

3. ÉCHELLE DU TEMPS DANS LA REPRODUCTION D'UN AFFOUILLEMENT (*)

3. The time scale in scour model research

PAR J. E. PRINS

INGÉNIEUR EN CHEF DU LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE DE DELFT

D'après nos recherches, nous avons démontré qu'il y a, pendant une certaine phase dans le développement de l'affouillement, conformité entre le modèle et la nature. Dans la pratique, il est important de connaître le rapport entre les temps dans le modèle et la nature pour obtenir la même profondeur d'affouillement relative.

La détermination de cette échelle du temps pour l'érosion comporte des difficultés, notamment quand, dans la nature, le fond se compose de matériaux très fins (200 μ).

Des recherches sont en cours pour étudier séparément l'influence sur l'échelle du temps des différents paramètres qui déterminent la progression d'un affouillement.

Research at the author's laboratory has shown that the model is representative of prototype conditions during a certain phase in the development of scour. The important thing to know in practice is the ratio required between the model and prototype times in order to achieve the same relative depth of scour on the model.

This time scale is very difficult to determine, especially if the prototype bed materials are very fine (200 μ). Research is now in progress in which the effect of each parameter determining the development of scour is being studied separately.

Le sujet à traiter finalement concerne la question de savoir s'il est possible de prédire le mouvement avec lequel le processus d'affouillement se produit.

Il apparaît nettement de ce qui a été dit, que, pour arriver dans la pratique, à un bon choix du mode de travail pour une fermeture — fermeture à l'aide de caissons ou fermeture graduelle — il est nécessaire, afin de pouvoir comparer

les deux méthodes l'une à l'autre, de connaître exactement, dans les deux cas, le développement du processus d'affouillement en fonction du temps.

Dans des conférences précédentes, il a été dit également que l'on fait emploi de modèles réduits pour étudier les affouillements. L'affouillement se produisant une fois dans le modèle, la question peut aussi être posée comme suit : quelle est l'échelle du temps du modèle dans la reproduction de l'affouillement?

Avant de donner une réponse à cette question, il est bon de remarquer que deux catégories sont

(*) Ce sujet sera publié sous une forme plus détaillée dans un article de MM. H. N. C. BREUSERS, A. PAAPE et M. DE VRIES.

<u>Conditions initiales du courant :</u>		<u>Conditions du fond :</u>		Transport des grains $u^* > u^*_{crit.}$ σ/w grand : en suspension σ/w petit : le long du fond
densité de l'eau	ρ_w	densité relative	Δ	
viscosité de l'eau	ν	diamètre caractéristique	d	
vitesse moyenne	$\bar{v}(z)$	vitesse de chute	w	
caractéristique de la turbulence	$\sigma_{(z)}$	<u>Conditions locales du courant :</u>		
caractéristique de la distribution	u^*	\bar{v}, u^* et σ		
$\sigma_{(z)} = \sqrt{(\nu - \bar{v})^2}$				

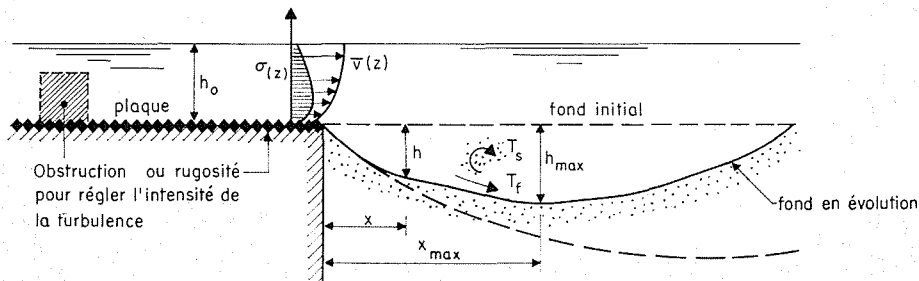


FIG. 1

à distinguer dans les études sur modèle à fond mobile.

PREMIÈREMENT. Les cas dans lesquels le matériau de fond — en maintenant sa densité — peut être introduit dans le modèle à l'échelle de longueur du modèle en se comportant toujours comme du matériau à gros grain.

Dans ces cas-ci, l'influence de la viscosité de l'eau dans le modèle joue un rôle de peu d'importance et l'échelle du temps pour l'affouillement est identique à l'échelle du temps basée sur la règle de Froude (rapport constant de la gravitation et de la force d'inertie dans le modèle et dans la nature).

