN BAIE DE SEINE ORIENTALE, PAR  
SISMIQUE REFLEXION A HAUTE DEFINITION.

AUFFRET J.P. \*, d'OZOUVILLE L. \*\*.

Les sédiments holocènes constituent en Baie de Seine orientale une couverture sédimentaire continue dans l'est de la baie. Ce prisme sédimentaire, qui représente le bilan des apports de la transgression holocène, a été étudié par sismique réflexion à haute définition. La carte réalisée inclut dans un seul ensemble des formations déposées en 8 000 ans environ d'histoire géologique en phase transgressive. Il se compose donc, non seulement des sédiments sous-marins ou littoraux de la phase actuelle de fin de transgression qui constituent l'unité superficielle, mais également des dépôts littoraux et estuariens développés alors que le niveau marin était plus bas, puis submergés par la transgression. Cette cartographie d'ensemble illustre la convergence vers le sud-est du bilan des transits sédimentaires holocènes, suggérant le mode de comblement, par des sédiments d'origine sous-marine, des estuaires de la Seine et de la côte du Calvados.

La différence entre le stade sénile atteint par l'état d'évolution actuel des embouchures de l'Orne et de la Dives, et le stade actif de l'estuaire de la Seine, réside principalement dans l'émergence d'une barrière côtière dunaire fermant les estuaires de la côte du Calvados.

La carte en isopaques (équidistance = 2 m) des dépôts holocènes (fig. 1) résulte de la compilation de l'ensemble des mesures de sismique réflexion auxquelles nous avons pu avoir accès. Nous avons réalisé les compléments nécessaires à une couverture complète avec un étinceleur S.I.G. 50 joules. La densité des informations ainsi rassemblées nous a permis d'affiner la connaissance de ce corps sédimentaire (Auffret *et al.*, 1983).

Les sédiments holocènes en accumulation mesurable sont confinés dans l'entonnoir que dessine la côte entre la Seine et l'Orne. La définition des enregistrements sismiques dont nous avons disposé ne permet pas d'estimer les épaisseurs de sédiments meubles inférieures à 2 m. On peut cependant considérer que le bed-rock ou les alluvions pléistocènes sont sub-affleurants sur les plateaux sous-marins du Bessin vers l'ouest et du bec de Caux au nord. La couverture sédimentaire holocène de la baie de Seine orientale est de faible extension par rapport à la taille de la baie, et d'épaisseur modeste (elle ne dépasse 10 m que sous 1/5 de sa surface), la vitesse sismique retenue pour le calcul d'épaisseur des sédiments holocènes est 1600 m/s.

