RECTIFICATION ET RÉGULARISATION DES RIVIÈRES AU MOYEN D'ÎLES ARTIFICIELLES

A. M. R. MONTAGU

C. I. E. I. S. E.

Dr H. L. UPPAL

M. Sc. Ph. D.

SOMMAIRE

Cet article contient, d'abord, un aperçu des méthodes courantes de régularisation des rivières.

Il présente, ensuite, une nouvelle méthode de régularisation des rivières au moyen d'*îles artificielles*, en pierre. Cette méthode a été examinée, en canal vitré, dans les *Laboratoires d'hydraulique*, sur modèles de rivière à grande échelle, et, enfin, à l'échelle grandeur, sur la rivière elle-même.

On a exposé les résultats obtenus sur les modèles des rivières suivantes :

1. — *La Sutlej*, à l'amont des prises d'eau de *Suleimanki* et *Islam*.

2. — *L'Indus* à *Katabagh*.

3. — *Le Ravi*, en aval de la prise d'eau de *Madhopur*.

4. — *La Beas*, près de *Western Bein*, puis les observations faites sur la rivière *Sutlej*, à l'amont de la prise d'eau de *Suleimanki*, en présence de l'*île artificielle*, réalisée.

On a remarqué que des *îles artificielles*, en pierre, construites en des endroits convenables du lit de la rivière, aident à rectifier le cours de la rivière, à l'amont des barrages. Pour les grands barrages, il faut utiliser plusieurs îles.

L'emploi de l'*île artificielle* aide :

1°) — au redressement du courant principal, à l'amont du barrage ;

2°) — à la diminution de la vitesse de l'écoulement sur les digues latérales, les digues-guides et la concavité des boucles de la rivière ;

3°) — à la régularisation de la rivière aux endroits éloignés des points de contrôle ;

4°) — à l'assèchement de la vallée et à sa protection contre les crues dévastatrices ;

5°) — à l'amélioration du chenal pour la navigation.

INTRODUCTION

I — MECANISME DE L'ÉCOULEMENT EN RIVIÈRES

Les rivières qui coulent sur un matériau sans cohésion décrivent des méandres et ont un cours sinueux. Diverses hypothèses ont été successivement émises pour expliquer ce phénomène. Du Buat, en 1786, a émis l'idée qu'à l'origine le cours de la rivière était rectiligne et que, par la suite, les méandres étaient dus à la dévia-

tion, par un obstacle, du cours droit de la rivière.

STANLEY et EXNER les attribuèrent à la formation de courants alternés comme ceux qui se manifestent derrière un éperon rocheux. Selon James THOMPSON, le développement des boucles était dû à des écoulements secondaires.

Les géologues et les morphologues ont attribué ce phénomène à une conséquence de la rotation de la terre, connue sous le nom de « Loi de Coriolis ou de Baers ». Les expériences de QURESHI, faites en 1943, confirmèrent l'explication de THOMPSON.

L'action, sur les méandres, du matériau en suspension dans les rivières, du débit et de la pente du lit, a été l'objet de recherches détaillées à Malikpur et à Wicksburg.

Quelle que soit l'explication de l'origine des méandres, c'est un fait qu'ils sont la caractéristique universelle des cours d'eau naturels et qu'ils occupent la place la plus importante dans la régularisation des rivières. Dans le Punjab, province qui, pour l'irrigation, a la première place, l'Indus et tous ses affluents ont été utilisés pour alimenter les canaux d'irrigation. On y trouve quinze prises d'eau de canaux primaires. Avec un réseau aussi vaste de canaux, la régularisation des rivières, à chaque prise d'eau, est d'une grande importance pour l'économie de l'opération.

II — TECHNIQUE DU PUNJAB POUR LA CONSTRUCTION DES PRISES D'EAU.

Les Ingénieurs du Punjab n'ont pas fait construire moins de quinze prises d'eau en rivières dans le Punjab et les provinces voisines. La technique, résultant de leurs expériences, consiste à construire les nouvelles prises d'eau en dehors du chenal principal de la rivière et, si possible, à proximité d'une boucle. Lorsque la construction est terminée, la rivière est déviée sur le nouveau barrage et le chenal principal est barré au moyen de digues solides. Cette méthode a pour effet d'imposer à la rivière au moins deux courbes assez accentuées. La rivière se redresse rarement d'elle-même et, si ces boucles persistent, cela peut donner lieu à de grosses difficultés pour entretenir les digues latérales et les guideaux, ainsi qu'à des variations très nettes dans la répartition des dépôts.

DIGUES-GUIDEAUX en tant qu'ouvrages de rectification et leur insuffisance.

A l'origine, les dispositifs de guideaux étaient les seuls ouvrages de rectification construits aux

prises d'eau. Mais employés seuls, ils se sont montrés insuffisants. Le débit dans la rivière varie d'une façon considérable, de plusieurs milliers de m³/sec. en été, à quelques centaines, en hiver. En conséquence, des « Belas » (1) ou îles de sable se forment en des endroits indésirables dans les « poches » (2), entre les guideaux, etc... Les rivières doivent être rectifiées sur une grande longueur à l'amont des barrages. Si ce n'est pas fait correctement, il peut en résulter :

1°) — de violentes actions sur l'une ou l'autre des digues latérales. La rivière peut même menacer de contourner le barrage par rupture des digues latérales ;

2°) — de violentes actions sur les musoirs des guideaux, provoquant ainsi de grosses dépenses annuelles d'entretien ;

3°) — une approche oblique au canal régulateur, d'où des conditions de dépôt défavorables dans les « poches » ;

4°) — des suppressions, en certains points, des travées du barrage ;

5°) — l'établissement d'un chenal profond en aval du barrage en des endroits indésirables.

Il est donc essentiel d'adopter des méthodes satisfaisantes de rectification des rivières.

