

SOGREAH : L'ÉVOLUTION DES MOYENS D'ESSAIS

par Arthur de GRAAUW*

La Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques (SOGREAH) s'est dotée d'un nouveau laboratoire d'hydraulique, à Pont-de-Claix. Il permettra un affinement des études sur modèles réduits, que réalise cette société dans le cadre des projets d'aménagement, et facilitera ainsi la maîtrise de grands problèmes, rencontrés tant dans le domaine maritime que fluvial.

Les études sur modèles réduits présentent divers avantages. Elles fournissent les éléments indispensables à une bonne élaboration du projet, constituent — au stade de la conception — un support de réflexion inégalable, grâce à la visualisation des phénomènes et favorisent, lors de la définition d'ouvrages, le difficile compromis entre le coût minimal et la sécurité. Elles concernent tout aussi bien les problèmes maritimes que les problèmes fluviaux.

Dans le domaine maritime, les problèmes à résoudre en laboratoire sont liés à des questions de stabilité d'ouvrages côtiers et de sédimentologie marine pour lesquelles les modèles mathématiques ne suffisent pas. Ceux-ci doivent être souvent complétés par des modèles physiques.

Tous les ouvrages construits en bordure de la côte peuvent être soumis à des forces considérables dues à l'impact des vagues durant les tempêtes. Ces ouvrages doivent donc être protégés soit par des carapaces constituées d'enrochements ou de blocs artificiels suffisamment lourds (digues à talus), soit par des structures en béton (digues verticales). Or les structures de protection des ouvrages doivent être dimensionnées pour les plus grosses tempêtes prévisibles durant la vie des ouvrages (soit plusieurs décennies). Il n'est donc pas rare de dimensionner un ouvrage pour des vagues de plus de dix mètres de hauteur. L'énergie mise en jeu dans de telles conditions laisse peu de place à l'erreur.

Les études de stabilité sont souvent réalisées en deux étapes. Elles comportent une étude en canal à houle qui ne prend en compte que l'attaque frontale de la houle sur une portion du profil courant de l'ouvrage, puis une étude en bassin pour d'autres directions de houle et pour les points singuliers de l'ouvrage (musoirs, courbes prononcées, concentrations d'énergie des vagues dues aux fonds). Une étude de stabilité coûte l'équivalent d'une portion de quelques mètres linéaires de digue à talus située par des fonds de l'ordre de dix mètres.

Venons-en à l'aspect sédimentologique. La plupart des ouvrages construits sur une côte sableuse ou vaseuse ont un impact non négligeable sur leur environnement au point de déboucher sur des problèmes sédimentologiques

d'érosion et de sédimentation. Un exemple caractéristique est celui d'un ouvrage construit sur une côte sableuse, le long de laquelle existe un transport littoral de sable sous l'effet de la houle et des courants. L'ouvrage forme alors un obstacle au transport littoral ; ce qui entraîne une sédimentation en amont de l'ouvrage et une érosion en aval.

La situation est cependant souvent très complexe. Elle nécessite à la fois des expertises sur le site, des études préliminaires sur modèle mathématique (propagation de la houle et des courants, estimation du transport littoral) et des études détaillées sur modèle physique. L'enjeu peut être considérable, l'érosion d'un littoral pouvant atteindre dix mètres et plus de recul par an, soit à terme des pertes de dizaines, voire de centaines d'hectares de terrain. Les problèmes d'érosion peuvent devenir dramatiques lorsque la zone concernée est urbanisée ou touristique. La sédimentation, quant à elle, peut entraîner la nécessité de coûteux dragages dans le chenal d'accès d'un port par exemple. Les pertes financières se chiffrent alors en millions, voire en dizaines de millions de francs par an.