DEUXIÈMEMENT. Les cas dans lesquels, dans la nature, le grain a déjà des dimensions très petites, de sorte que, pour le matériau du modèle on ne peut penser à une réduction à l'échelle de longueur.

Dans ces cas-là, des effets visqueux se présenteront — peut-être déjà dans la nature, mais en tout cas dans le modèle — dans la zone près du fond, de sorte que, à côté de la règle de Froude, qui reste vraie pour l'aspect général des courants, le nombre de Reynolds (relatif au grain) est également caractéristique du mouvement du matériau de fond.

A l'égard du matériau de fond à employer dans le modèle, il est maintenant nécessaire de faire un choix bien fondé. Comme possibilités, il y a la variation dans la densité du matériau et dans la dimension des grains. Si l'on veut, également l'échelle de vitesse du modèle.

Comme il a été dit déjà, les modèles qui servent à étudier les méthodes de fermeture des

bras de mer dans le Delta néerlandais, font partie de la deuxième catégorie, c'est-à-dire du cas du matériau très fin dans la nature (100-200 μ).

Dans ce qui suit, on trouvera quelques résultats importants des études fondamentales actuellement en cours.

Dans le processus de l'affouillement, on peut distinguer d'un côté les conditions d'écoulement et de l'autre les qualités particulières du matériau de fond (fig.1).

Au sujet des conditions d'écoulement, il faut remarquer ce qui suit : Comme d'autres conférenciers l'ont déjà signalé, on peut s'attendre à une similitude de l'aspect des courants pour les situations en étude ici. Ceci est alors vrai pour les conditions initiales et pour les conditions dans la zone où l'affouillement se produit, mais avec cette réserve qu'il n'en est certainement pas de même dans la couche limite du fond mobile.

Déjà plus tôt, l'attention a été attirée sur l'influence de la viscosité, par suite de laquelle la situation dans la couche visqueuse au fond n'est pas semblable dans la nature et dans le modèle.

Ce qui suit au sujet du matériau de fond : le matériau de fond est décrit avec sa densité relative par rapport à l'eau et avec un diamètre caractéristique (la forme et la granulométrie y sont intégrées; pour les recherches fondamentales, on a recherché jusqu'à présent autant d'uniformité que possible).

Ce sont en particulier les conditions d'écoulement près du fond qui, à l'application d'un certain matériau, déterminent comment le transport s'effectue. Le transport de fond se présente

aussi bien que le transport en suspension. La vitesse locale moyenne, le niveau de turbulence, la possibilité d'atteindre les particules à travers la couche visqueuse et la vitesse de chute des particules sont ici déterminants pour la réalisation du processus d'affouillement.

Il est évident que le plus grand problème, dans les études de l'affouillement en modèle, est d'obtenir la conformité à la phase critique pour le transport, laquelle se situe au moment où le mouvement commence. Par contre, la similitude de l'affouillement est sûre quand la phase critique est largement dépassée, par exemple quand $u^* \gg u^*_{crit.}$

Dans les recherches fondamentales, on fait varier les conditions d'écoulement initiales et par conséquent les conditions locales dans la zone de l'affouillement, soit en conduisant un courant parallèle par-dessus une plaque plane dont la rugosité est variée, soit en mettant en amont du fond mobile un obstacle grâce auquel la zone d'affouillement se place dans la zone de ralentissement du courant.

L'objet sur lequel les recherches se concentrent est la détermination des échelles désirées pour les diverses quantités lors de leur introduction dans le modèle et la détermination des relations entre ces échelles et l'échelle du temps pour l'affouillement.

Ceci, on peut le reproduire schématiquement comme suit :

$$n_t = f(n_x, n_{h_0}, n_h, n_v, n_\sigma, n_p, n_{u^*}, n_\Delta, n_d) \quad (1)$$

$n_{transport} \begin{cases} \text{le long du fond} \\ \text{en suspension} \end{cases}$