III — METHODES COURANTES DE RECTIFICATION DES RIVIERES

a) — *Technique américaine.* — En Amérique, de très nombreux ouvrages ont été construits pour régulariser le bas et le haut Mississipi, en différents endroits. Une des difficultés, pour le Mississipi, est que, durant l'étiage, aux endroits où la rivière est très large et la pente du fond assez forte, il se forme des barres de sable, très gênantes, principalement aux seuils. La profondeur diminue et devient insuffisante pour la navigation. Les méthodes suivantes ont été étudiées pour régulariser le chenal sur la longueur que l'on veut.

« *Digues-Eperons* » perméables. — La méthode, utilisée le plus fréquemment, est la construction de « digues-éperons » perméables. Les problèmes de navigation en quatre endroits : Fort Charters, Hotchkiss Bend, Point Brooks et Point Pleasant, où les seuils sont peu profonds, ont été étudiés sur modèle par VOGEL. Un système de digues sur les deux rives, afin de diriger les méandres de la rivière, durant l'étiage, a été adopté.

(1) Mot hindou.

(2) L'auteur appelle « poches » les bassins précédant les vannes de prise d'eau des canaux d'irrigation.

Digues latérales maçonnées. — Les digues latérales obligent la rivière à avoir le cours que l'on désire et sont faites avec l'espoir qu'elles la maintiendront. Elles sont construites dans le lit primitif de la rivière. L'extrémité amont du mur est bien ancrée dans l'ancienne rive et, souvent, des digues transversales sont aussi construites entre l'ancien bord de la rivière et la nouvelle digue. L'eau chargée de dépôts est admise à entrer dans l'espace entre l'ancienne rive et la digue. La réduction des vitesses entraîne ainsi le dépôt des vases et, par suite, un exhaussement du niveau, à cet endroit.

Épis. — Ce sont des digues transversales construites de la rive abandonnée jusqu'à l'endroit choisi comme nouvelle rive pour resserrer le chenal et provoquer une élévation du fond dans la partie du cours d'eau qui se trouve derrière la nouvelle rive. Un affouillement se produit à la tête de l'épi. Les épis peuvent être de différents types.

1°) — Epi non submergé dont la crête est placée au niveau des hautes eaux.

2°) — Epi dont la crête est placée au niveau des eaux moyennes.

Les épis ne donnent pas de résultats satisfaisants dans les rivières de montagne.

b) — *Technique hindoue.* — Dans l'Inde et, principalement dans le Punjab, en plus des guideaux, divers autres ouvrages de rectification ont été construits dans les rivières en amont des barrages. Les ouvrages de rectification consistent principalement en éperons armés construits en des endroits convenables des rives de la rivière. Les types d'éperons armés, anciennement adoptés, étaient :

1°) — Eperons en tête de canne de hockey.

2°) — Eperons en tête de canne de hockey renversée.

3°) — Eperons à tête ronde.

4°) — Eperons à tête en « T ».

Le type qui fut reconnu le plus satisfaisant est l'éperon à tête en « T ». Les éperons sont construits en pierre avec un solide radier. Différentes dispositions de ces éperons ont été anciennement adoptées :

Eperons construits le long d'une seule rive de la rivière ou

Eperons construits sur les deux rives de la rivière.

En amont des anciens barrages du Punjab, de grands « Belas » naturels existent en face des pertuis centraux. Ces « Belas » s'étendent quelquefois sur une longueur de 2 à 3 miles, comme

à Khanki, Rasul, etc. Dans ces cas, le pertuis central du barrage est masqué et sa capacité d'évacuation diminue. En lisant ce qui précède, on voit que les méthodes anciennement utilisées pour redresser les rivières n'étaient pas des plus satisfaisantes.

IV — L'IDEE DE L'ILE ARTIFICIELLE

L'idée de l'île artificielle remonte à H.-W. NICHOLSON, en 1926-1927. Plus tard, pour la prise d'eau de Khanki, il soumit des propositions au Gouvernement, dans une note en date du 24 avril 1933, pour l'empierrement du musoir du « Bela » central, mais la proposition fut repoussée.

L'efficacité de l'île artificielle, pour le redressement d'une rivière, fut examinée sur modèle par UPPAL et MUSHTAQ AHMAD, en 1936. En plus, d'autres modèles furent étudiés : éperons armés, construits en différents endroits sur les deux rives ou sur une seule, prolongement des « guideaux » et des « belas » de sable, le long des guideaux. Les résultats montrent que les conditions obtenues avec l'île artificielle sont les plus satisfaisantes.

Reprise de l'idée de l'île artificielle.

En 1943, MONTAGU reprit l'idée de l'île artificielle.

Théorie de l'île artificielle.

La construction d'une île artificielle, dans le lit de la rivière, modifie la répartition des vitesses et la force d'entraînement. Celle-ci augmente considérablement au voisinage de l'île et produit des affouillements. Elle attire à elle le chenal principal de la rivière et l'y maintient. Le fonctionnement de l'île est satisfaisant, surtout au voisinage des sections de contrôle, c'est-à-dire, des barrages et ponts de chemins de fer.

L'objet de cet article est de donner les résultats des dernières recherches sur la méthode des îles artificielles.

ETUDES SUR MODELE REDUIT

I. — ETUDES 1936-37

Position peu satisfaisante du cours de la rivière par rapport aux barrages du Sutlej Valley Project

Le cours de la rivière Sutlej, à l'amont de tous les barrages S.V.P. depuis leur construction, était oblique avec formation de grands « Belas » entre les guideaux ; il en résultait des dépôts nuisibles dans les « poches ». Dans certains cas, l'alimentation des canaux devenait difficile.

En 1935, la question de l'amélioration du projet des ouvrages de rectification de rivière pour le S.V.P. était à l'étude. Des propositions pour effectuer des améliorations dans les ouvrages de redressement furent communiquées au Gouvernement. Devant la variété des projets que l'on pouvait adopter, on décida de chercher sur modèle l'amélioration qui serait la plus satisfaisante pour les ouvrages. On se proposa d'examiner sur modèles, tous les barrages du S.V.P. Celui de la rivière Sutlej, à la prise d'eau d'Islam, fut réalisé le premier à cause des ennuis qu'elle y provoquait.