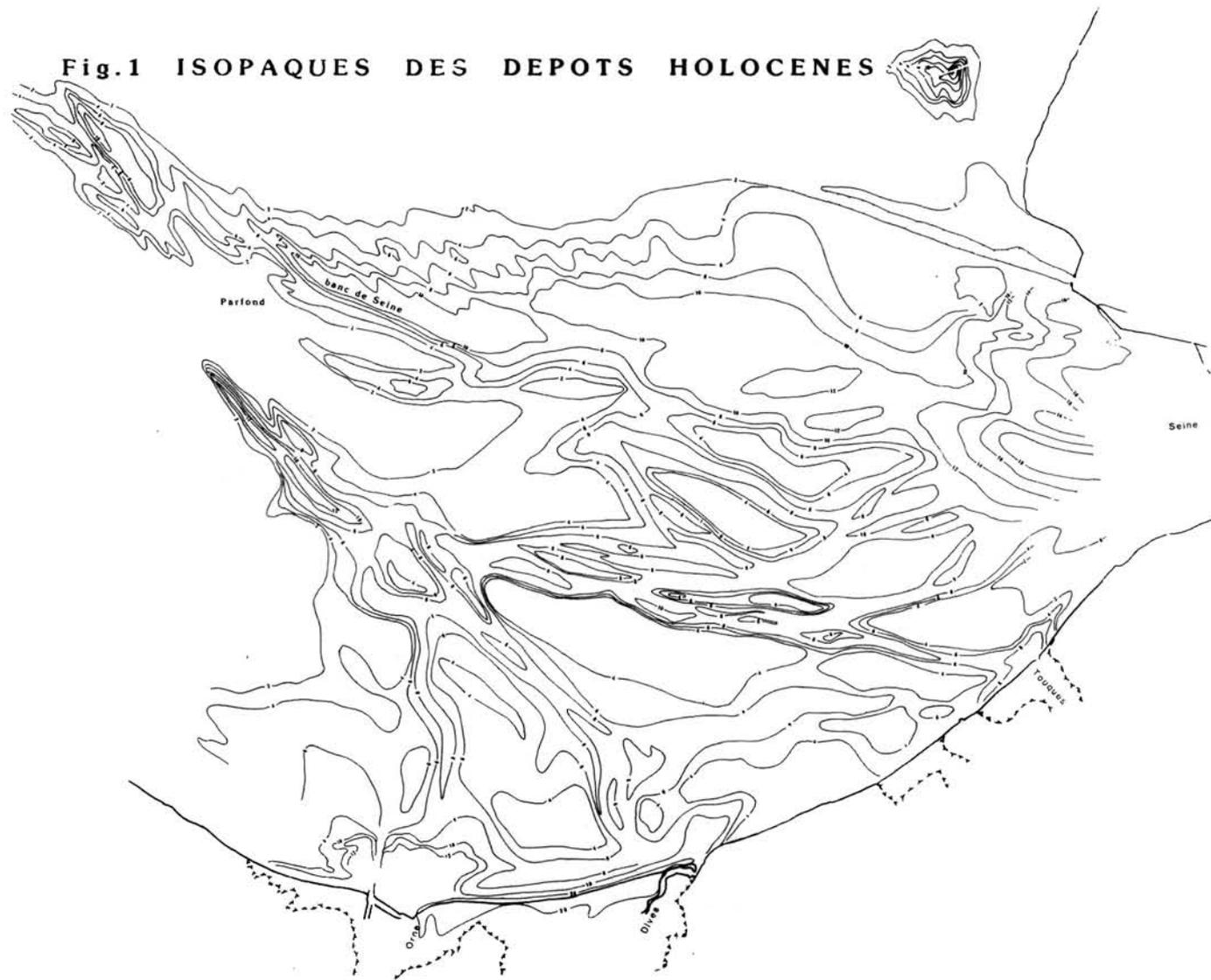
1. LES UNITES PRESENTES (Fig. 1).

Deux unités sédimentaires sont séparées par la paléovallée de la Seine, trait morphologique principal de la surface anté-holocène, qui constitue une gouttière entre la dépression du Parfond et l'axe de l'estuaire de la Seine. Au nord de cette gouttière, les alluvions pléistocènes, accumulées préférentiel-

\* Université de Caen, Laboratoire de Géologie Marine, 14032 Caen Cedex.

\*\* IFREMER, à CCOP/SOPAC, Mineral Ressources Dpt. Suva, Fiji.

Fig.1 ISOPAQUES DES DEPOTS HOLOCENES



lement en rive droite de la paléovallée, portent le banc de Seine (Auffret, Larsonneur, 1977). Au sud, la surface antéholocène est constituée par l'affleurement des séries jurassiques de la côte du Calvados, entaillées par un réseau de chenaux prolongeant les vallées de l'Orne, la Dives et la Touques. Au débouché de celles-ci est également représentée l'emprise des formations fluvio-marines constituant les deltas de marées externes des estuaires.

