Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 102 (1976)

Heft: 8: SIA spécial, no 2, 1976: Foire Suisse d'échantillons, Bâle, 24 avril-3 mai 1976

Artikel: Un modèle mathématique de la formation de deltas due au dépôt de sédiments dans les réservoirs

Autor: Yücel, Öner / Graf, Walther H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72927

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Un modèle mathématique de la formation de deltas due au dépôt de sédiments dans les réservoirs

par ÖNER YÜCEL et WALTER H. GRAF

Introduction

Les sédiments transportés par un cours d'eau sont amenés à se déposer lorsqu'ils se trouvent dans un endroit plus profond, tel qu'un réservoir derrière un barrage, un lac ou un océan. Cela est dû au fait que la vitesse, et par conséquent la capacité de transport des sédiments, diminue alors que la profondeur du réservoir augmente. La présente étude porte sur le dépôt des sédiments au moment où une rivière débouche dans un réservoir. A cette fin, un modèle mathématique simple a été mis au point et sera décrit par la suite. Cet article fait suite à une recherche entreprise par Yücel et Graf [3] [1] en 1973.

Modèle mathématique

Remarques préliminaires

Le modèle mathématique décrit dans cette étude cherche à estimer la distribution et le taux de dépôt du charriage dans un système de rivière-réservoir. Comme ce matériel charrié est composé de particules relativement grossières et non cohésives, le dépôt prend la forme d'un delta. Le modèle envisagé décrit un système arbitraire de rivière-réservoir auquel peut s'appliquer une analyse unidimensionnelle (unité de largeur) (fig. 1). Les caractéristiques du modèle et les hypothèses qui en découlent sont exposées plus loin.

Modèle unidimensionnel pour un système rivière-réservoir

Comme on le voit à la figure 1, le modèle décrit un réservoir formé d'une digue placée sur une rivière où les phénomènes d'écoulement unidimensionnel prédominent. Le ralentissement de l'écoulement à l'entrée du réservoir provoque obligatoirement le dépôt des sédiments dans la rivière. Si le charriage seul est pris en considération, on observe que le dépôt des sédiments s'effectue de deux façons différentes.

a) Les sédiments de plus grande dimension se déposent en premier pour créer un *delta* qui s'érige à l'embouchure du réservoir et progresse vers l'aval.

b) Les sédiments de plus petite dimension sont transportés plus loin dans le réservoir pour se déposer en couches relativement planes et sont appelés souvent *sédiments de fond*.

Le but de ce modèle est de décrire les types de dépôts de sédiments au cours de la formation du delta. L'analyse est composée de deux parties : *a)* la courbe de remous et *b)* le transport et le dépôt des sédiments. Ces deux parties de l'analyse sont faites indépendamment. Ainsi, en calculant la courbe de remous, on admet que la géométrie du système rivière-réservoir est constante et qu'il n'existe pas de transport de sédiments. De même, on admet que la courbe de remous reste inchangée au cours de chaque série de calculs faits pour le dépôt des sédiments. On s'attend à ce que tout dépôt dans le réservoir qui modifie la configuration du fond modifie aussi la courbe de remous.

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

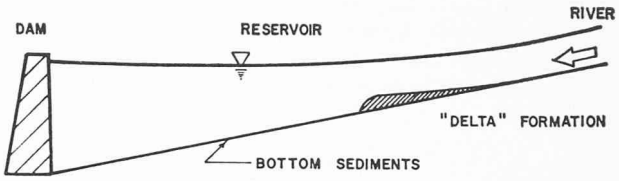

Fig. 1. — Système rivière-réservoir.

Cependant, si les dépôts se font en quantité suffisamment petite, la courbe de remous ne sera pas changée de manière significative. C'est pourquoi, pour éviter des répétitions inutiles, le modèle calcule une nouvelle courbe de remous seulement en présence d'une quantité de dépôt suffisante. Un schéma simplifié du modèle est présenté dans l'organigramme donné à la figure 2. Les méthodes appliquées pour le calcul de la courbe de remous et des dépôts du charriage sont décrites dans les chapitres suivants. Une description plus détaillée du modèle est donnée par Yücel et Graf [4].

La courbe de remous

Dans un système rivière-réservoir avec un débit unitaire q et une configuration du lit donnée (pas de transport de sédiments), la courbe de remous peut être calculée au moyen de n'importe quelle méthode connue (voir Chow [1], ch. 10). Le modèle étudié ici utilise la méthode pas à pas directe. Comme on peut le voir à la figure 3, les calculs sont commencés dans la section à la digue où la profondeur de l'eau est maximale, c'est-à-dire $D = D_{max}$, et continués pas à pas vers l'amont en choisissant les changements de profondeur, ΔD_i, et en calculant les longueurs de tronçon correspondantes, ΔL_i, selon la formule suivante :