Le problème de la prise d'eau d'Islam.

Le barrage d'Islam a été construit à une certaine distance du chenal principal de la rivière, puis, lorsqu'il fut terminé, la rivière fut détournée sur le barrage. Les ouvrages de rectification que l'on a construits furent incapables de redresser la rivière en amont du barrage. En 1936, le chenal principal se trouvait le long de la rive gauche, de sorte que la « poche » droite était alimentée avec de très grandes difficultés.

Il fallait donc étudier des méthodes de régularisation de la rivière telles que le « bela » ne prenne pas d'extension au voisinage de la rive droite et que l'écoulement de la rivière principale soit rectiligne entre les « guideaux ».

Les modèles.

Pour cette étude, on représenta la rivière Sutlej sur une distance de 3 à 4 miles en amont du barrage d'Islam. Deux modèles, à fond mobile, furent construits aux échelles suivantes :

Modèle n° 1. — Echelle horizontale : 1/1000
Echelle verticale : 1/100
Distorsion : 10

Modèle n° 2. — Echelle horizontale : 1/750
Echelle verticale : 1/80
Distorsion : 9,4

On trouva que les grains de sable qui reproduisaient le mieux la réalité avaient un diamètre de 0,15 m/m. environ. On chercha ensuite sur les modèles, quels seraient les moyens d'obtenir la suppression du « bela » le long du guideau de droite.

Construction d'un « bela » artificiel ou d'une île sur le lit de la rivière en amont du barrage d'Islam.

Une île artificielle ou, comme on l'appelait anciennement, un « bela » artificiel, fut construite

sur le lit de la rivière, à environ 1500 mètres en amont du barrage d'Islam. L'île était située entre l'axe du barrage et la rive gauche du grand « bela » et entre la tête de l'éperon en « T » et le musoir amont du guideau de droite comme le montre la figure 1. Le « bela » était de forme triangulaire avec un côté parallèle au guideau de droite et l'angle entre les deux côtés faisant face au courant était de 25°. L'effet de la présence du « bela » fut de diviser le courant à l'aval de l'éperon en « T » de sorte qu'une partie de l'alimentation était dirigée vers le « guideau » de droite. Ainsi fut supprimé le courant de retour, au voisinage de la « poche » droite, qui était la cause de la formation du « bela ».

La figure 1 illustre l'effet du « bela » sur les sections de la rivière et la distribution des vitesses. On y a représenté les sections de la rivière et la distribution des vitesses avant la construction de l'île et deux saisons après la mise en fonctionnement de l'île. En examinant cette figure, on verra que la présence du « bela » eut les conséquences suivantes :

1°) — creusement du « bela » entre l'éperon « T » et le musoir amont du guideau de droite. Le « bela » le long du guideau de droite également affouillé. Un chenal se forme sur le côté droit de l'île artificielle.

2°) — Des dépôts ont lieu dans le chenal de gauche qui était avant, trop profond. La répartition des vitesses entre les guideaux s'améliore considérablement. Le long du guideau de droite, où la vitesse de l'eau était trop faible, cette vitesse devient égale à celle du chenal de gauche. Les vitesses de l'eau, sur les deux côtés de l'île, à l'extrémité du « bela » sont devenues, sensiblement, les mêmes. La figure 2 montre la direction du courant sur le modèle avec l'île artificielle. L'écoulement est, uniformément, distribué. La figure 3 montre que le lit de la rivière entre les guideaux est uniforme après les essais.

Conclusions :

La construction de l'île artificielle donne de très bons résultats. L'écoulement de la rivière entre les guideaux est considérablement amélioré et devient à peu près central.

Cependant, le procédé de l'île artificielle ne fut pas approuvé par les officiers locaux et l'idée fut rejetée sous le prétexte qu'il était impossible d'avoir un accès facile à l'île en temps de crues. On ne refit pas de nouvelle expérience pour l'île artificielle et, pendant six ans, aucun travail ne fut fait à son sujet.

II — ETUDES 1943-44

Reprise de l'idée de l'île artificielle par M. Montagu.

En mars 1943, peu après son arrivée au Secrétariat, M. MONTAGU fit revivre la méthode de l'île artificielle. Il donna une nouvelle orientation à la construction de l'île sans qu'il soit considéré comme nécessaire d'avoir accès à l'île pendant les crues. On entreprit une nouvelle étude :

1 — en canal vitré dans les Laboratoires d'Hydraulique

2 — sur des modèles à grande échelle.

3 — sur la rivière elle-même.

A) — EXPÉRIENCES EN CANAL VITRÉ DANS LES LABORATOIRES D'HYDRAULIQUE.

Des expériences furent faites en canal vitré pour étudier l'allure du courant, en présence de l'île artificielle. On étudia, ainsi, l'action de la forme de l'île sur le lit de la rivière. Dans chaque cas, on a fait les observations suivantes :

1 — Profil de la surface libre le long de l'île artificielle.

2 — Répartition des vitesses.

3 — Affouillement du lit.

4 — Force d'entraînement.

Deux modèles différents d'îles artificielles ont

été examinés dans la partie centrale du canal vitré. Du sable de 0,2 m/m. de diamètre était placé dans le canal sur une profondeur de 20 cm.

La figure 4 représente une vue d'une île artificielle, dans le canal. Les expériences ont d'abord été faites avec des vitesses d'écoulement légèrement inférieures à la vitesse critique. Les expériences montrèrent qu'avec cette vitesse des affouillements se produisaient au voisinage de l'île et non en un autre point du lit.

La seconde indication obtenue fut que l'affouillement au voisinage de l'île commençait juste en amont de l'île et qu'il se déplaçait ensuite vers l'arrière. Immédiatement, à l'aval de l'extrémité de l'île, il se produisait une certaine augmentation des dépôts.

L'affouillement maximum était obtenu pour le plus fort débit, puis si on diminuait le débit, l'excavation se remblayait.

