AMÉNAGEMENT DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Approfondissement du chenal d'accès au port de Rouen

par T. Kérisel

Ingenieur des Ponts et Chaussées, Directeur des Accès
du Port Autonome de Rouen

Introduction

L'aménagement de l'estuaire de la Seine est un problème fort vaste. Nous nous limiterons donc ici à l'exposé de deux problèmes concrets qui se sont posés récemment à propos de cet estuaire et nous essayerons de préciser la manière dont ces problèmes ont été étudiés et les solutions qui leur ont été apportées.

Le présent article traite de l'approfondissement du chenal d'accès au port de Rouen, dans la partie aval de l'estuaire de la Seine, qui a été réalisé par le Port Autonome de Rouen en 1970 et 1971. L'article ci-après de M. Barailler expose l'étude qui a été faite en 1972 par la SOGREAH, pour le compte de la Compagnie Française de l'Azote, sur les conséquences que pourraient avoir des rejets de gypse sur les eaux et sur les fonds de l'estuaire de la Seine.

Mais, tout d'abord, pour replacer ces deux problèmes dans leur cadre, il est nécessaire de rappeler rapidement l'historique de l'aménagement de l'estuaire de la Seine avant 1970.

Historique de l'aménagement de l'estuaire de la Seine avant 1970

En 1834, date du premier levé hydrographique complet réalisé par Beauteemps-Beaupré, le fleuve était encore, entre La Mailleraye et la mer, soit sur 60 km, à l'état d'estuaire (fig. 1).

De 1848 à 1867, des endiguements longitudinaux furent exécutés entre La Mailleraye et la Risle (fig. 2); ces digues

étaient simplement conçues de manière à border le lit mineur existant à l'époque de leur construction.

Au fur et à mesure de l'avancement des digues, on vit le chenal se redresser, se fixer et s'approfondir. La suppression de certains seuils permit à des navires de 4,50 m de tirant d'eau de remonter à Rouen en douze heures alors qu'autrefois il fallait quatre ou cinq jours au moins.

De 1867 à 1895, ne furent exécutés que des travaux de consolidation des digues existantes.

Après des négociations laborieuses en 1895, la digue Nord haute fut prolongée et la construction d'une digue Sud convexe, entre la Risle et Honfleur, fut entamée (fig. 3). Ces travaux ne donnèrent que de très médiocres résultats. Le chenal continua à divaguer dans l'estuaire (fig. 4 et 5) et les profondeurs restèrent faibles du fait de cette instabilité.

Il est intéressant de noter, au passage, les erreurs qui pouvaient être commises autrefois, faute de pouvoir disposer des précieux outils que sont le modèle mathématique et le modèle physique pour tester les aménagements envisagés.

Des nouvelles études furent exécutées de 1918 à 1932 et l'aboutissement de ces études fut la loi du 11 janvier 1932 (fig. 6). Reprenant l'idée d'un chenal de courbure de même sens, le programme de la loi de 1932 voulait appuyer le chenal sur une digue Sud concave, entre la Risle et Honfleur, puis sur une digue Sud rectiligne appelée digue du Ratier pour guider le chenal vers la fosse centrale de l'estuaire. Le programme nécessitait de déraser la digue Sud construite de 1895 à 1906 et de draguer les alluvions déposées en arrière de cette digue. Les travaux débutèrent juste avant la guerre de 1940 et durent être arrêtés au début de celle-ci. Ils furent repris après la guerre et, à partir de 1950, parallèlement à l'exécution des travaux de rescindement, dont le principe ne risquait pas d'être remis en cause, un modèle réduit de l'estuaire de la

- 1/ Schéma de l'estuaire de la Seine avant aménagement.
 2/ Estuaire de la Seine. Endiguements exécutés de 1848 à 1867.
 3/ Estuaire de la Seine. Projets étudiés en 1895 et travaux exécutés de 1895 à 1920.

6/ Estuaire de la Seine. Projet approuvé par la loi de 1932.

Seine fut construit à Grenoble par la SOGREAH pour tester les dispositions du projet de la loi du 11 janvier 1932.

Diverses solutions comportant des tracés de digues basses à l'aval de Honfleur furent essayées et la plus satisfaisante fut celle réalisée (fig. 7).

Le résultat des travaux, menés sous la direction de M. Banal, maintenant Président du Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France, puis de M. Chapon, maintenant Directeur des Ports Maritimes et des Voies Navigables, fut remarquablement conforme aux prévisions tirées des essais sur modèle.

L'augmentation de tirant d'eau obtenu fut d'environ 2,50 m (fig. 8), portant ainsi le tirant d'eau autorisé à la montée à Rouen à 8,00 m en morte-eau et 10,00 m en vive-eau. Grâce à cette augmentation de tirant d'eau, le trafic annuel du port de Rouen passa entre 1962 et 1964 de 7,8 à 11,1 millions de tonnes.

Devant le résultat exceptionnellement favorable des travaux exécutés de 1956 à 1963, des études de nouveaux aménagements furent entreprises dès le début du V^e Plan.