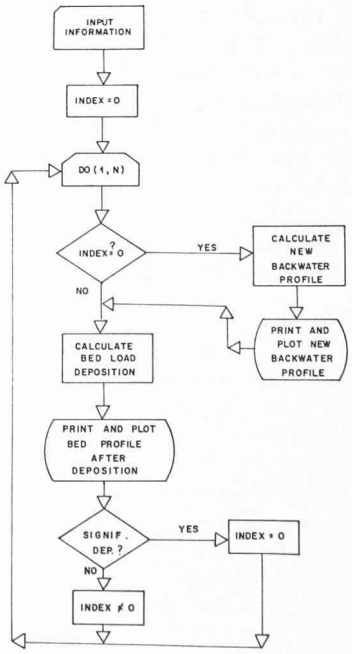

Fig. 2. — Organigramme du programme de calcul par ordinateur.

$$\Delta L_i = -\Delta D_i \frac{1-(V_0^2/gD_0)}{S_{bo}-S_{eo}} \qquad (1)$$

où D_0, V_0, S_{bo} et S_{eo} sont la profondeur moyenne de l'eau, la vitesse, la pente du lit et la pente de la ligne d'énergie respectivement, chacune étant calculée à la section moyenne de chaque tronçon. Dans cette étude, l'équation (1) est considérée satisfaisante si les pentes des sections moyennes, S_{bo} et S_{eo}, ne s'écartent pas de plus de 5 % de celles des sections limites du tronçon. Si cette condition n'est pas satisfaite, une nouvelle approximation (plus faible) de la profondeur, ΔD_i, est faite et les calculs sont répétés.

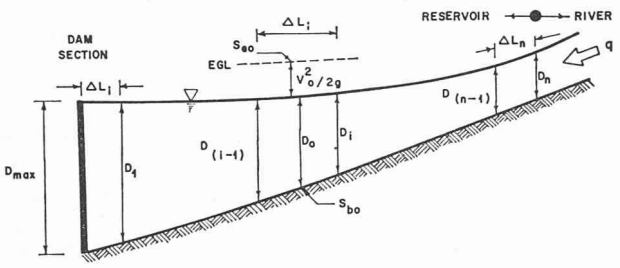

Fig. 3. — Calculs de la courbe de remous.

On trouve des problèmes particuliers dans deux régions du réservoir pour les calculs de la courbe de remous : dans les tronçons où le changement de la pente du lit du canal est considérable, comme dans les régions de transition, vers et depuis la face aval des deltas, ΔD_i doit être choisi très petit, cela implique que plusieurs tronçons de faible longueur, ΔL_i, doivent être calculés. Ceci est évidemment un désavantage si l'on considère le temps pris par le travail de l'ordinateur. Une manière de remédier à une telle situation serait d'augmenter l'écart admissible mentionné de 5 % à 10 %. Il semblerait aussi plus pratique de faire usage de la méthode « pas à pas standard » au voisinage de telles régions plutôt que de choisir la méthode « pas à pas directe » (voir Chow [1], ch. 10) ; en effet, on sélectionne un tronçon de longueur L_i, et on calcule le changement de la profondeur correspondant. Des problèmes semblables surgissent dans les régions où les conditions normales d'écoulement de la rivière sont presque satisfaites. Puisque la courbe de remous tend asymptotiquement vers un écoulement normal, des changements de la profondeur, même extrêmement petits, donneraient des tronçons de longueur excessive. Une manière de remédier à une telle situation serait de supposer que les conditions normales d'écoulement sont approximativement satisfaites quand les pentes du lit et de la ligne d'énergie d'une section calculée ne dépassent pas les 5 % de ceux de l'écoulement normal de la rivière.

Le dépôt du charriage

Une fois le calcul de la courbe de remous et la détermination des conditions d'écoulement pour le système rivière-réservoir établis, on calcule le dépôt du charriage. Comme on le voit à la figure 4, on commence ces calculs à la section où se trouvent réalisées approximativement les conditions d'écoulement normal de la rivière et on les continue en aval en direction du réservoir. Les mêmes sections que celles déterminées pour les calculs de la courbe de remous sont utilisées pour les calculs du dépôt du charriage. Un cycle typique de calculs pour le dépôt du charriage est décrit comme suit :

a) Sur une section à l'intérieur du système rivière-réservoir, où la profondeur de l'eau est D_i, la capacité du charriage est désignée par q_{si} ; elle peut être déterminée en utilisant une équation de charriage.