Mesure de la force d'entraînement.

La force d'entraînement est celle exercée en un point du matériau du lit par le courant, elle est exprimée par :

$$T = \frac{\gamma}{\gamma_0} H i$$

où T est la force d'entraînement.

$\frac{\gamma}{\gamma_0}$ est le poids spécifique de l'eau.

H est la profondeur d'eau au point donné

i est la pente de la surface libre.

Fig. 2. — ETUDES DE 1936-37. ILE ARTIFICIELLE A 5000 PIEDS EN AMONT DU BARRAGE. L'ÉCOULEMENT SE DISTRIBUE UNIFORMÉMENT ENTRE LES GUIDEAUX.

Fig. 3. — ETUDES 1936-37. ILE ARTIFICIELLE A 5000 PIEDS EN AMONT DU BARRAGE. VUE DU LIT A SEC.

La force d'entraînement était déterminée au centre du canal, au voisinage de l'île, et le long des côtés du canal loin de l'île. Les résultats obtenus sont donnés par la figure 5. En examinant cette figure, on voit que, au voisinage de l'île, la force d'entraînement augmente d'une manière considérable. Ceci est dû à ce que la pente de la surface libre est plus forte au voisinage de l'île. A cause de l'augmentation de la force d'entraînement, des affouillements se produisent au voisinage de l'île. Rien ne se produit ailleurs. Pour les forts débits, quand la vitesse d'écoulement est grande, un affouillement profond commence au musoir de l'île et va jusqu'à son extrémité aval. L'affouillement obtenu est circulaire, que l'île soit rectangulaire ou profilée.

B) — EXPÉRIENCE SUR MODÈLE A GRANDE ÉCHELLE.

ETUDE DE L'EFFET DE LA CONSTRUCTION D'ÎLES ARTIFICIELLES SUR LA RIVIÈRE SUTLEJ, EN AMONT DE LA PRISE D'EAU DE SULEIMANKI.

La rivière Sutilej, en amont de la prise d'eau de Suleimanki, a un cours sinueux, ce qui provoque de graves érosions sur les musoirs amont des guideaux. Afin de redresser l'alimentation oblique du barrage, un modèle de la prise d'eau de Suleimanki et de la rivière Sutilej, sur une longueur de 24 km. en amont de la prise d'eau, fut construit aux échelles suivantes :

- horizontale 1/150
- verticale 1/25
- Distorsion 6

Ensuite, on fit sur le modèle les études suivantes :

Etude n° 1. — Détermination de l'action de la construction d'une île unique dans le lit de la rivière.

Etude n° 2. — Détermination de l'action de la construction d'une série d'îles artificielles dans le lit de la rivière.

Etude n° 3. — Détermination de l'action de la construction d'une série d'îles artificielles, réunies

les unes aux autres et à la rivière principale par une tranchée.

Etude n° 4. — Détermination de l'action de la construction d'une série d'îles artificielles, réunies les unes aux autres et à la rivière principale, cette dernière étant barrée par une digue en terre.

Etude n° 5. — Détermination de l'action de la construction d'une île unique à proximité des musoirs des guideaux.

Etude n° 6. — Etude du projet de l'île artificielle sur un modèle à grande échelle.

On trouvera ci-dessous un bref exposé des résultats obtenus dans chacune de ces études avec des photographies montrant les conditions d'écoulement durant les essais et après essais. On a fait, dans chaque cas, des observations concernant la vitesse, la profondeur des affouillements en divers points au voisinage de l'île, les jaugeages, les canaux et la formation de « belas ». Après chaque essai complet, on faisait un relevé détaillé du lit de la rivière. Pour chaque étude, le modèle était conforme au relevé fait sur la rivière en novembre 1942 et on réalisait les débits suivants :

Fig. 4. — ÉTUDE DE L'ACTION D'UNE ÎLE ARTIFICIELLE EN CANAL VITRÉ.

Etude en canal vitre d'une île artificielle rectangulaire

Graphique de la force d'entraînement

Figure 5

Phase 1. — Débit moyen 2240 m³/sec.

Phase 2. — Débit de crue 2800 m³/sec.
4200 m³/sec.
5600 m³/sec.
7000 m³/sec.
8400 m³/sec.

Phase 3. — Débit moyen 2240 m³/sec.

Essai pour une période équivalente à un mois (longue période).

Etude n° 1. — Détermination de l'action de la construction d'une île unique dans le lit de la rivière.

A 2150 mètres en amont du barrage, il y avait un « bela » et la rivière principale était située à gauche de la ligne médiane, à 210 mètres de distance. On décida d'examiner pour l'île, les deux positions suivantes :

1°) Île artificielle, construite à mi-chemin entre la rive droite du chenal principal et la ligne médiane.

2°) Île artificielle, construite sur la ligne médiane.

1°) *Île artificielle construite à mi-chemin entre la rive droite du chenal principal et la ligne médiane.*

Les indications suivantes ont été obtenues:

(I) La présence de l'île attire la rivière vers elle. Le chenal profond, qui était situé au loin du côté droit de l'île avant l'essai, se trouve maintenant près de l'île.

(II) Un affouillement profond se creuse au musoir de l'île.

(III) Le chenal principal, en amont de l'île, est dévié vers la droite par la présence de l'île.

2°) *Île artificielle construite sur la ligne médiane.*

Fig. 6. — MODÈLE DE LA RIVIÈRE SUTLEJ EN AMONT DU BARRAGE SULEIMANKI. LE LIT DE LA RIVIÈRE AVEC L'ÎLE DANS SA PREMIÈRE POSITION, AVANT ESSAI (ÉTUDES 1943-44)

L'île fut enlevée de sa première position et reconstruite sur la ligne médiane du barrage. Le lit de la rivière, modelé par l'essai précédent, n'a pas été modifié.