Le graphique des tirants d'eau (fig. 8) montrait, en effet, que les travaux exécutés de 1956 à 1963 avaient atteint leur plein effet et que le tirant d'eau ne pourrait être à nouveau augmenté sans de nouveaux travaux. C'est de ces nouvelles études, sur modèle mathématique et sur modèle physique, effectuées par le Port Autonome de Rouen avec l'aide de SOGREAH de 1967 à 1969 et des travaux qui ont été effectués ensuite, en 1970 et 1971, qu'il va être maintenant question.

L'approfondissement du chenal d'accès au port de Rouen

Les études (1967-1969)

Une étude par calcul de la propagation de la marée en baie de Seine fut tout d'abord faite. Dans la première étape, le modèle mathématique couvrait la Manche, limitée à l'Ouest par une ligne joignant la pointe de La Hougue à l'île de Wight et la mer du Nord, limitée à l'est par le détroit du Pas-de-Calais (fig. 9).

Dans la deuxième étape, le modèle couvrait la zone

située à l'est d'une ligne reliant la rade de Caen au cap d'Antifer (fig. 10).

Ces deux modèles ont permis de définir la position à donner à la limite du modèle physique de l'estuaire de la Seine (fig. 10) pour que, au-delà de cette limite, les modifications de configuration de l'estuaire ne se repercutent pas de façon sensible, et ont montré, qu'en deçà de cette limite, la suppression de l'accélération de Coriolis n'avait pas d'influence sensible sur le régime de propagation de la marée.

Une étude par calcul de la propagation de la marée dans l'estuaire, compte tenu de la présence de différents tracés d'endiguements, fut alors faite et permit de ne retenir que les tracés les plus intéressants pour une étude sur modèle physique.

Parallèlement, la préparation du modèle physique fut entreprise. Les principales caractéristiques de ce modèle (fig. 11) étaient les suivantes :

- échelles : 1/1 000^e en plan et 1/100^e en hauteur;
- succession des marées représentée par une marée du coefficient unique 95;
- fonds de sables fins de la nature (diamètre moyen voisin de 0,10 mm) représentés par de la sciure de bois de 400 microns de diamètre;
- houle uniquement pendant le flot (période 6 s, direction W 10 N);
- débit propre de la Seine : 300 m³/s pendant un tiers du temps et 1 200 m³/s pendant deux tiers du temps.

Les essais de réglage ont permis, en particulier, de reproduire correctement les courbes marégraphiques (fig. 12). Les essais d'historique, qui ont porté sur la période de 1901 à 1936, ont ensuite permis de définir l'échelle du temps d'évolution des fonds (54 marées sur le modèle pour 1 an dans la nature) et de reproduire correctement les migrations importantes du chenal de navigation (fig. 13, 14 et 15); si la restitution des fonds n'est pas toujours parfaite, c'est parce qu'on a fait varier divers paramètres au cours des essais d'historique, en particulier l'amplitude de la houle et le mode d'alimentation des matériaux.

Dix essais sur le modèle physique ont été ensuite effectués.

Le premier essai a été bien sûr l'essai de la situation atteinte par l'estuaire en 1963, en supposant qu'on n'effectuerait plus de nouveaux travaux; cet essai, destiné à servir de base de comparaison pour les suivants, a en outre confirmé que, sans nouveaux travaux, on n'obtiendrait pas de nouveaux gains de tirant d'eau.

Ensuite, ont été testés les effets de divers ouvrages : surélévation de la digue du Ratier, construction d'une digue Nord de calibrage haute ou basse, mise hors d'eau de la partie Nord de l'estuaire, etc.

Finalement, c'est la solution testée au cours du huitième essai qui a été retenue (fig. 16) à savoir :

- i) dérasement des fonds inaffouillables de l'engainement du chenal de navigation entre les méridiens (— 1,000) et + 5,000), soit sur 6 km de longueur, jusqu'à obtenir la cote (— 6,00) CMH à l'aval du méridien (+ 4,000),
- ii) construction d'une digue Nord de calibrage du lit mineur à la cote (+ 2,50) CMH entre les méridiens (+ 7,000) et (+ 12,000), soit sur 5 km de longueur.

Une décision ministérielle du 11 septembre 1970 a donné, au Port Autonome de Rouen, le feu vert pour l'exécution des travaux et ceux-ci ont démarré très rapidement.

7/ Estuaire de la Seine. Situations de 1957 et 1967.

Jauge moyenne des navires entrés au Port de ROUEN

8/ Port de Rouen. Graphique de la cote de pilotage.

9/ Etude SOGREAH. Modèle mathématique de la Manche.

MODÈLE DE LA SEINE Courbes marégraphiques

— Nature
- - - - - Modèle

Date : 26-10-67
Débit nature : 300 m³/s

10/ Etude SOGREAH. Limites du 2^e modèle mathématique et du modèle physique.

12/ Etude SOGREAH. Courbes marégraphiques en Seine nature et modèle.

11/ Vue du modèle réduit de l'estuaire de la Seine à Grenoble et de l'appareillage utilisé.

13/ Estuaire de la Seine.
Situation 1911 nature et modèle.

14/ Estuaire de la Seine.
Situation 1919 nature et modèle.