On peut maintenant partir du *transport le long du fond* dans la zone d'affouillement, pour lequel la vitesse d'affouillement et le transport se tiennent alors par la continuité :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial T_f}{\partial x}$$

de sorte que :

$$n_t = n_h n_x n_{T_f}^{-1} \quad (2)$$

Partant de ce que localement le matériau de fond est soulevé et entre *en suspension*, on peut écrire, pour la vitesse d'affouillement :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = f(T_s)$$

de sorte que :

$$n_t = n_h n_{T_s}^{-1} \quad (3)$$

Suppose-t-on qu'il y a similitude de l'aspect de l'affouillement ($u^* \gg u^*_{crit.}$)? on a alors :

$$n_x/n_{h_0} = 1 \quad \text{et} \quad n_h/n_{h_0} = 1$$

Ainsi, on trouve deux équations :

$$\text{de (3) :} \quad n_t = n_x n_{T_s}^{-1} \quad (4)$$

$$\text{et de (2) :} \quad n_t = n_x^2 n_{T_f}^{-1} \quad (5)$$

Dans ces deux équations, on peut mettre, pour le transport, la dépendance :

$$n_T = f(n_{u^*}, n_\Delta, n_d)$$

Il découle des essais :

$$n_t \sim n_x^{(1,5 \text{ à } 2)} \text{ à } n_{u^*} = 1 \quad (6)$$

et :

$$n_t \sim n_{u^*}^{-(5 \text{ à } 8)} \text{ à } n_x = 1 \quad (7)$$

Il apparaît que les faibles valeurs des puissances correspondent au cas où il y a surtout du transport en suspension et les valeurs plus fortes à celui où le transport le long du fond prédomine. En première approximation, il est possible de relier le caractère du transport au paramètre σ/w . Les grandeurs σ , mesure de la tur-

MATÉRIAU	DIAMÈTRE (mm)	DENSITÉ RELATIVE	VITESSE DE CHUTE (m/s)	$u^*_{critique}$ (m/s)
Sable.	0,35	1,65	0,05	0,014
Sable.	0,12	1,65	0,015	0,012
Bakélite.	0,60	0,40	0,027	0,009
Plastique.	1,40	0,045	0,015	0,0045

bulence, et w , vitesse de chute des particules, sont directement mesurables. Les qualités particulières du matériau sont alors combinées en w , d'où il découle que Δ et d ne figurent pas séparément.

Des essais pour trouver la relation spéciale de n_t avec n_Δ et n_d sont toujours en cours.

Les caractéristiques des matériaux à l'aide desquels les équations (6) et (7) furent trouvées, sont :

n_{u^*} peut encore être exprimé en $n_{\bar{v}}$, par exemple, à l'aide de la relation $(\bar{v}/u^*) = Cg^{-(1/2)}$, de sorte que :

$$n_{\bar{v}} = n_c \cdot n_{u^*}$$

On trouve alors :

$$n_t \sim n_{\bar{v}}^{-(4,5 \text{ à } 7,5)} \quad (8)$$

Pour pouvoir reproduire le processus d'affouillement en fonction du temps et contrôler la similitude de forme de l'affouillement, un grand nombre d'essais ont été faits.

Le résultat donne l'équation suivante :

$$\frac{h}{h_0} = \frac{A}{h_0} [\ln t - \ln t_0] \quad (9)$$

$$t > t_0 \\ u^* \gg u^*_{crit.}$$

où :

$$\frac{A}{h_0} = 0,075 \left(\frac{x}{h_0} \right)^{0,85} \quad (10)$$

et :

$$t_0 = (t_0)_{(x/h_0)=1} \cdot \left(\frac{x}{h_0} \right)^{2,5} \quad (11)$$

La figure 2 représente l'équation (9) pour un certain cas. Le commencement du processus d'affouillement et la situation de fin pour une certaine position ne sont pas couverts par l'équation. La dernière n'est donc valable que pour un affouillement assez actif.

L'indépendance du terme A/h_0 à l'égard des conditions d'écoulement et du matériau de fond est évidente quand on considère les figures 3 et 4. A l'aide des mêmes essais, on peut démontrer que $t_0 \sim (x/h_0)^{2,5}$ ne dépendait pas des courants et du matériau.

La représentation sans dimensions de l'affouillement montre donc qu'il y a similitude, alors que le mouvement avec lequel le processus se réalise est déterminé par $(t_0)_{(x/h_0)=1}$.

