CHAPTER 33

RESULTATS D'ETUDES SUR MODELE DE LA DIMENSION DES ENROCHEMENTS A UTILISER POUR LA COUPURE D'UNE RIVIERE OU D'UN ESTUAIRE A MAREE

J. Goddet
Laboratoire National d'Hydraulique - Chatou - France

L'usine marémotrice projetée par Electricité de France sera située à l'embouchure de l'estuaire de la Rance, dans le golfe de Saint Malo. Ce site est particulièrement favorable, en raison de la grande amplitude des marées (13,50 m à 14 m en vives eaux exceptionnelles) et de la grande capacité de l'estuaire par rapport à sa largeur ; le volume d'eau emmagasiné par une marée de vives eaux à l'amont de l'emplacement du barrage, est de 180 millions de m^3. Le barrage aura une longueur de 800 mètres environ, correspondant à la largeur actuelle de l'estuaire, et sera établi sur des fonds rocheux situés à 10 mètres environ au-dessous des plus basses-mers. La cote supérieure de l'ouvrage sera à + 15 mètres, de sorte qu'en vives eaux le barrage n'émergera que de 1,50 m. La puissance installée sera de 350 000 kilowatts environ. La situation de l'usine marémotrice est indiquée sur la figure 1.

LES PROBLEMES POSES PAR LA COUPURE DE L'ESTUAIRE

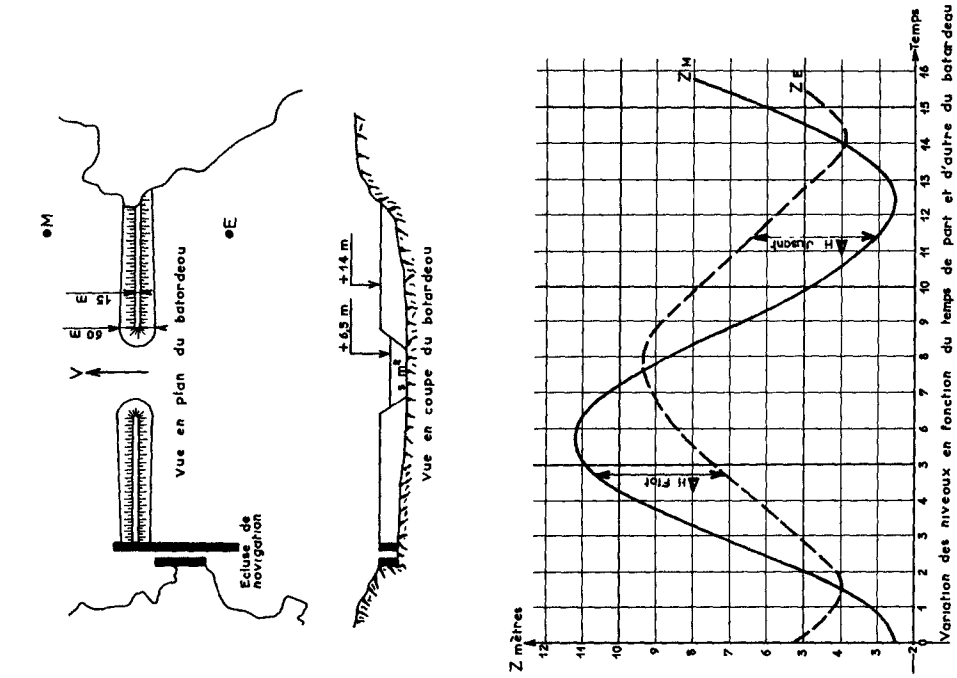
Il a été décidé de construire ce barrage à sec, à l'abri d'une enceinte étanche, dont la réalisation nécessitera un ouvrage de coupure. L'un des procédés envisagés pour cette dernière consiste à fermer progressivement l'estuaire au moyen d'un batardeau en enrochements déversés à l'avancement, simultanément à partir des deux rives. Dans ces conditions, les derniers enrochements déversés auront à supporter des courants de plus en plus forts, le moment critique se présentant quand le batardeau sera près de la phase de fermeture. Ces courants seront d'ailleurs fonction également de l'amplitude de la marée en mer, et l'on pourra profiter d'une période de mortes eaux pour réaliser la fermeture. Le problème concret posé par ce type de coupure, est :