Les études sur modèle physique comprennent tout d'abord une étape délicate de choix des échelles du modèle et du matériau mobile qui devra simuler la situation en nature. Une seconde étape consiste à régler le modèle de façon à obtenir une reproduction satisfaisante d'une évolution connue du littoral en nature. Cette vérification étant assurée, l'étude des nouveaux aménagements projetés peut s'engager. Une étude de sédimentologie coûte



Contrôle de vagues et courants à l'une des deux extrémités d'un modèle; chaque cellule (1,5 m de large) est pilotée indépendamment par un micro-ordinateur.

* Arthur de GRAAUW : chef du laboratoire d'hydraulique de SOGREAH.

l'équivalent de quelques milliers de mètres carrés de terrain en bordure de mer.

La complexité des phénomènes physiques en jeu dans le domaine maritime nécessite une simulation sur modèle physique dans la majorité des cas, souvent un dimensionnement correct des ouvrages et une bonne estimation de leur impact sur l'environnement.

Dans le domaine fluvial, la sédimentologie joue également un rôle important. Les questions de sécurité des ouvrages y sont encore plus fondamentales en raison du risque potentiel direct pour les populations, vivant à l'aval des aménagements.

Pour tous les barrages hydroélectriques, les déversoirs de crues constituent le « trop-plein de sécurité » et doivent être dimensionnés sur des crues exceptionnelles. Grâce à une longue expérience du dimensionnement des déversoirs, l'étude sur modèle réduit peut être évitée dans les cas simples. Les études effectuées en laboratoire ont cependant démontré qu'on aboutit très souvent à une économie sur le coût de réalisation de l'ouvrage. L'étude sur modèle réduit coûte l'équivalent de quelques centaines de mètres cubes de béton mis en place.

L'aspect rendement est la raison d'être d'un barrage hydroélectrique. A maintes reprises, l'étude sur modèle réduit a permis d'améliorer les rendements par une meilleure disposition du canal en amont et en aval de l'ouvrage (barrages de basse chute au fil de l'eau). Le modèle réduit permet en effet de reproduire un certain nombre de phénomènes hydrauliques avec une précision largement supérieure à celle que peut fournir le simple calcul. L'aménagement des rivières et des torrents nécessite un grand nombre de petits ouvrages (seuils, protections des fonds et des berges) qui peuvent mériter une étude sur modèle réduit par leur aspect répétitif. La modernisation des moyens d'essai a permis de ramener le coût de telles études à l'équivalent de quelques milliers de mètres carrés de protection.

Les problèmes de sédimentologie apparaissent pratiquement dans tous les cas d'aménagements fluviaux, qu'il s'agisse d'érosions localisées à l'aval d'un barrage, d'un seuil, d'une pile de pont ou bien d'érosions généralisées du lit à l'aval de l'ouvrage, dues par

exemple à la sédimentation dans la retenue ou à une modification des ramifications d'un fleuve. Les problèmes générés par les érosions non maîtrisées se ramènent très souvent à des questions de stabilité de fondations des ouvrages riverains (quais, ponts, berges) dont la reprise en sous-œuvre est souvent délicate et toujours coûteuse.

Bien qu'en général de complexité moindre que les modèles maritimes, le modèle réduit fluvial apporte très souvent des éléments de première importance dans la recherche du meilleur

de calcul des ordinateurs, il devient possible d'obtenir des résultats fiables pour un certain nombre de problèmes d'hydraulique. Les modèles numériques ont déjà remplacé en partie certains modèles physiques (propagation de la marée et des houles dans les cas simples). Il ne faut surtout pas y voir une sorte de compétition, mais plutôt une complémentarité. En effet, les modèles numériques peuvent simuler certains phénomènes hydrauliques sur des zones étendues à un coût moindre que les modèles physiques. Mais leur précision est limitée lorsqu'on cherche



Modèle sédimentologique d'Abidjan, avec au premier plan, la passerelle écho-sondeur pour le levé des fonds mobiles constitués de bakélite broyée.

compromis entre la sécurité et l'économie.