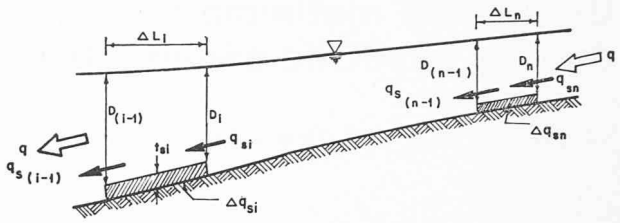

Fig. 4. — Calculs du dépôt du charriage.

b) Sur la section aval suivante, à une distance ΔL_i, la profondeur de l'eau est D_{i-1}. Puisque $D_{i-1} > D_i$, la vitesse moyenne de l'écoulement diminue, soit $V_{i-1} > V_i$, car le débit unitaire est considéré comme une constante, soit $q = \text{const}$. De la réduction de la vitesse, il résulte que la capacité de transport du charriage vers la section aval diminue aussi, soit $q_{s\,(i-1)} < q_{si}$.

c) La différence entre les capacités de débit solide à la section amont et à la section aval est donnée par :

$$\Delta q_{si} = q_{si} - q_{s\,(i-1)} \qquad (2)$$

Cette quantité de charriage devrait être déposée entre ces deux sections. Si la longueur du tronçon, L_i, est suffisamment petite (de telle sorte que le changement des conditions d'écoulement entre les deux sections soit graduel), alors on peut supposer que le dépôt dans le tronçon sera distribué uniformément. La couche moyenne uniforme du dépôt, t_{si}, par unité de temps (période) au cours du dépôt, T_d, est alors

$$t_{si} = T_d \, \Delta q_{si} \,/\, \Delta L_i \qquad (3)$$

d) Le dépôt calculé ci-dessus augmente l'élévation du lit du canal dans chaque tronçon, ce qui donne :

$$Z_{bi\ (\text{nouveau})} = Z_{bi\ (\text{original})} + t_{si} \qquad (4)$$

Ainsi, en appliquant l'équation (4) à chaque section, une nouvelle configuration du lit du réservoir est obtenue.

e) Chaque cycle de calculs du dépôt est terminé lorsque les deux conditions suivantes sont approximativement remplies : i) si le charriage transporté par le cours d'eau est terminé ou ii) si la section du barrage est atteinte.

f) Tout changement dans le lit du réservoir demande la détermination d'une nouvelle courbe de remous. Cependant, pour éviter des calculs trop longs, on calcule une nouvelle courbe de remous seulement si un dépôt apporte des changements significatifs dans le profil du lit du canal. Au cours de cette étude, on admet l'hypothèse qu'un dépôt significatif apparaît seulement si l'épaisseur locale du dépôt dépasse 2 % de la profondeur locale de l'eau. (Nombre arbitraire, assez petit pour que les capacités du charriage ne soient pas modifiées de manière significative.) Ainsi, une nouvelle courbe de remous est calculée seulement si

$$\left(\frac{t_{si}}{D_i}\right)_{\max} > 2\ \% \qquad (5)$$

Si le dépôt obtenu comme résultat d'un cycle de calculs n'est pas significatif, ou si $(t_{si}/D_i)_{\max} < 2$ %, on suppose alors qu'un deuxième cycle a eu lieu, identique au premier, et la position du fond du réservoir est ajustée en conséquence.

Les équations du charriage

Le dépôt du charriage a été calculé en utilisant trois équations différentes : 1) la relation de Schoklitsch (modifiée pour le dépôt à l'aide de la vitesse limite de dépôt de Hjülström, 2) la relation de Meyer-Peter et al., et 3) l'équation de charriage d'Einstein, 1942. Une discussion de ces relations ainsi que d'autres est donnée dans Graf ([2], ch. 7). En utilisant ces équations pour le dépôt du charriage dans les réservoirs, deux hypothèses sont inévitables : *a)* toutes les équations du charriage disponibles sont développées pour des conditions d'écoulement uniforme, pour lesquelles les pentes du lit du canal, de la surface de l'eau et de l'énergie sont identiques. Cependant, pour l'écoulement dans les réservoirs, les pentes sont clairement différentes, même si l'on considère de courts tronçons. On peut choisir la pente de l'énergie pour l'utiliser avec les équations du charriage, comme c'est le cas dans cette étude. (Dans ce cas pourtant, l'effet de la pente du lit du canal serait négligé, ce qui mènerait évidemment à des imprécisions.) Cependant, on peut aussi choisir une pente équivalente, égale à la moyenne des pentes du lit et de l'énergie, par exemple. Les auteurs pensent qu'un tel choix est trop arbitraire. Evidemment, on doit attendre, pour une application plus correcte, le développement d'équations du charriage valables pour un écoulement non uniforme. *b)* Toutes les relations du charriage disponibles sont basées sur des critères d'« érosion » ou de « force d'affouillement » et non de « dépôt ». C'est pourquoi la seule possibilité consiste à utiliser les équations de l'érosion pour les problèmes de dépôt.