Les directions de l'écoulement, avec un débit de 7000 m³/sec. ont montré que l'écoulement principal se trouvait au musoir de l'île. En aval de l'île, la rivière se divisait en deux. Les conditions de l'écoulement, à la fin de l'essai, sont montrées par la figure 8. On y voit que l'écoulement devient central entre l'île et le barrage. Les figures 6, 7 et 8 montrent la comparaison entre les conditions initiales et celles obtenues après les essais avec l'île dans sa première position.

Conclusions :

1. — On peut rectifier la rivière en amont du

Fig. 7. — LE LIT DE LA RIVIÈRE APRÈS ÉCOULEMENT SUR LE MODÈLE AVEC L'ÎLE DANS LA PREMIÈRE POSITION.

barrage au moyen d'une île artificielle dans la rivière.

2. — La construction d'une île artificielle attire la rivière vers elle et un « bela » se forme à l'ancienne position du chenal principal comme le montre la figure 8.

3. — Quand le chenal principal se trouve à une grande distance de la ligne médiane du barrage, le déplacement du chenal principal, vers la ligne médiane, doit se faire par étapes.

4. — Le chenal principal, à l'amont de l'île, subit l'influence de cette dernière jusqu'à une distance de 250 mètres.

Etude n° 2. — Détermination de l'action de la construction d'une série d'îles artificielles dans le lit de la rivière.

La première île construite dans l'Etude n° 1, fut maintenue à sa place.

Effet de deux îles artificielles. — Une seconde île artificielle fut construite 1800 mètres en amont de la première. A cet endroit se trouvait un « bela » sableux, assez élevé. Pour la seconde île artificielle, deux positions ont été examinées.

1°) — Ile artificielle construite à 135 mètres de la rive droite du chenal principal ou 540 mètres de la ligne médiane.

2°) — Ile artificielle construite sur la ligne médiane.

1°) — Les essais sur modèle furent faits avec les mêmes débits que dans l'Etude n° 1. Il y a eu un léger changement pour la phase 3. Au lieu d'utiliser un débit de 2240 m³/sec., pendant une période équivalente à 1 mois, on choisit un débit de 2800 m³/sec. car le « bela » sur lequel l'île était construite étant élevé, avec 2240 m³/sec., l'écoulement était peu important sur le « bela ».

Fig. 8. — LE LIT DE LA RIVIÈRE APRÈS ÉCOULEMENT SUR LE MODÈLE AVEC L'ÎLE CONSTRUITE SUR L'AXE.

La figure 9 montre les conditions d'écoulement avec un débit de 2800 m³/sec. Les essais, sur le modèle, ont montré que le courant principal amont de l'île avait tendance à se déplacer vers la ligne médiane. La rivière fait une grande boucle, sur la gauche, vers l'île.

On peut montrer que l'action de l'île n° 2 dépend de la durée des débits qui passent sur le « bela » et de l'importance des crues. Pour les forts débits coulant sur le « bela », c'est leur durée qui importe. L'écoulement près de l'île n° 1 est tout à fait satisfaisant.

2°) L'île qui, dans la dernière expérience, était située à 135 mètres de la rive droite du courant principal, fut enlevée et installée sur la ligne médiane. L'état du lit ne fut pas modifié.

La profondeur d'eau sur le « bela » où la seconde île artificielle se trouvait construite, était vraiment petite. L'écoulement principal, dans la rivière, en face de la seconde île artificielle se plaçait à une grande distance de l'île. L'ensemble de la rivière était toutefois concentré au voisinage de la première île.

Conclusions :

Une des conclusions obtenues par ces essais fut que le courant principal se divisait en trois parties, le chenal de gauche n'était pas très profond et le « bela » sur lequel la seconde île était construite était abaissé par les affouillements. La seconde île n'a pas attiré la rivière vers elle comme le fit la première. Ceci est principalement dû au fait que le « bela », sur lequel la seconde île était construite, se trouvait être assez haut et que le courant principal était situé à une grande distance de la ligne médiane.

Effet de trois îles artificielles.

Une troisième île, semblable à la deuxième,

Fig. 9. — ESSAI DE DEUX ÎLES ARTIFICIELLES. VUE VERS L'AMONT, DÉBIT DE 2800 M³/SEC.

fut construite 1800 mètres en amont de celle-ci. A cet endroit, le chenal principal fait une boucle vers la gauche. Le lit de la rivière, obtenu après la construction de la seconde île, n'était pas modifié.

La figure 10 représente les conditions d'écoulement pour un débit de 2240 m³/sec. Sur cette figure, on peut voir les points suivants :

1. — Le chenal principal est attiré par la troisième île artificielle.

2. — Un petit écoulement s'effectue par-dessus le « bela », sur le côté gauche de l'île.

On observa un affouillement profond près de la troisième île artificielle. Après les débits de crue, on diminua progressivement le débit et on prit des photos pour 2240 m³/sec. et à l'étiage afin de pouvoir localiser le chenal principal et la position du « bela ».

Le chenal se forme le long du côté gauche de la troisième île. Sur le côté droit de l'île, il y a toutefois un « bela » pour ce débit. Ce dernier « bela » d'ailleurs continue jusqu'à la deuxième île où il est assez élevé. Sur le côté gauche de la seconde île, il s'est formé une petite boucle. De plus, on a fait les observations suivantes :

a) — En aval de la troisième île, un dépôt se forme à une grande distance de la ligne médiane. Ce « bela » s'est constitué par suite de la formation du chenal qui est parallèle à la ligne médiane, en aval de l'île n° 3. De plus, il a tendance à combler l'ancien chenal profond le long de la rive gauche.

b) — Une île se forme en amont du musoir du guideau de gauche et le chenal principal se situe à la première île. Il n'y a pas de chenal principal à la deuxième île.

Dans une autre expérience on a étudié les

Fig. 10. — ESSAI DE TROIS ÎLES ARTIFICIELLES. VUE VERS L'AMONT, DÉBIT DE 2240 M³/SEC.

conséquences d'un déplacement de l'île n° 2, vers la gauche, c'est-à-dire vers le courant principal. Les îles n° 3 et n° 1 n'ont pas été déplacées. On n'a pas obtenu de résultats satisfaisants.