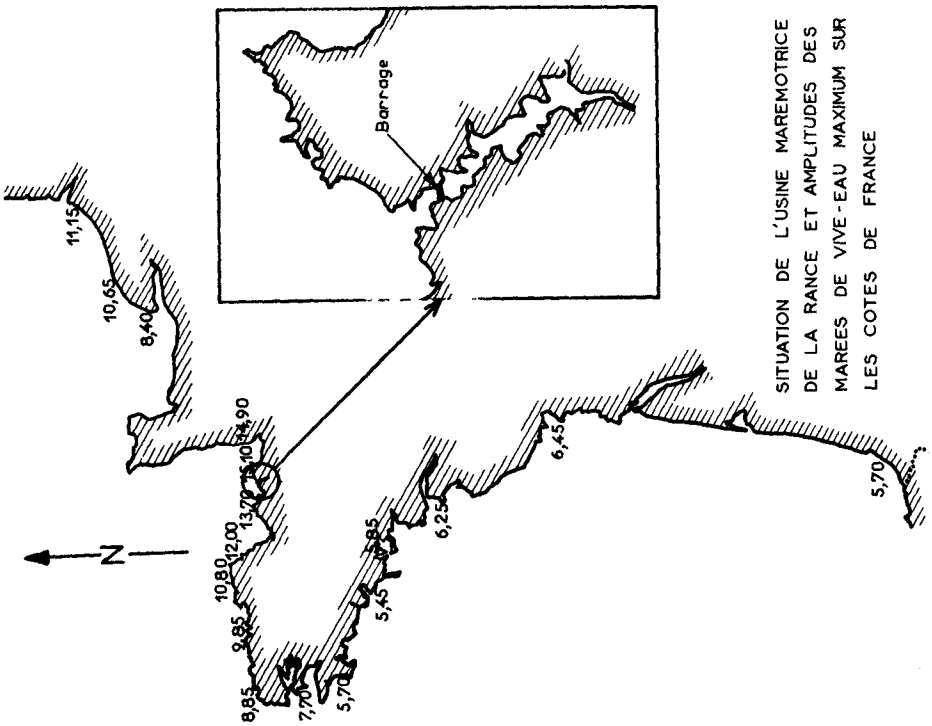
- d'une part de connaître les courants qu'on aura à vaincre au droit de la coupure, en fonction de l'avancement des travaux, et de la marée au large,

- d'autre part de prévoir les dimensions des enrochements qu'on devra utiliser pour résister à ces courants.

Ce problème a été étudié sur un modèle à l'échelle 1/150, établi sur place par le Laboratoire National d'Hydraulique. Le modèle, sans distorsion, représente l'ensemble de l'estuaire et permet de réaliser toutes les suites de marées naturelles que l'on désire.

Le problème, limité d'abord à des cas un peu particuliers, où l'on se fixait l'avance l'étendue granulométrique des enrochements à utiliser, la cadence de déversement de ces derniers et la succession des marées correspondant à la durée de construction du batardeau, a été ensuite étendu par quelques essais complémen-





SITUATION DE L'USINE MAREMOTRICE DE LA RANCE ET AMPLITUDES DES MAREES DE VIVE-EAU MAXIMUM SUR LES COTES DE FRANCE

taires. En définitive, les essais ont permis de déterminer le poids maximum des enrochements, ayant une étendue granulométrique déterminée, qui sont à la limite de stabilité dans un courant de vitesse moyenne donnée, c'est-à-dire pour une marée donnée et un avancement des travaux bien défini.

EXPOSE DES ESSAIS ET RESULTATS

Les essais ont été effectués en deux temps :

- dans une première série, le batardeau était représenté en ciment sur le modèle, de façon à éliminer le débit de percolation à travers les enrochements, et à rendre plus facile la détermination de la vitesse moyenne dans la brèche,

- dans une deuxième série d'essais, le batardeau était réalisé en enrochements représentés à l'échelle du modèle, ce qui permettait d'étudier la stabilité de ces derniers.