Les trois relations du dépôt utilisées sont brièvement décrites par la suite :

L'équation de Schoklitsch modifiée

La forme générale des relations de Schoklitsch est donnée par (voir Graf [2], p. 130-131) :

$$q_s = \chi S^k \cdot (q - q_{cr}) \qquad (6)$$

où q_s est le débit solide du charriage en volume par unité de largeur et par unité de temps ; S est la pente du canal ; q est le débit de l'eau par unité de largeur et de temps ; q_{cr} est le débit critique de l'eau pour lequel les matériaux du lit commencent à se mouvoir ; et χ et k sont des coefficients empiriques fonction des sédiments. Les équations du charriage de Schoklitsch conviennent pour modifier le dépôt parce qu'elles comprennent un terme comme q_{cr}, le débit de l'érosion limite. Dans cette étude, on propose d'utiliser dans l'équation 6 la vitesse limite du dépôt V_{cr} pour évaluer le débit limite q_{cr} (voir Graf [2], p. 88). De plus, sans une meilleure information, on estime que les coefficients empiriques χ et k restent identiques pour l'« érosion » et pour le « dépôt ». Ainsi, l'équation (6) est modifiée pour s'appliquer au dépôt et prend la forme suivante :

$$q_s = \chi S^k (q - D V_{cr}) \qquad (7)$$

où D est la profondeur locale de l'écoulement et V_{cr} est la vitesse limite de dépôt donnée par Hjülström.

L'équation de Meyer-Peter et al.

La deuxième équation utilisée dans cette étude pour calculer le dépôt du charriage est l'équation de Meyer-Peter et al., qui peut s'écrire (voir Graf [2], p. 136-139) :

$$q_s = \frac{\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma)} \left\{ \left[\frac{\gamma D S}{d_{50}} - 0{,}047\,(\gamma_s - \gamma) \right] \frac{4d}{\sqrt[3]{\rho}} \right\}^{3/2} \qquad (8)$$

où q_s est le débit solide du charriage en volume par unité de largeur et unité de temps ; γ_s est le poids spécifique du sédiment ; γ est le poids spécifique de l'eau ; D est la profondeur de l'eau ; S est la pente de la ligne d'énergie ; d est le diamètre caractéristique ($d_{50\%}$) ; et ρ est la densité de l'eau. Une simple modification de l'équation (8) pour l'appliquer au calcul du dépôt sédimentaire n'est pas possible dans ce cas, puisqu'elle ne dépend pas explicitement d'une vitesse limite. Il est vrai que l'équation (8) contient un terme décrivant la force de traction limite, c'est-à-dire : $0{,}047\,(\gamma_s/\gamma)$; celle-ci n'étant pourtant pas utilisable, une modification ne peut être faite dans ce sens. Ainsi, il doit nous rester à l'esprit que le calcul du dépôt du charriage est basé dans ce cas sur le principe de l'« érosion » et non du « dépôt ».

L'équation du charriage d'Einstein, 1942

La troisième équation employée dans cette étude est l'équation du charriage d'Einstein, sous la forme établie en 1942 (voir Graf [2], p. 139-150), qui peut s'écrire ainsi :

$$q_s = \frac{[(\gamma_s/\gamma - 1)\, g d^3]^{1/2}}{0{,}465} \cdot e - \left[\frac{0{,}391\,(\gamma_s/\gamma - 1)\, d}{DS} \right] \qquad (9)$$

où g est l'accélération de la pesanteur ; les autres variables ont été définies précédemment. Ici à nouveau, une modification pour appliquer l'équation au calcul du dépôt n'est pas possible, car il n'existe aucune expression explicite de la vitesse limite. Toutefois, il faut garder à l'esprit que l'équation (9) a été établie selon le principe de l'équilibre entre l'érosion et le dépôt. Ceci rend cette équation relativement plus commode que les précédentes pour le but que nous poursuivons.

Caractéristiques du modèle pour le système rivière-réservoir

On a choisi les caractéristiques arbitraires suivantes pour le système rivière-réservoir : débit d'eau constant par unité de largeur du canal, $q = 1{,}81$ m³/sec/m ; pente du lit de la rivière, $S_{br} = 0{,}000175$; profondeur maximale de l'eau (sur la même section), $D_{max} = 23{,}5$ m ; coefficient de rugosité selon Manning, $n = 0{,}0234$; densité des particules sédimentaires, $s_s = \gamma_s/\gamma = 2{,}65$ (sable de quartz) ; diamètre caractéristique des grains : $d_{50} = 0{,}5$, 1,0, 2,0 mm.

Résultats

Remarques générales

Les calculs comportant les trois relations sur le charriage ont été faits pour des périodes de sédimentation d'un jour ou d'un mois. Une période de sédimentation est considérée comme une période pendant laquelle la moyenne du débit est égale, ou supérieure à une valeur choisie dans notre modèle : $q = 1{,}81$ m³/sec/m). Le choix de la période de sédimentation d'un jour ou d'un mois dépend en fait de l'importance du débit solide. Ainsi, lorsque le dépôt grandit rapidement, on choisit de préférence des périodes de sédimentation relativement plus brèves.

Le phénomène de dépôt prévu par le présent modèle mathématique peut être discuté à la fois au plan qualitatif et quantitatif. Toutefois, par le fait de plusieurs hypothèses limitatives, on considère les résultats qualitatifs comme plus importants.