## 2. NATURE DES SEDIMENTS.

Les sédiments sont connus par de nombreux prélèvements superficiels (Larsonneur, 1971; Vaslet *et al.*, 1978; Avoine *et al.*, 1984). L'unité superficielle est formée, en fraction dominante, de sables fins (md 0,3 mm, dispersion 0,5). Bonnefille (1963) a établi un diagramme simple permettant d'estimer le courant moyen nécessaire à l'entraînement de telles particules. Entre 30 m de profondeur et le littoral cette vitesse varie de 0.6 à 0.4 m/s. Des vitesses supérieures sont ici atteintes en vive eau (Salomon, 1985, fig. 1), ces sables fins sont donc mobiles. Ils reposent sur des formations fossiles, argilo-sableuses, estuariennes, diachrones et étagées, dont l'étude en fonction de la profondeur a permis à Larsonneur (1971) d'établir une courbe de la montée de la mer flandrienne en Baie de Seine entre - 10 000 ans et l'actuel.

En sismique, on obtient une bonne pénétration dans ces sédiments. La discontinuité entre l'unité sableuse superficielle et les sédiments fluvio-marins sous-jacents est parfois perceptible, en particulier sous le banc de Seine. Les sédiments fluvio-marins comprennent parfois des niveaux organiques ou tourbeux contenant des gaz; ils se comportent alors en écran acoustique (zone sourde) en particulier au large des côtes du Calvados, entre la Dives et la Seine, où Avoine (1981) avait conclu à l'affleurement de sédiments fossiles. L'ensemble cartographié sur la fig. 1 comporte donc la superposition de deux formations, des sables marins récents en surface, actuellement en cours d'envasement au débouché des estuaires, reposant sur un ensemble fossile de formation fluvio-marine d'estuaire représentant la phase rapide de colmatage au front transgressif de la mer holocène submergée par la poursuite de la transgression.

## 3. ETUDE DES DIFFERENTES UNITES SEDIMENTAIRES.

3.1. Le banc de Seine est accroché à l'accroche du versant septentrional de la paléovallée de la Seine (Parfond). Le versant méridional du banc porte de nombreuses structures sédimentaires traduisant le déplacement des sables vers le NE (Auffret et d'Ozouville, 1985). Ces structures sont des rubans sableux lorsque la couverture sédimentaire est faible. Aux approches du banc, des champs de mégarides ( $\lambda = 10$  à 20 m,  $h = 0.5$  à 1 m) deviennent coalescentes et leur association donne des ridins ( $\lambda = 200$  m,  $h = 3$  à 5 m). Le versant septentrional du banc de Seine porte quelques mégarides à polarité SW. Cette convergence des transits sédimentaires vers l'axe du banc est la règle générale pour ce type de construction dont l'épaisseur est ici modeste, de l'ordre de 10 m. Vers l'est, le banc de Seine se raccorde en continuité aux lobes de jusant du delta de marée de la Seine.

- *Interprétation dynamique de l'origine du banc* : le chenal du Parfond constitue une voie préférentielle de pénétration de l'onde de marée de flot dans la baie (pointe de flot) visible sur les cartes des champs de courants instantanés, ou des représentations de maxima de vitesse de courant (Salomon, 1985). Cette chenalisation provoque une surverse tendant à chasser latéralement les sédiments entraînés vers les bords de la paléovallée, où s'individualisent des rubans de sable (Auffret et d'Ozouville, 1985). Le remplissage rapide de l'estuaire de la Seine au flot, se traduit par une "tenue du plein" de la courbe de marée une heure environ avant et après la pleine mer (Le Floch, 1961). Ce phénomène renforce encore, en fin de flot, la surverse vers

le NE connue sous le nom de courant de Verhaule. Les directions et les dissymétries des structures sédimentaires du flanc sud du banc de Seine indiquent une polarité des transits sédimentaires tractés conforme à cette dynamique des eaux. Cette action n'est que partiellement inversée au jusant, en raison de vitesses de courant plus faibles (asymétrie de la courbe de marée), et de l'effet de sillage exercé par le cap de la Hève qui sépare le flux de vidage de l'estuaire de l'onde générale de jusant provenant de la Manche orientale. Enfin, la perturbation d'écoulement provoquée par le versant du Parfond entraîne la création, sur le flanc méridional du banc de Seine, d'une cellule de circulation cylindrique ou hélicoïdale responsable d'un contre-courant local dirigé vers le banc selon le principe de "séparation de flux" proposé par Allen (1984). Ce schéma de construction du banc de Seine nous paraît plus compatible avec la circulation résiduelle de marée et les directions de transit vers le NE indiquées par les structures sédimentaires que l'hypothèse d'un entraînement des sables vers le SW proposé par Larssonneur (1971).