ETUDE DES COURANTS ET DES DENIVELLATIONS AU COURS DE L'AVANCEMENT DES TRAVAUX

La figure 2 indique l'implantation des ouvrages. Les paramètres retenus pour l'étude de la coupure sont les suivants :

s mètres carrés : section en mètres carrés de la brèche résiduelle entre les deux tronçons du batardeau de coupure, limitée par les fonds naturels et par l'horizontale de cote + 6,50 (niveau de mi-marée),

V mètres/seconde : vitesse moyenne dans la brèche, et maximum dans le temps, au cours d'une marée d'amplitude A mètres,

$\Delta H = |z_M - z_E|$ mètres : dénivellation maximum dans le temps, au cours de la même marée, existant entre 2 points M et E situés de part et d'autre des ouvrages de coupure et assez loin de ceux-ci pour que les oourants y soient faibles.

La figure 3 donne les courbes de variation de V et de ΔH en fonction de s, pour $A = A_0$, $A_0 = 8{,}45$ m étant l'amplitude de la marée moyenne. On a distingué les valeurs de ΔH et V correspondant respectivement au flot (courant de remplissage) et au jusant (courant de vidange). Des courbes semblables ont été obtenues pour différentes valeurs de l'amplitude A.

On voit que la dénivellation, inexistante pour les grandes valeurs de s (correspondant au début des travaux), croît progressivement pour atteindre approximativement en fin de coupure la valeur $A_0/2$. Les dénivellations sont du même ordre au flot et au jusant.

Par ailleurs, les vitesses moyennes dans la brèche qui, pour les grandes valeurs de s, sont relativement faibles, atteignent des valeurs importantes en

fin de coupure. A ce moment, on peut écrire pratiquement :

$$V = 0{,}66 \sqrt{2\, g\, \Delta H}$$

Cette relation devant n'être considérée comme valable que dans le cas particulier étudié, c'est-à-dire pour une configuration géométrique déterminée.

ETUDE DE LA STABILITE DES ENROCHEMENTS

Les enrochements utilisés ont été définis par deux paramètres :

P kg : poids maximum des enrochements du mélange utilisé,

$x = P/p$: étendue granulométrique ou rapport du poids maximum au poids minimum des enrochements du mélange utilisé, en supposant la courbe granulométrique linéaire en coordonnées semi-logarithmiques.

On a effectué des essais pour un certain nombre de valeurs de P et de x. Dans chaque cas, on diminuait progressivement la largeur de la brèche jusqu'à obtenir, pour une marée d'amplitude donnée, des conditions correspondant à la limite de stabilité.

Cette limite de stabilité, caractérisée par le poids maximum des enrochements nécessaires, s'est révélée au cours des essais dépendre presque uniqueme de la vitesse moyenne atteinte dans la brèche, qui semble être le paramètre im portant, beaucoup plus que la dénivellation entre les deux biefs.

Les granulométries des différents mélanges d'enrochements utilisés sont indiquées sur la figure 4.

Les résultats de l'étude sont portés sur la figure 5. On voit que pour une valeur donnée de l'étendue granulométrique, x = constante, le poids maxim des enrochements à utiliser varie comme la puissance 6 de la vitesse du cour

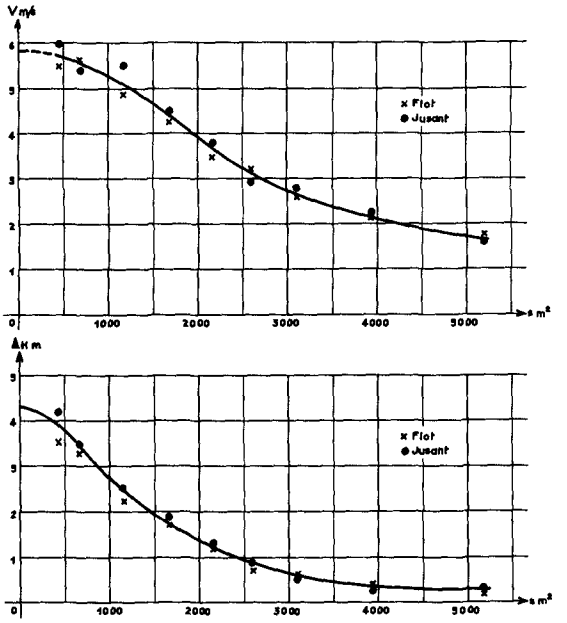
Ce résultat confirme les lois établies pour d'autres types de coupures, notamment les coupures par tranches horizontales, lois qui sont de la forme :

$$d = k\, v^2 \qquad (1)$$

où d est le diamètre des enrochements. Toutefois, il met en évidence l'influe notable de l'étendue granulométrique, ce qui peut expliquer la grande dispers existant entre les différentes valeurs de k, dans la relation (1), suivant l auteurs.