La formation de delta

Le résultat le plus intéressant a été la formation d'un delta avec des caractéristiques communes à toutes les trois relations de charriage utilisées. Cette formation typique

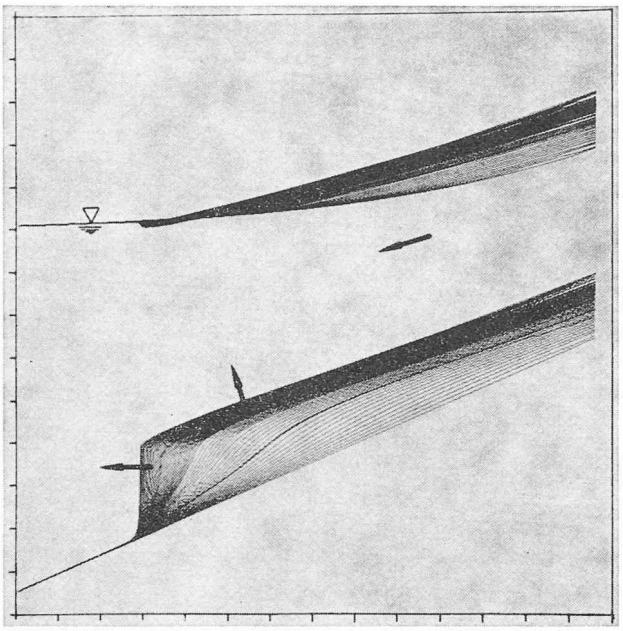

Fig. 5. — Création et avancement d'un delta typique résultant du dépôt du charriage.

de delta est illustrée à la figure 5, tracée par l'ordinateur et résultant des calculs faits en utilisant l'une des relations de charriage. Les remarques suivantes relatives à la formation du delta peuvent être faites :

a) Le dépôt commence par la formation de couches plutôt planes dans les régions amont du réservoir. L'épaisseur de ces couches augmente graduellement jusqu'à ce qu'une section soit atteinte, où le taux du dépôt arrive au maximum. En aval de cette section, l'épaisseur des couches tend à diminuer de nouveau. La répétition de ce processus de dépôt crée une forme triangulaire typique de dépôt, c'est-à-dire un delta.

b) Ensuite, la tête de ce delta se met à progresser en direction de l'aval et la face aval du delta devient plus courte et plus raide, tandis que la face amont devient plus longue et plane. De cette façon, le delta commence à avancer dans le réservoir, tout en conservant sa forme triangulaire typique.

Avec ce modèle mathématique relativement simple, il est remarquable de constater que les particularités de la formation d'un delta typique discutées plus haut correspondent bien aux formations de delta dans des réservoirs naturels. Un bon exemple est le « Lake Mead », derrière le « Hoover Dam », sur la rivière du Colorado ; la répartition du dépôt des sédiments peut y être considérée comme tout à fait semblable à celle décrite par le présent modèle en figure 6. Il faut pourtant noter de suite que cette observation est entièrement qualitative et absolument pas quantitative.

Le dépôt du débit solide de charriage

Les taux du débit solide de charriage pour le système donné de rivière-réservoir diffèrent selon les trois équations de charriage utilisées pour le calcul du modèle. Ceci a été prévu, car ces équations sont basées essentiellement sur différentes méthodes aussi bien que sur des conditions d'écoulement et de sédimentation très différentes. Cependant, certaines tendances générales sont apparentes, comme décrit ci-dessous.

Les répartitions de dépôt du charriage prévues par les trois équations de charriage pour des intervalles de temps variés sont décrites à la figure 6. Il est évident que le

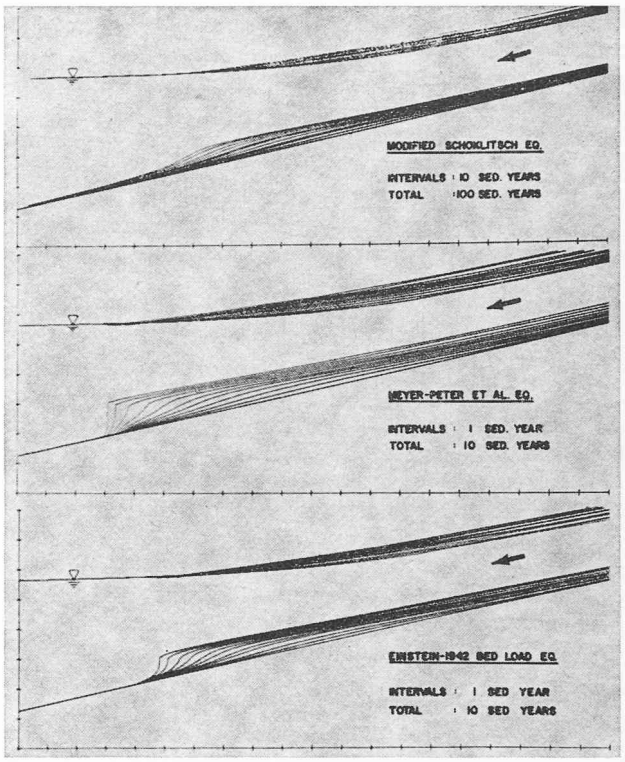

Fig. 6. — Taux de dépôt du charriage, obtenu par trois équations différentes.