Conclusions :

1. — La construction de l'île artificielle n° 2 ne donne pas de résultats satisfaisants. Ceci est dû au fait que cette île est construite sur un « bela » élevé et que le chenal principal est situé à une grande distance de la ligne médiane.

2. — La construction de l'île n° 3 aide beaucoup à attirer la rivière vers la ligne médiane et sans le « bela » élevé de l'île n° 2, on pourrait obtenir un chenal rectiligne allant de l'île artificielle n° 3 à l'île artificielle n° 1.

3. — Le déplacement de l'île artificielle n° 2, à 180 mètres à gauche de la ligne médiane, provoque la formation d'un chenal continu de l'île artificielle n° 3 à l'île artificielle n° 1. Ce chenal continu est toutefois peu profond. La rivière principale, en face de l'île n° 2 est située à l'extrême gauche à une grande distance de l'île.

Etude n° 3. — Détermination de l'action de la construction d'une série d'îles artificielles, réunies les unes aux autres et à la rivière principale par une tranchée.

La totalité du « bela » entre le chenal Lalu Gudar et la rivière principale fut reproduite en sable et trois îles furent construites sur l'axe du barrage, la première à 2.000 mètres, la seconde à 3.700 mètres et la troisième à 5.450 mètres du barrage. Un fossé de 21 mètres de large fut creusé dans le lit de la rivière de la rive en amont de la troisième île jusqu'à l'île n° 1.

Pour enregistrer les niveaux de la rivière, on installa des jauges dans le fossé amont et en aval des îles artificielles. Le modèle fut étudié pour les différents débits comme dans les études précédentes. Après les essais, durant une saison complète, on fit un relevé détaillé du lit.

Conclusions :

De cette étude, on a déduit les conclusions suivantes :

1. — Jusqu'à un débit de la rivière variant de 560 à 840 m³/sec. il n'y a pas de débit appréciable dans le fossé.

2. — Le fossé entre en action pour des débits de la rivière variant de 1.120 à 2.240 m³/sec.

3. — Au-dessus de 2.500 à 2.800 m³/sec. le fossé ne joue plus aucun rôle, car tout le débit passe par-dessus la totalité du « bela ».

4. — Quand les crues descendent au-dessous

de 2.240 m³/sec. un certain débit passe dans le fossé. Toutefois, l'importance de l'écoulement est moindre que celle obtenue pour un même débit avant la crue.

La position du fossé fut légèrement modifiée. Au lieu de le faire des deux côtés de l'île, on le plaça uniquement à sa gauche. Les essais sur modèle montrèrent que les résultats étaient identiques à ceux obtenus avec la première position.

Etude n° 4. — Détermination de l'action de la construction d'une série d'îles artificielles réunies les unes aux autres et à la rivière principale, cette dernière étant barrée par une digue en terre.

Dans cette étude, en plus du fossé allant de la rivière principale aux îles, la rivière fut barrée par une digue en terre à 45 mètres en aval du départ du fossé. Le sommet de la digue fut arasé au niveau de la rivière pour le débit de 560 m³/sec. On fit des essais avec un débit de 44,8 m³/sec. Du débit commença à passer dans le fossé. Toutefois, la digue fut endommagée à sa partie supérieure.

Le débit fut ensuite augmenté jusqu'à 50,4 m³/sec., ce qui provoqua de plus grands dommages sur le sommet de la digue. A 56 m³/sec. la digue fut noyée et même emportée sur la rive droite comme le montre la figure 11.

Conclusions :

Le fossé ne se développe pas même si la rivière principale est barrée par une digue. Le niveau d'eau obtenu avec un débit de 56 m³/sec. avec la digue est aussi élevé que celui de la rivière pour un débit de 560 m³/sec. La méthode se révèle donc inefficace.

Fig. 11. — TROIS ÎLES RÉUNIES PAR UNE TRANCHÉE A LA RIVIÈRE PRINCIPALE BARRÉE PAR UNE DIGUE EN TERRE. RUPTURE DE LA DIGUE PRÈS DE L'ÎLE.

Etude n° 5. — Détermination de l'action de la construction d'une île unique à proximité des musoirs des « guideaux ».

Il fut décidé que l'on construirait une île artificielle pendant l'hiver 1943-1944. Pour déterminer la forme et la position convenables de cette île, on eut recours au modèle réduit. A la suite des essais préliminaires, on a vu que, d'après le relevé de novembre 1943, la meilleure position, si on ne construisait qu'une seule île, était une ligne médiane du barrage 1.350 mètres en amont de ce dernier. Afin de faire des essais plus détaillés, on construisit, d'après le relevé de la rivière en 1943, un modèle représentant une longueur de 8 kilomètres, en amont du barrage. Une île artificielle fut construite à 1.350 mètres en amont du barrage. On fit des essais sur modèle pour différents débits et les observations ont été faites comme dans les études précédentes.

On remarqua que rien ne se passait à l'île pour les basses eaux à cause de la retenue qui doit être maintenue pour alimenter le canal. L'île entraînait en action pour les débits moyens de 1.120 à 2.800 m³/sec.

A 1.120 m³/sec. des affouillements se produisaient sur le musoir de l'île et le courant avait tendance à se déplacer vers la ligne médiane. Des dépôts avaient également tendance à se former en amont du musoir du « guideau » de gauche. On fit aussi des essais pour des forts débits de crue.

Conclusions :

1. — Si en 1944, on ne construisait qu'une seule île, la position la plus convenable était à 1.350 mètres en amont du barrage, sur la ligne médiane.

2. — La rivière a tendance à se déplacer vers l'île artificielle. Des dépôts ont également tendance à se former au voisinage du musoir du guideau de gauche.

3. — L'extrémité aval du « bela » entre le chenal Lalu Gudar et la rivière principale se déplace vers l'amont.