3.2. Entre la paléovallée de la Seine et le plateau du Calvados, les fonds sont très monotones et dépourvus de structures sédimentaires superficielles (d'Ozouville et Auffret, 1985), à l'exception de structures d'érosion près de la côte. En fait, la couverture sédimentaire holocène masque ici un réseau de chenaux de 4 à 6 m de profondeur qui représentent le modelé de la surface sur laquelle s'est avancée la transgression holocène (fig. 1). Cette couverture est constituée d'argiles et sables fluvio-marins, sous une pellicule sableuse marine très mince ou absente. Avoine (1981) a rencontré cette formation fossile à l'affleurement au large de la Dives et la sismique nous a montré à l'ouest du méridien de Houlgate de larges surfaces formant écran à la pénétration du signal, interprétées ici comme l'affleurement de sédiments organiques contenant des gaz. La faible épaisseur ou l'absence des dépôts récents s'accorde avec les structures d'érosion mises en évidence par sonar latéral (Auffret *et al.*, 1985). Nous ignorons cependant si cette érosion est confinée là où nous l'avons observée, ou si elle concerne de plus larges surfaces.

La couverture sédimentaire holocène de la plateforme du Calvados, au sud de la paléovallée de la Seine, semble donc formée principalement de sédiments fluvio-marins fossiles affleurants ou faiblement recouverts de sables marins récents, voire même en voie d'érosion.

Notons qu'une petite accumulation développée en pointe vers le NW au sud du Parfond (fig. 1) est liée, comme le banc de Seine, au versant méridional de la paléovallée à l'abri duquel elle est développée.

### 3.3. Les deltas de jusant de l'Orne, la Dives, la Touque et la Seine :

Au débouché des estuaires, s'observent des protubérances sédimentaires dessinées sur les cartes marines par les isobathes de 0 et 5 m, voire 10 m pour le delta de jusant de la Seine. Ces ensembles représentent en partie l'équivalent actuel de l'unité fluvio-marine fossile observée au large du Calvados, sous la couche superficielle de sables marins. Ce sont les corps sédimentaires les plus actifs de la zone étudiée comme en témoignent les importants taux de sédimentation indiqués par les volumes annuels de dragage nécessaires pour le maintien des chenaux de navigation, qui atteignent plusieurs millions de mètres cubes en Baie de Seine (Avoine *et al.*, 1984). Il s'agit de constructions fluvio-marines qui, bien que situés à la sortie des estuaires, sont constituées principalement par des sédiments d'origine marine issus de la dérive littorale.

#### 3.3.1. Interprétation dynamique :

Les sables de plage sont poussés vers l'est le long de la côte du Calvados sous l'action des vagues et le débit solide, mesuré jusqu'à une profondeur de -5 m par suivi de traceur radioactif à l'ouest de l'Orne serait de l'ordre

de 60 000 m<sup>3</sup> par an (S.A.R. 1980). La source sédimentaire dominante est donc marine et composée de sables tractés par les vagues sur les plages et leur façade pré-littorale. L'action fluviale, ou plutôt estuarienne, est à la fois dynamique et sédimentaire: la marée, de régime semi-diurne macrotidal, deux fois par jour vide et emplit les estuaires. Ce volume oscillant d'eau de mer est considérable par rapport aux débits fluviaux (on peut évaluer à 12 ce rapport pour la Seine en vive eau), il est en outre transverse par rapport au débit solide de la dérive littorale, sur laquelle il exerce donc le même rôle qu'un épi de plage. Cet épi hydraulique arrête la dérive littorale au débouché des estuaires construisant ainsi les deltas externes de jusant.