dépôt le plus élevé est décrit dans l'équation de Meyer-Peter et al. Celle d'Einstein, 1942, prévoit un dépôt du charriage légèrement plus faible. Celui décrit dans l'équation modifiée de Schoklitsch est encore plus bas que les deux autres. En fait, la même quantité de dépôt est obtenue approximativement au cours de cent années de sédimentation avec l'équation de Schoklitsch modifiée qu'au cours de cinq années selon les équations de charriage de Meyer-Peter et al. et d'Einstein, 1942. On pouvait le prévoir, car la relation de charriage de Schoklitsch est connue pour donner des résultats plutôt minimes concernant les quantités charriées (voir Graf [2], p. 156-159).

Les calculs ont aussi été faits pour des dimensions différentes de sédiments en utilisant les équations de Schoklitsch modifiée et d'Einstein, 1942. Tout d'abord une période de dépôt sédimentaire de cent ans a été choisie pour trois dimensions de sédiments, c'est-à-dire : $d =$ 0,5 mm, 1,0 mm et 2,0 mm, en utilisant la relation modifiée de Schoklitsch. Il est intéressant de noter que la quantité totale du charriage déposée ne semble pas être modifiée beaucoup par la dimension des sédiments. Seule apparaît une légère diminution de dépôt lorsque la dimension du sédiment passe de $d = 0{,}5$ à $d = 2{,}0$ mm. Par contraste avec la relation modifiée de Schoklitsch, l'équation de charriage d'Einstein, 1942, dépend très étroitement de la dimension des sédiments. On peut observer à la figure 8 que la quantité totale des sédiments déposés décroît considérablement lorsque leur dimension augmente de $d = 1{,}0$ mm à 2,0 mm, pour la même période de dix années.

Travail futur

Dans cette étude, un modèle mathématique pour estimer la sédimentation dans les réservoirs a été appliqué à des systèmes unidimensionnels de rivière-réservoir, dont les caractéristiques ont été choisies arbitrairement. Les résultats obtenus sur les formations de delta sont très encou-

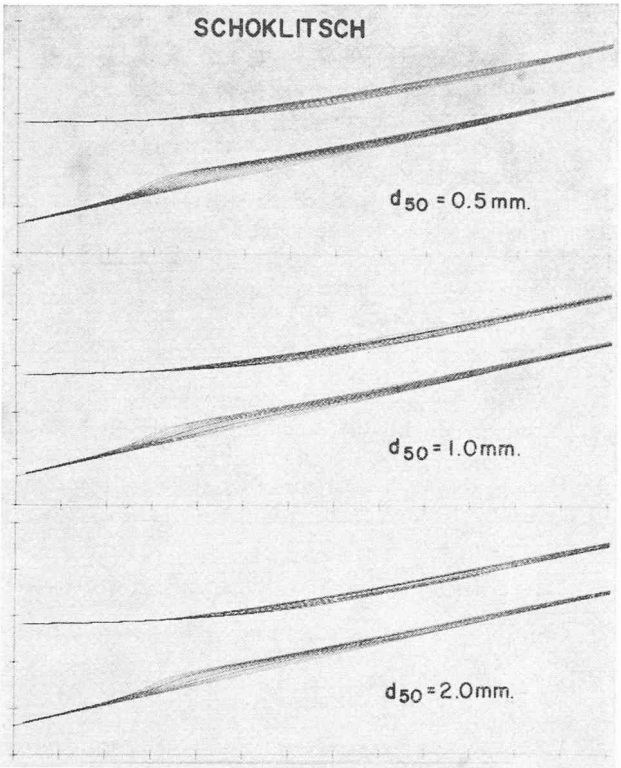

Fig. 7. — Taux du dépôt pour différentes dimensions du sédiment (équation de Schoklitsch).

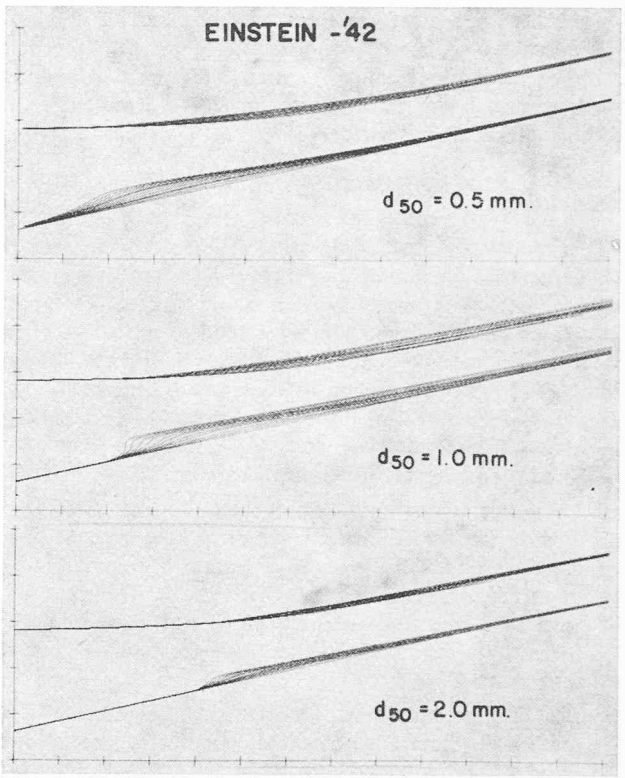

Fig. 8. — Taux de dépôt pour différentes dimensions du sédiment (équation d'Einstein, 1942).