Si l'île était construite avec des pierres de petite taille, on a constaté qu'elle s'effondrerait pour un débit de 2.240 m³/sec. Cependant, afin de faire une étude complète, l'île fut reconstruite et on fit des essais. De nouvelles expériences furent faites pour déterminer sur modèle l'action de l'île effondrée. On constata qu'elle perdait sa propriété d'attirer l'écoulement et le chenal et de provoquer la formation du « bela ». L'affouillement préalablement formé prend une grande extension si on fait des essais avec de

gros débits de crues, l'île étant effondrée. Pour rectifier la rivière, en amont du barrage, et pour immobiliser le chenal profond près de l'île, il faudra donc que l'île artificielle puisse résister aux débits de crue. Si l'île s'écroule, il n'y a plus d'action possible sur la rivière.

Comme résultat des études précédentes, on voit que la construction de l'île artificielle peut vraiment servir à rectifier le cours de la rivière en amont du barrage. L'étude n° 5 montre qu'au-dessus d'un certain débit, l'île artificielle peut s'écrouler. Il fut donc considéré comme nécessaire de rechercher, dans le détail la forme de l'île sur un modèle à grande échelle sans distorsion ou avec une faible distorsion.

Etude n° 6. — Etude de la forme de l'île artificielle sur un modèle à grande échelle.

Pour cela, on réalisa un modèle partiel de la rivière Suttlej en amont de Suleimanki, aux échelles suivantes :

Echelle horizontale 1/50

Echelle verticale 1/20

Dimension de sable utilisé... 0,44 m/m

Le modèle représentait le barrage, les guideaux et la rivière Suttlej sur une longueur de trois kms, en amont du barrage de Suleimanki. L'île artificielle était construite à 1.350 mètres en amont du barrage avec des pierres de 8 à 10 cm. de diamètre. Le radier, etc... étaient construits conformément aux plans représentés sur la figure 12. Comme la rivière comporte deux chenaux dont le point de jonction est situé à 8 kms en amont du barrage, on réalisa une alimentation distincte pour chacun des chenaux. On fit des essais avec tous les débits utilisés précédemment. Ces essais précisèrent l'action de l'île artificielle. Leurs résultats confirmèrent les conclusions de l'étude n° 5.

Il est prouvé que la construction d'une île artificielle aide énormément à rectifier le cours de la rivière en amont du barrage. L'île artificielle attire la rivière vers elle et un chenal profond se forme à son voisinage.

II. — Autres études sur modèle d'îles artificielles.

Dans les études ci-dessus, l'île artificielle était utilisée pour rectifier le cours de la rivière en amont du barrage. L'utilisation de l'île a été ensuite appliquée à d'autres cas.

1°) — Pour obtenir une répartition uniforme de l'écoulement entre les guideaux pendant le détournement de la rivière après l'achèvement de la prise d'eau.

2°) — Pour réduire l'érosion sur la rive droite concave de la boucle de la rivière.

Plan de l'île artificielle construite à 1350m en amont
du barrage Suleimanki

Figure 12

3°) — Pour modifier le cours des torrents de montagne à leurs confluent avec la rivière.

4°) — Pour rectifier le cours de la rivière aux endroits où il n'y a pas de section de contrôle.

Voici un bref aperçu de ces recherches :

I. — Répartition uniforme de l'écoulement entre les guideaux pendant le détournement de la rivière après l'achèvement de la prise d'eau.

— Etude de l'action d'îles artificielles sur l'Indus, en amont du barrage Glancy sur la répartition de l'écoulement entre les guideaux.

Après son passage dans le défilé en amont de la ligne du chemin de fer N-W reliant Mari et Lahore, l'Indus se divise en trois chenaux. Le chenal de droite est le chenal principal tandis que les chenaux du centre et de gauche sont secondaires. Le barrage est construit sur le côté gauche du chenal central. On a barré le chenal de gauche et dévié le chenal central vers le chenal principal pour la construction du barrage.

Actuellement, le barrage est terminé. On peut avoir à dévier la rivière sur le barrage pendant l'hiver 1944-45. On étudie, sur modèle, les dispositions à adopter pour cette dérivation. Ces études montrent, qu'après le détournement, le chenal principal se trouve le long du guideau de droite au lieu d'être uniformément réparti entre les guideaux. Un « bela » élevé se forme le long du guideau de gauche et après un temps de fonctionnement du modèle équivalent à une

année après le détournement de la rivière, aucun débit ne passe en face de la moitié gauche du barrage. Ceci est naturel puisque pendant ces dernières années la rivière a coulé le long du musoir du guideau de droite, et qu'elle y a ainsi creusé un chenal très profond. Pendant la dernière mousson, on a dû y jeter une grande quantité de pierres pour empêcher que le musoir ne soit emporté.

Dans le but d'obtenir une répartition uniforme de l'écoulement entre les guideaux, on construit sur le modèle deux îles artificielles de 150 m. de longueur chacune. On étudia leur action pendant la période de détournement et durant les crues suivantes. Les résultats, sur modèle, ont montré que le côté droit de l'île artificielle peut avoir une action pendant le détournement. A cause de la présence de l'île, l'écoulement se dirige vers la gauche et le chenal, le long du guideau de droite, est moins profond que celui obtenu sans les îles.

Le côté gauche de l'île artificielle n'exerce une action que pendant les crues. Il aide à maintenir l'écoulement le long du guideau de gauche.

Conclusions :

1°) — La rivière, après son détournement, longe normalement le « guideau » de droite et y forme un chenal profond. Le long du « guideau » de gauche, l'eau reste peu profonde.

2°) — La construction de l'île artificielle, dans le lit de la rivière, en amont du « guideau » aide à répartir l'écoulement entre les « guideaux ». Deux îles artificielles, au moins, sont nécessaires.

II. — Réduction des affouillements sur le côté concave de la courbe de la rivière.

Etude de l'action de la construction d'îles artificielles au voisinage de la rive gauche de la rivière Sutlej, 12 miles en amont de la prise d'eau d'Islam, action se produisant sur la rive droite en face des îles.