A titre indicatif, les résultats obtenus pour le cas x = 2,5, correspo dant à un mélange d'enrochements relativement homogène, ont été portés sous

RESULTATS D'ETUDES SUR MODELE DE LA DIMENSION DES ENROCHEMENTS A UTILISER POUR LA COUPURE D'UNE RIVIERE OU D'UN ESTUAIRE A MAREE



VARIATION DE LA VITESSE MOYENNE DANS LA BRECHE ET DE LA DENIVELLATION EN FONCTION DE LA SECTION DE PASSAGE A MI-MAREE POUR UNE MAREE MOYENNE (AMPLITUDE 8,45 m)

Fig. 3

COURBES GRANULOMETRIQUES DES MELANGES D'ENROCHEMENTS UTILISES

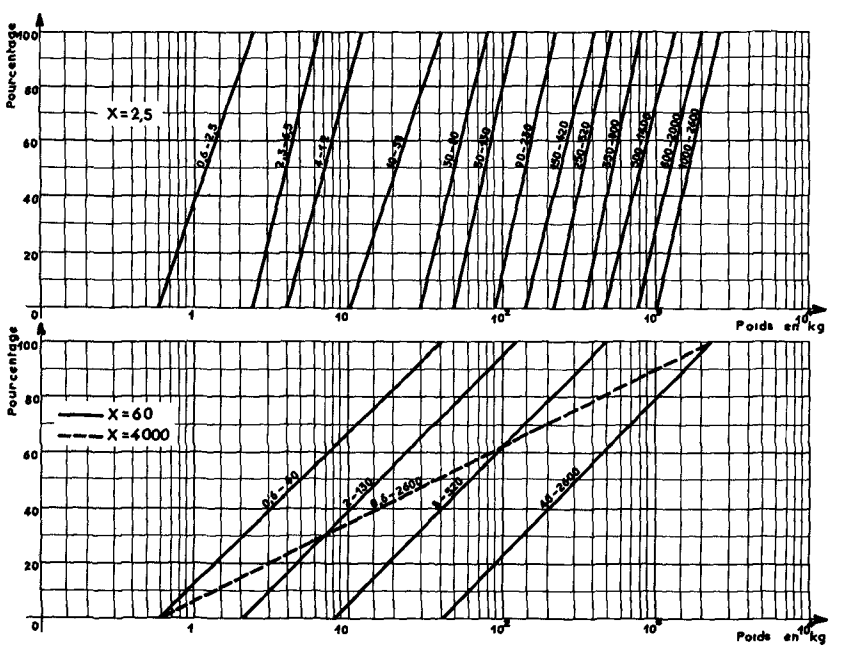
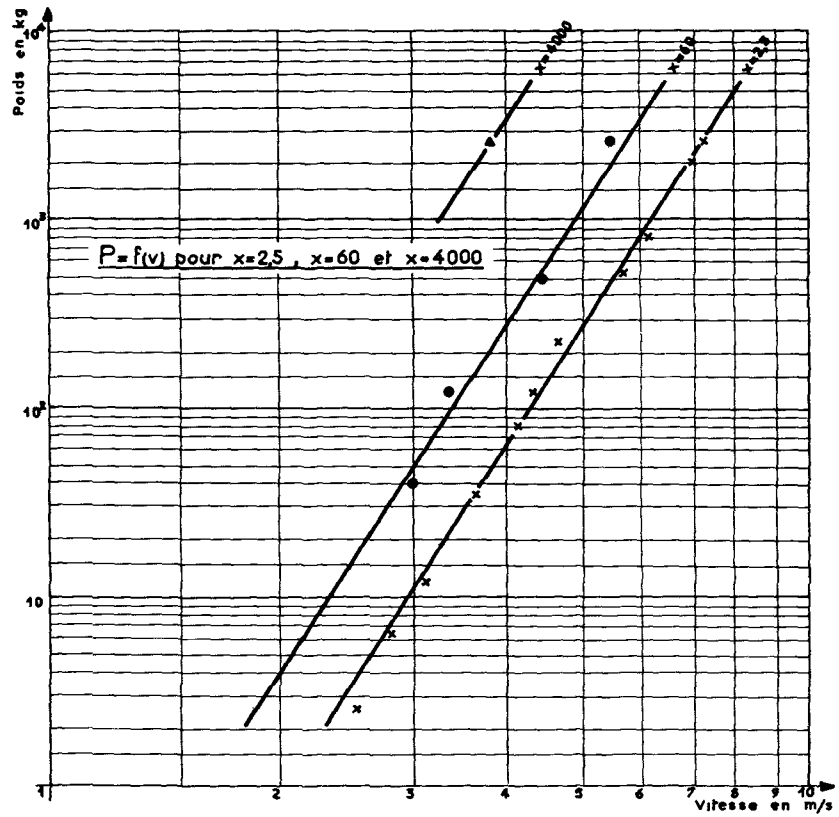