rageants, mais il est évident qu'une étude plus poussée doit être envisagée. On considère le programme de l'ordinateur développé pour ce modèle comme assez flexible pour être amélioré et appliqué à des systèmes de rivière-réservoir plus compliqués et plus proches de la réalité.

Les points suivants sont intéressants pour des recherches à venir.

a) D'autres relations décrivant le charriage pourraient être aussi étudiées, après avoir été modifiées si possible pour le cas du dépôt du charriage.

b) Le modèle, dans son état actuel, devrait être testé avec différentes valeurs pour : la dimension des sédiments, le débit d'eau, la rugosité de la rivière, la pente du lit de la rivière et la période de sédimentation. Ces valeurs devraient être choisies de manière à correspondre à des systèmes réels de rivière-réservoir dans le but de comparer les phénomènes prévus et réels de dépôt sédimentaire.

c) La granulométrie du sédiment transporté par la rivière est peu uniforme. C'est plutôt un mélange de sédiments aux dimensions différentes, ce qui n'est pas pris en considération par notre modèle actuel. La manière la plus simple de tenir compte des effets du mélange serait de superposer les résultats obtenus avec les différentes fractions des sédiments qui forment la granulométrie. Le modèle pourrait être amélioré par la suite en choisissant une période de sédimentation plutôt brève et en admettant qu'au cours de cette période les sédiments de plus grande dimension peuvent se déposer avant ceux de plus petite dimension.

d) Le présent modèle suppose un débit d'eau constant à travers le système. Dans un système réel de rivière-réservoir, cela est rarement le cas et le débit de l'eau est généralement dépendant du temps. Un hydrogramme des débits de la rivière pourrait être utilisé pour améliorer le modèle à cet effet. Dans ce cas, le modèle serait simplement exécuté pour un nombre de périodes de sédimentation où le débit d'eau reste une constante.

e) Les sédiments déposés sont susceptibles d'un certain degré de consolidation. Le modèle pourrait être amélioré pour rendre compte d'un tel phénomène. Un moyen serait de supposer et de calculer un seul coefficient de consolidation pour chaque fraction de sédiment.

f) Le présent modèle mathématique est conçu pour un écoulement unidirectionnel. Les étapes suivantes pourraient être envisagées pour l'amélioration du modèle : 1) la largeur du système rivière-réservoir peut être fonction de la distance à une section de contrôle, par exemple la section du barrage ; 2) l'écoulement secondaire et les phénomènes de sédimentation y relatifs peuvent être pris en considération pour une géométrie du canal donnée. Il devrait être tenu compte ultérieurement des distributions de la vitesse dans les plans verticaux et horizontaux, des répartitions d'écoulements telles que dans les méandres et des mouvements de sédimentation qui en résultent.

g) Une fois les points ci-dessus pris en considération, le modèle devrait ensuite être agrandi, afin de couvrir le transport de sédiments en suspension aussi bien que de sédiments cohésifs et le dépôt résultant de ces différents modes de transport.

h) Il est clair que les hypothèses faites pour le modèle mathématique deviendraient moins rigides à chaque étape d'amélioration apportée au modèle selon ce qui précède.

Ainsi, les résultats estimés par le modèle peuvent être considérés comme plus réalistes et comparables aux données recueillies *in situ*. Celles-ci, d'autre part, sont maintenant tout à fait rares. Par conséquent, on devrait aussi concentrer les efforts concernant la récolte de données

in situ liées à des informations correctes sur les caractéristiques des sédiments et du système rivière-réservoir. Alors seulement, le modèle mathématique deviendrait réellement valable, par l'estimation des phénomènes de sédimentation dans les réservoirs.

Conclusions

Un modèle mathématique a été développé pour estimer les caractéristiques de dépôt du charriage dans un système rivière-réservoir à une dimension (unité de largeur). Trois équations de charriage différentes ont été utilisées : 1) la relation modifiée de Schoklitsch, 2) la relation de Meyer-Peter et al., et 3) l'équation de charriage d'Einstein, 1942. Des données arbitraires ont été choisies pour caractériser le système rivière-réservoir et le sédiment.