Modèles hybrides

L'évolution des outils d'étude se situe en fait aux trois niveaux du couplage des modèles physiques et des modèles numériques, de l'informatisation des systèmes de pilotage et systèmes de mesures et de l'industrialisation des méthodes de construction des modèles.

L'objectif commun de ces évolutions est la réduction des délais d'exécution des études combinées à une réduction des coûts et une amélioration de la qualité.

Avec l'amélioration de la qualité des modèles numériques et de la capacité

à observer des phénomènes en détail. C'est là que le modèle physique prend le relais du modèle numérique. Les deux modèles sont alors couplés par le fait que le modèle numérique fournit les conditions hydrauliques aux limites du modèle physique.

Cette évolution pourra se poursuivre encore assez longtemps, car plus les modèles numériques deviennent précis sur les phénomènes de détail, plus les ingénieurs veulent approfondir ces détails pour mieux optimiser leurs ouvrages. Des modèles physiques avec des échelles de plus en plus grandes sont donc nécessaires. On peut penser cependant que la surface des modèles physiques n'augmentera pas sensiblement, les limites étant placées de plus en plus près des ouvrages à étudier grâce à l'amélioration des modèles numériques.

L'amélioration des systèmes de pilotage et de mesures s'est accélérée ces dernières années avec les progrès de la micro-informatique. Celle-ci a permis une décentralisation des systèmes sans toutefois perdre le contact avec les ordinateurs plus puissants branchés sur le réseau.

L'évolution des modèles hybrides (décrite précédemment) montre qu'une évolution parallèle des systèmes de pilotage des modèles physiques était nécessaire. On s'est donc orienté vers une génération plus fine des phénomènes hydrauliques aux limites des modèles. Elle comprend notamment les

générateurs de houle segmentés (multidimensionnels) et les générateurs de courants et de marée segmentés. A son tour, cette évolution a entraîné des progrès dans la précision et la rapidité des systèmes de mesures. Le temps nécessaire pour un levé des fonds dans un modèle sédimentologique a ainsi été divisé par vingt depuis les années 60.

Les progrès des systèmes de mesures n'ont pas seulement permis des gains de temps, mais aussi une réduction des interventions humaines (mesures de nuit).

Dans les conditions décrites, le temps de construction des modèles physiques (jusqu'à un ou deux mois) devient prépondérant dans la durée totale de l'étude. Certes, les méthodes traditionnelles de maçonnerie ont évolué grâce à l'amélioration des moyens de manutention (mini-bulldozers, ponts roulants, etc.). Elles présentent cependant des limites. Il faut désormais envisager un changement radical des méthodes à partir de la préfabrication par modules. Diverses études sont d'ores et déjà engagées dans ce domaine. ■

Descriptif technique du laboratoire d'hydraulique de SOGREAH

Installations	Dimensions (m)	Équipements
1 bassin sédimentologique maritime	20 x 32 x 0,8	1 générateur houle de 24 m
1 bassin sédimentologique maritime	20 x 32 x 0,4	1 générateur houle de 22 m
1 bassin sédimentologique maritime	20 x 32 x 0,4	1 générateur houle de 22 m
1 bassin de stabilité de digues	31 x 22 x 0,6/1,2	2 générateurs houle aléatoire
1 bassin mixte	30 x 40 x 1,0	1 générateur houle multidirectionnelle
2 canaux à houle et courants	40 x 1,0 x 1,2	2 générateurs houle aléatoire
1 canal en boucle (études vases)	50 x 3,2 x 0,6	1 générateur de courants
1 plate-forme fluviale	30 x 6,0 x 0,8	Débit maxi 250 l/s
1 plate-forme torrentielle	10 x 3,0 x 2,0	Débit maxi 150 l/s
Surface couverte (modèles divers)	2 000 m ²	
Surface extérieure	7 500 m ²	Débit maxi 600 l/s sous 9 m