Les estuaires internes jouent également un rôle sédimentaire dans l'évolution des deltas de marée de jusant comme sites d'accumulation temporaire, en condition d'étiage, de vase marine molle à haute teneur en eau ou "crème de vase". Les mesures de radioactivité artificielle nous ont permis de caractériser ces crèmes de vase dans l'Orne, à proximité du barrage de Caen (Auffret *et al.*, 1985). Elles sont brutalement expulsées hors des estuaires par les crues qui apportent également en mer des suspensions fluviales. Ce phénomène, appelé sortie du bouchon vaseux, est montré par Avoine *et al.* (1984) pour la Seine et par Dubrulle et Larssonneur (1984) pour l'Orne. Il est interprété comme une évolution récente causée par le développement des endigages en estuaire. Nous avons retrouvé des dépôts en masse de vases à la surface des deltas de jusant d'estuaires sur les enregistrements de sonar latéral (d'Ozouville et Auffret, 1986), ainsi que des figures d'érosion indiquant une reprise active de ces couches de vase molle par les houles de tempête jusqu'à une profondeur de -10 m (cote hydrographique). Les fluctuations d'extension importantes des surfaces envasées offshore en Baie de Seine (Avoine *et al.*, 1984) permettent de conclure que les phénomènes de reprise des vases actuelles, non compactées, sont aussi actifs ici que la sédimentation de ces sédiments fins. Le bilan cumulé de la sédimentation actuelle des vases, hors des estuaires et de leurs deltas de jusant, nous semble donc une contribution mineure au développement du corps sédimentaire holocène représenté figure 1.

### 3.2.2. Discussion :

Les deltas de marée externe, sont des unités très actives de sédimentation fluvio-marine car les apports sableux de la dérive littorale et vaseux des estuaires s'y rejoignent. Ces deltas de marée, exposés en promontoires à l'action des houles et des vents de mer, deviennent ainsi la source sédimentaire principale des sables de plage et de dunes et le support des flèches transverses ou pouliers qui barrent les estuaires. Ces cordons, par coalescence, évoluent vers la barrière côtière caractéristique des littoraux construits (Guilcher, 1954).

Il est intéressant de constater l'écart d'évolution existant ici entre les petits estuaires séniles de la côte du Calvados où l'émergence d'une barrière côtière a accéléré le colmatage interne des basses vallées (elles sont actuellement complètement comblées et aménagées), et l'estuaire de la Seine, moins évolué, où la masse principale du delta de jusant atteint actuellement le méridien du cap de la Hève (fig. 1). La progression des endigages qui reportent vers l'aval la sortie du chenal de Rouen, a accéléré la migration vers l'ouest du delta de jusant. Cette évolution conduira à terme à l'émergence d'une barrière côtière dunaire au front de l'estuaire avec pour conséquence l'accélération du colmatage de l'estuaire interne. Avoine (1981) a estimé cette échéance à 60 ans. Soulignons que cette barrière côtière a déjà existé au XVII<sup>e</sup> siècle entre Trouville et le Banc du Ratier (carte de 1677, in Lennier, 1885).

## 4. CONCLUSION.

Après avoir établi une carte détaillée en isopaques, de la géométrie du

prisme sédimentaire holocène, bilan de 8 000 ans d'évolution naturelle et de 150 ans d'évolution contrôlée par les travaux d'aménagement; nous avons recherché les formes sédimentaires actives, caractérisant l'évolution actuelle. A l'échelle mesurable par les méthodes géophysiques utilisées, la sédimentation sableuse actuelle est très inégalement répartie sur la surface occupée par les sédiments holocènes. Elle est limitée au banc de Seine et aux deltas de marée des estuaires. Le reste de la surface a un bilan sédimentaire nul ou même négatif, comme les figures pré littorales d'érosion sous-marine le montrent.