On peut en tirer les conclusions suivantes :

a) Les résultats qualitatifs indiquent qu'un delta se forme dans la région amont du réservoir à la suite d'un processus de surélévation des couches horizontales du dépôt. Ensuite, ce delta avance vers l'aval en conservant sa forme triangulaire typique qui ressemble aux formations de delta actuelles dans les réservoirs existants.

b) Les résultats quantitatifs concernant les taux de formation du delta tels qu'estimés par les trois équations de charriage indiquent des différences. Ces différences peuvent être attribuées largement aux capacités inégales de charriage estimées à partir des équations de l'écoulement uniforme.

Remerciements

Une partie de ce travail de recherche a été accomplie à Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvanie, USA, avec l'aide de la « National Science Foundation » par le « Grant GK-34050X ».

Notations

Les symboles suivants sont utilisés dans cette étude :

D profondeur d'eau en toute section
D_{max} profondeur d'eau dans la section du barrage
D_n profondeur d'eau normale dans la rivière (écoulement uniforme)
d diamètre caractéristique du sédiment (d_{50})
n coefficient de rugosité selon Manning
q débit d'eau par unité de largeur
q_s débit solide par unité de largeur
S_{bo} pente du lit du canal
S_e pente de la ligne d'énergie
t_s épaisseur du dépôt
V vitesse de l'écoulement en toute section
Z_b hauteur du lit du canal par rapport au fond du barrage
γ, γ_s poids spécifique de l'eau et du sédiment respectivement

BIBLIOGRAPHIE

[1] CHOW, V. T. : *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1959.
[2] GRAF, W. H. : *Hydraulics of Sediment Transport*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1971.
[3] YÜCEL, Ö., et GRAF, W. H. : *Bed Load Deposition in Reservoirs*, Proc. XV Congress, int. Assoc. Hydr. Res., Istamboul (Turquie) Septembre 1973.
[4] YÜCEL, Ö., et GRAF, W. H. : *Bed Load Deposition and Delta Formation : A Mathematical Model*, Fritz Engrg. Lab., Rep. No. 384.1, Lehigh Univ., Bethlehem, Pa., Décembre 1973.

Adresse des auteurs :
Öner Yücel, professeur assistant
Laboratoire d'hydraulique
Université du Moyen-Orient
Ankara, Turquie
Walter H. Graf, professeur
Directeur du Laboratoire d'hydraulique
de l'Ecole polytechnique fédérale
de Lausanne (EPFL), Suisse

Bibliographie

Planification des travaux de construction et d'entretien — La méthode matricielle, par *Thierry Bolliet*. Editions Eyrolles, Paris 1975. — Un volume de 72 pages, 15,4×22. Prix : 39 F fr.

Tout travail mérite d'être préparé et planifié. Dans le cadre des travaux de construction ou d'entretien, la planification fait généralement appel à la méthode Pert. Cette méthode est effectivement valable dans deux domaines limités

— soit aux projets de moins de 100 activités : l'application est alors manuelle,

— soit aux projets de plus de 600 activités par mise sur ordinateur.

Entre ces deux limites, la méthode Pert est très complexe à appliquer manuellement ou peu rentable à exploiter sur ordinateur.

Compte tenu de ces difficultés rencontrées dans bon nombre d'applications, une méthode originale a été mise au point permettant de traiter manuellement des projets complexes comprenant entre 100 et 600 activités. C'est le contenu d'une telle méthode dite « matricielle » qui est exposé dans le présent ouvrage.

Le processus de mise en œuvre de la méthode matricielle est très simple et de ce fait peut être appliqué directement sur chantier par un personnel non spécialisé.

Appliquée en construction, cette méthode apporte une souplesse impossible à obtenir avec le Pert : elle donne la possibilité de faire la mise à jour continue, au fur et à mesure de l'avancement.

Appliquée en entretien pour la planification des arrêts d'installation, des travaux d'améliorations, des dépannages complexes, des révisions d'équipement, elle s'avère un outil précieux et efficace, largement utilisé par un nombre croissant d'entreprises soucieuses de réduire leur budget d'entretien.

La méthode matricielle, déjà appliquée à une grande échelle et exposée dans le présent ouvrage, est donc l'outil moderne de planification destiné à remplacer le Pert dans toutes les applications nécessitant à la fois souplesse, précision et économie.

La pagination réduite et la présentation aérée des nombreux exemples en font un ouvrage de lecture facile, aisé à comprendre, à l'usage de l'ensemble des professions relatives à l'industrie (planification des travaux) et au commerce (planification de lancements de produits), ainsi que des cabinets d'organisation.

Extrait de la table des matières

I. *Principes :* Représentation matricielle des enchaînements. — Vérification de concordance des enchaînements à l'aide de la matrice. — Le graphe matriciel. — Détermination du jalonnement intrinsèque à l'aide du graphe matriciel. — Graphe matriciel diagonal. — Graphe matriciel et méthode Pert sur ordinateur.

II. *Pratique* (exemples d'application) : Extension d'un centre de stockage de gaz. — Montage de bac avec ripage définitif. — Réparation de vanne automatique. — Visite d'une colonne. — Réalisation d'un ouvrage d'art. — Exécution de second œuvre.