Fig. 4

COURBES DONNANT LE POIDS P DES ENROCHEMENTS ET L'ETENDUE GRANULOMETRIQUE x QUI SONT A LA LIMITE DE STABILITE DANS UN COURANT DE VITESSE MOYENNE V



VITESSE NECESSAIRE POUR ENTRAINER DES PIERRES DE DIFFERENTS POIDS

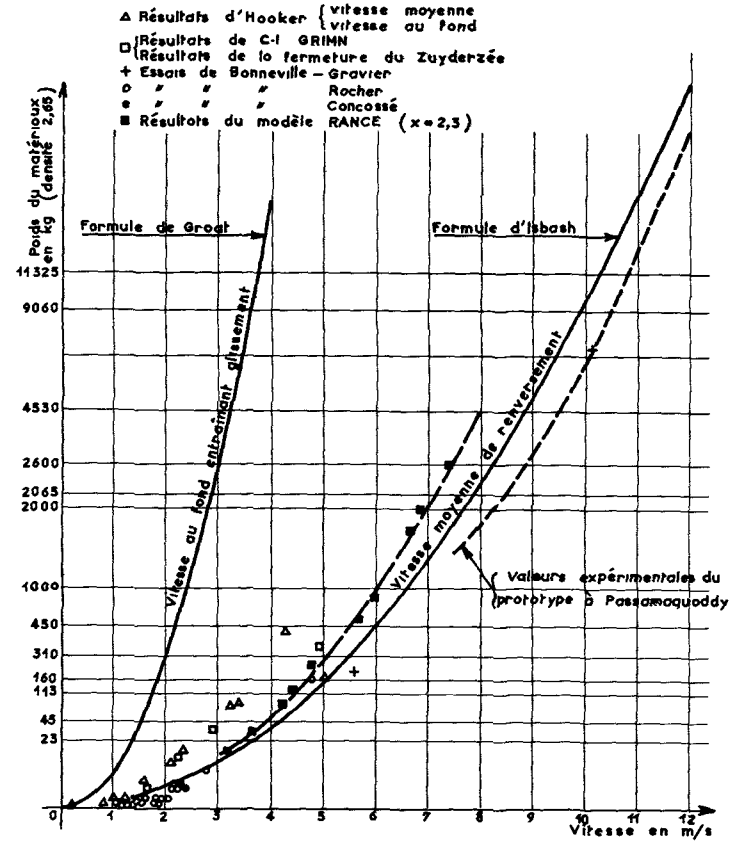


Fig. 6

la forme P = f (v), figure 6, sur un diagramme comportant différents résultats déjà connus, relatifs à des projets réalisés en Amérique ou à des études théoriques connues.

POSSIBILITE D'EXTENSION DES RESULTATS CI-DESSUS

La validité des résultats concernant les variations de la vitesse moyenne et de la dénivellation en fonction de l'avancement des travaux est évidemment limitée au cas particulier de la Ranoe, tout au moins en ce qui concerne les valeurs numériques.

Par contre, les résultats concernant le dimensionnement des enrochements semblent susceptibles d'une certaine généralisation. En effet, les essais ont mis en évidence l'influence prédominante, sur la stabilité des enrochements de caractéristiques déterminées, de la vitesse moyenne dans la brèche. La configuration géométrique de la brèche, variable avec l'avancement des travaux, semble donc n'avoir pas d'influence sensible sur la stabilité. De plus, les essais consistant en une recherche de limite de stabilité, le facteur temps ne semble pas devoir jouer, de sorte que les résultats, valables pour des courants de marée alternatifs, doivent pouvoir etre étendus au cas d'une coupure en rivière sans modifications notables.