La sédimentation fine (vase) d'origine estuarienne a un caractère temporaire et son rôle dans le bilan global du prisme sédimentaire, hors des estuaires internes, paraît mineur en raison du niveau élevé d'agitation des eaux par les courants de marée et les houles, principalement lors des tempêtes.

- Allen J.R.L. (1984).- Sedimentary structures, their character and physical basis. Dev. in Sedimentol, v. 30, 1196 p, Elsevier ed., Amsterdam.
- Auffret J.P. & Larssonneur 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., Larssonneur C. & Smith A.J. (1983).- La Manche orientale, carte au 1/500 000e 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. XVIIIe Journées de l'hydraulique, Marseille, rap. 1/14, 8 p.
- Auffret J.P. & d'Ozouville L. (1985).- Apports de l'imagerie fournie par le sonar à balayage latéral à la connaissance de la dynamique sédimentaire en Baie de Seine. Ce volume, N° 18.
- Auffret J.P., Guéguéniat P., Lepy M.C., Patry J.P. & Saur H. (1985).- Les radionucléides émetteurs gamma dans les sédiments de l'estuaire de l'Orne pendant les années 1977-1983. Ce volume, N° 21.
- Avoine J. (1981).- L'estuaire de la Seine, sédiments et dynamique sédimentaire. Thèse 3ème cycle, Caen, 264 p.
- Avoine J., Boust D., Crevel L., Dubrulle L. & Guéguéniat P. (1984).- Sédiments et dynamique sédimentaire en Baie de Seine. Soc. Hydro. Fr., 18ème Journées de l'hydraulique, Marseille, rap. 1/3, 8 p.
- Avoine J., Caillot A., Hoslin R., Larssonneur C., Massias J. & Quesney M. (1984).- Mise en évidence de mouvements sédimentaires en Baie de Seine à l'aide de traceurs radioactifs. Soc. Hydro. Fr., 18ème Journées de l'hydraulique, Marseille, rap. 1/2, 8 p.
- Bonnefille R. (1963).- Essais de synthèse des lois de début d'entraînement des sédiments sous l'action d'un courant en régime continu. Bull. Cent. Rech. Chatou, n° 5, p. 67-72.
- Dubrulle L. & Larssonneur C. (1984).- Dynamique sédimentaire de l'estuaire de l'Orne. Soc. Hydro. Fr., 18ème Journées de l'hydraulique, Marseille, rap. 1/6, 6 p.
- Guilcher A. (1954).- Morphologie littorale et sous-marine. PUF ed., Paris, 216 p.
- Larssonneur C. (1971).- Manche centrale et Baie de Seine: Géologie du substratum et des dépôts meubles. Thèse, Caen, 394 p.

- Le Floch J.F. (1961).- Propagation de la marée dynamique dans l'estuaire de la Seine et la Seine Maritime. Thèse, Paris, 507 p.
- Lennier G. (1885).- Mémoires notes et documents pour servir à l'étude de l'estuaire de la Seine. 3 vol. Hustin ed., Le Havre.
- d'Ozouville L. & Auffret J.P. (1986).- Répartition et évolution actuelle des sédiments superficiels en Baie de Seine orientale en utilisant un sonar à balayage latéral. Océanol. Acta, à paraître.
- Salomon J.C. (1985).- Courantologie calculée en Baie de Seine. Ce volume, N° 2.
- S.A.R. (1980).- Etude des mouvements sédimentaires à l'aide de traceurs radioactifs au voisinage de l'embouchure de l'Orne. Rap. CEA 80/8/Q2, 50 p.
- Vaslet D., Larssonneur C. & Auffret J.P. (1978).- Carte des sédiments superficiels de la Manche au 1/500 000e et notice. B.R.G.M. ed., Orléans.