16/ Estuaire de la Seine.

15/ Estuaire de la Seine.
Situation 1927 nature et modèle.

Les travaux (1970-1971)

1. — Les travaux de dragage de l'engainement ont été exécutés du 25 septembre 1970 au 20 octobre 1971 par trois dragues aspiratrices en marche :

- la drague *Cap d'Antifer*, de l'Union Maritime de Dragage, de 2 800 m³ de capacité de puits;
- les dragues aspiratrices en marche *Charles Belleville* et *Victor Guilloux*, du Port Autonome de Rouen.

Ces dragages ont présenté deux difficultés principales.

Tout d'abord, les terrains à draguer, comme l'avait montré une reconnaissance géophysique préalable par sismique réflexion et des carottages de gros diamètre, étaient constitués par des lits alternés de galets, de sables fins, de limons et d'argiles avec des pendages très variables d'un point à l'autre.

Les zones de galets ont été draguées principalement par la *Cap d'Antifer*, l'intervention des dragues *Charles Belleville* et *Victor Guilloux*, conçues pour assurer l'entretien de l'estuaire, étant limitée au dragage du sable et de l'argile.

Il a pu être vérifié, à cette occasion, que la méthode la

Solution retenue pour l'aménagement.

17/ Estuaire de la Seine. Sondages au 1/10 000^e d'octobre 1970 et d'octobre 1971 entre les méridiens (— 1,000) et (+ 5,000).

18/ Estuaire de la Seine. Profil en travers type de la partie aval de la digue du Ratier et profil en travers type de la digue basse Nord entre (+ 7,000) et (+ 12,000).

19/ Nivellement à basse mer de la nouvelle digue basse Nord.

20/ Sondages au 1/10 000^e entre les méridiens (+ 7,000) et (+ 12,000) avant et après travaux.

plus économique pour venir à bout de bancs de matériaux de forte granulométrie est d'utiliser une drague aspiratrice en marche ayant, comme la *Cap d'Antifer*, un bec d'élinde de grandes dimensions, une vitesse d'aspiration importante dans l'élinde, une forte puissance installée et une importante capacité de puits à déblais.

La deuxième difficulté, également bien prévue avant le lancement des travaux, a résulté du fait que d'importants apports intercalaires de sables fins se sont produits pendant la période d'exécution des travaux. Sur un volume dragué de 4 600 000 m³ (dont 2 500 000 m³ pour la *Cap d'Antifer*), les apports intercalaires ont représenté environ 1 500 000 m³. Cependant, l'intervention concentrée des trois dragues a permis d'avoir une production journalière bien supérieure au rythme des apports et de réaliser le dérasement prévu des bancs inaffouillables (fig. 17).

2. — En ce qui concerne maintenant la construction de la digue Nord de calibrage du lit mineur de la Seine, entre les méridiens (+ 7,000) et (+ 12,000), les travaux ont été exécutés entièrement en régie par les engins du Port Autonome de Rouen.

Cette digue de calibrage, du fait qu'elle se trouve dans une partie de l'estuaire plus protégée de la houle du large que la digue du Ratier, a été constituée entièrement de galets sans carapace de protection, c'est-à-dire suivant un profil en travers beaucoup plus léger que celui de la digue du Ratier (fig. 18). Les galets ont été dragués dans le chenal, près du confluent de la Risle et de la Seine, à environ 12 km en amont, par la drague à godets *DR II*, puis transportés sur les lieux et clapés entre des pieux balisant l'emplacement de la digue par des porteurs automoteurs et des chalands adaptés au poussage.

Les clapages ont été effectués de juin 1971 à octobre 1971

et le volume de galets ainsi mis en place a été de 230 000 m³. Les tas de galets clapés étaient nivelés à la cote (+ 2,50) à l'aide d'un bulldozer transporté sur un ponton et débarqué sur la digue à chaque basse mer de vive-eau (fig. 19). La construction de la digue basse Nord a nettement amélioré la cote des fonds dans le lit mineur de la Seine (fig. 20).

Par ailleurs l'expérience a montré que la tenue des galets de la digue basse Nord était assez bonne et que cette digue ne nécessitait qu'un entretien normal.

Conclusion sur l'approfondissement du chenal d'accès

En conclusion, les travaux d'approfondissement du chenal d'accès effectués en 1970 et 1971 dont le coût y compris les études préliminaires n'a été que d'environ 20 000 000 F ont permis :

- d'augmenter de 1 m le tirant d'eau des navires qui peuvent accéder au droit de la zone industrielle de Honfleur;
- de faire engainer les navires, à destination de Rouen et de Port-Jérôme, 1 heure plus tôt;
- de réduire et de concentrer les dragages d'entretien dans la partie aval de l'estuaire.

Le résultat des travaux d'approfondissement a ainsi été excellent et tout à fait concordant avec les prévisions faites sur modèles.

Il reste à poursuivre les travaux d'approfondissement dans la partie amont de l'estuaire.

Des études sont actuellement en cours à ce sujet avec l'aide de SOGREAH.

Cette communication a été discutée en même temps que la communication suivante. On trouvera le texte de cette discussion à la page 69.