L'échelle du temps de l'affouillement est donc, en fait, déterminée par t_0 , de sorte que les conditions des courants et les conditions particulières

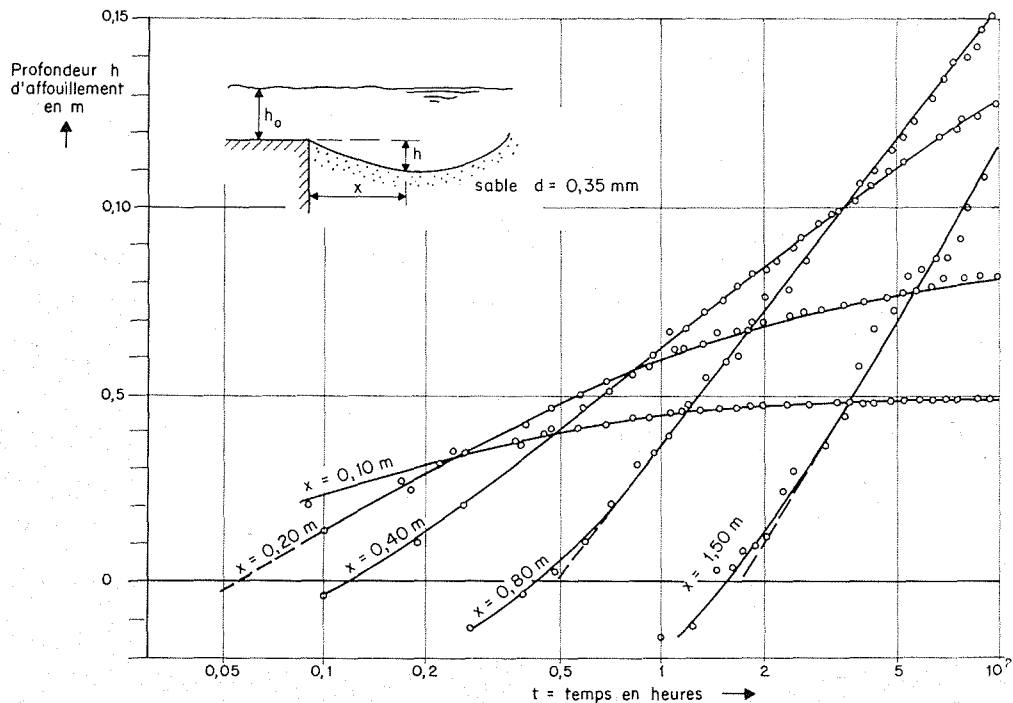


FIG. 2

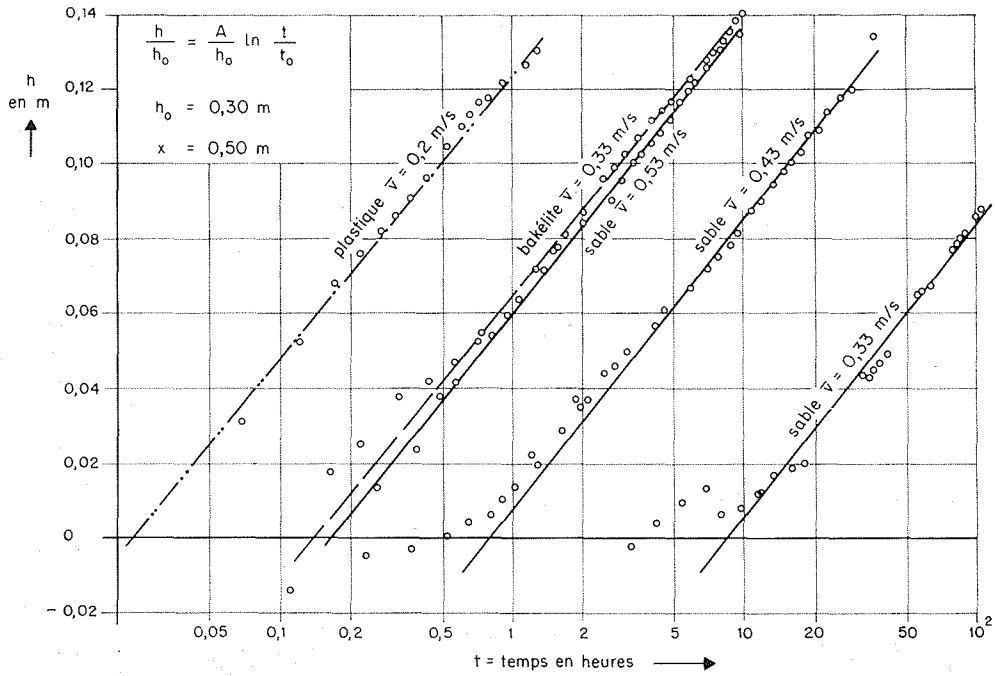


FIG. 3

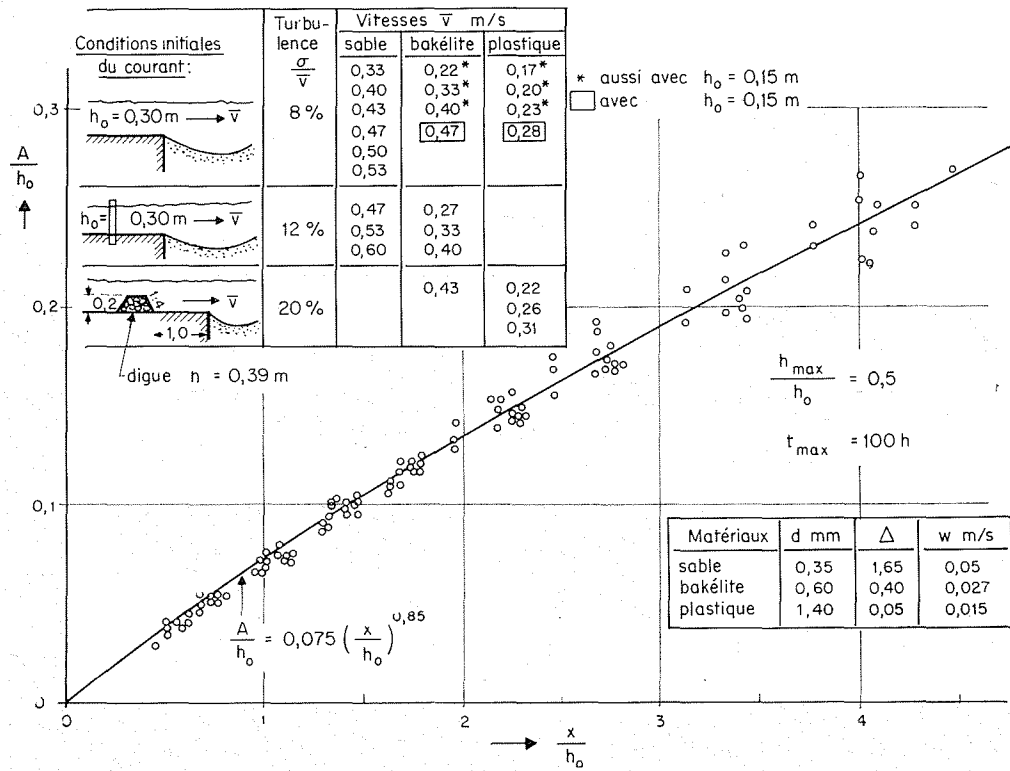


FIG. 4

res des matériaux du fond peuvent être exprimées par ce terme.

CONCLUSIONS :

1. Il est possible de conduire les essais sur modèle de telle manière que pour les conditions hydrauliques et la phase la plus importante de l'affouillement, il y ait similitude.

2. En vertu des résultats de l'étude fondamentale, il est possible de faire un choix rationnel des échelles et du matériau du fond mobile pour le modèle.

3. Pour le moment, il n'est pas possible de donner pour l'échelle du temps des limites resserrées.

4. La phase de l'affouillement, pour laquelle la similitude existe, est caractérisée par un transport raisonnable. Le caractère du transport — le long du fond ou en suspension — est aussi déterminant pour l'échelle du temps.

5. Ce qui précède suppose que dans l'interprétation d'essais comparatifs, compte doit être tenu d'une différence dans l'échelle du temps quand les conditions hydrauliques — et par conséquent la grandeur et le caractère du transport — diffèrent considérablement pour les objets à comparer.

6. Ceci est vrai également en considérant des affouillements à trois dimensions, quand les conditions des courants diffèrent beaucoup en travers.

OFFRE D'EMPLOI

L'Université de LOVANIUM de Léopoldville (République du Congo) désire engager un professeur pour le département Electricité de sa Faculté Polytechnique.

Pour tous renseignements s'adresser au

Doyen de la Faculté Polytechnique, B.P. 133,

LÉOPOLDVILLE - XI

en joignant à la réponse un curriculum vitæ.