En ce point, le chenal le plus profond de la rivière est situé complètement à droite. On craignait que, si l'érosion de la rive droite devait continuer, la digue latérale ne fût emportée, ce qui provoquerait le contournement du barrage. Afin de réduire l'action sur la rive droite et afin de déplacer le chenal profond de la droite vers la gauche, on construisit sur le modèle une île artificielle au voisinage de la rive gauche. A cet endroit, le « bela » est élevé et n'est submergé qu'en temps de crue. On fit des essais sur le modèle pour une période équivalente à une année.

Ces essais montrèrent que l'île a effectivement une action. Le courant principal qui, sans elle,

coule à l'extrême droite, devient central. Un affouillement profond se produit au musoir de l'île. Cet affouillement profond s'étend sur une distance de 150 m., en aval de l'île. Pour les débits de crue, la vitesse de l'écoulement est beaucoup plus grande au voisinage de l'île qu'en tout autre point. Toutefois, une seule île, par son action, n'est pas capable de déplacer le chenal principal de la droite vers la gauche. Pour cela, une série d'îles est nécessaire.

On construisit donc une seconde île artificielle, 150 m. en aval de la première et on fit des essais pour une période équivalente à une autre année. On étudia son action sur la répartition de l'écoulement. Un chenal, bien que peu profond, se forme le long de la rive gauche. On en conclut qu'au moins trois îles sont nécessaires pour déplacer le chenal de la droite vers la rive gauche.

Conclusions :

1. — Les îles artificielles, construites sur un « bela », du côté convexe de la courbe d'une rivière, aident à réduire l'intensité de l'action sur la rive concave de la courbe.

2. — Pour déplacer le chenal de la concavité vers la convexité, il faut, obligatoirement, une série d'îles.

III. — *Modification du cours des torrents de montagne à leurs confluent avec la rivière.*

— *Etude de l'action de la construction d'une île artificielle au voisinage de la rive droite de la rivière Ravi, action sur le cours du torrent Manghar, en aval de la prise d'eau de Madhopur et étude de la réduction, par cette île, des affouillements sur la rive gauche aux éperons de Bherian.*

En aval de la prise d'eau de Madhopur, la rivière Ravi coule près du canal Slampur. En 1936, la rivière affouilla gravement la rive gauche et menaça d'inonder le canal de Slampur. Afin de protéger ce dernier, on construisit une série d'éperons armés, le long de la rive gauche. La construction des éperons protégea la rive gauche contre de nouvelles érosions, mais eux-mêmes eurent à subir de lourdes actions aux forts débits.

En amont des éperons de Bherian, il existe un torrent, connu sous le nom de Manghar. Pendant la mousson, l'écoulement du torrent agit sur la rivière principale et la détourne vers la gauche, ce qui cause des érosions sur les éperons. Si l'écoulement du torrent ne heurtait pas celui de la rivière principale, le courant de celle-ci pourrait se distribuer uniformément de lui-

même, au lieu de se concentrer le long de la rive gauche.

Afin d'obtenir cet effet, on rechercha, sur modèle, l'action d'une île artificielle, au confluent du torrent avec la rivière principale. Après des essais sur le modèle pour une période équivalente à un an, on constata que le débit du torrent, au lieu d'aller vers la gauche, coulait au voisinage de l'île artificielle, et qu'il formait un chenal, d'ailleurs peu profond. Une légère augmentation des dépôts se produisit aux éperons Bherian. Cependant, pour une réussite complète, il est nécessaire de faire des essais pour une période équivalente à plusieurs années. L'action de l'île artificielle, sur un lit de cailloux, est beaucoup plus lente que celle obtenue si l'île est construite sur un lit d'alluvions.

Conclusions :

1. — Une île artificielle aide à détourner l'écoulement du torrent loin de la rivière principale, évitant ainsi une concentration d'écoulement.

2. — L'action de l'île artificielle, sur un lit de pierres, est beaucoup plus lente que si l'île est construite sur un lit d'alluvions.

IV. — *Rectification du cours de la rivière aux endroits où il n'y a pas de section de contrôle.*

Etude de l'action de la construction d'une île artificielle sur la rivière Beas au voisinage de Western Bein.

Dans les études précédentes, les expériences ont été faites sur des portions de rivière au voisinage d'un barrage.

Pour les compléter, on étudia l'action d'îles artificielles sur la rectification d'une rivière en des endroits où il n'y a pas de section de contrôle.

La rivière Beas, dans la boucle nord de Bist Doab, a été fortement érodée sur la rive gauche. La gravité de la situation est due au fait qu'il existe tout près de cette rive un canal naturel de drainage, connu sous le nom de Western Bein. Le niveau d'eau dans le Western Bein est environ 3 m. plus bas que celui des plus hautes crues dans la rivière. Si la rivière emportait la rive gauche, elle coulerait dans le Western Bein et causerait des désastres sur la ligne de chemin de fer, sur une route à grand trafic et sur une partie de l'Etat Kapurthala.

On essaya, mais sans succès, d'attirer la rivière vers la rive droite à l'aide d'éperons.

On examina, alors, l'influence d'une série d'îles artificielles. Dans ce cas, on essaya d'empierrier le musoir d'un « bela » naturel dans le lit de la rivière. D'abord, une seule fut construite et on fit des essais pour une période équivalente à un

an. Peu après, on construisit une autre île, en aval de la première et on recommença les essais pour un an. Ensuite, une troisième île fut mise en place et les essais furent refaits pour une période équivalente à plus de deux ans. Les expériences montrèrent que la construction de trois îles aidait à rectifier la rivière. Les îles devaient être construites successivement.

Conclusions :

1. — La construction d'îles aide à rectifier la rivière aux endroits où il n'y a pas de section de contrôle. Cependant, ceci est assez long et il faut plusieurs îles pour arriver au résultat.

2. — L'empierrement du musoir d'un « bela » naturel, dans le lit de la rivière, est une méthode très satisfaisante.

ETUDE DE L'ÎLE ARTIFICIELLE PAR DES ÉSSAIS SUR LA RIVIÈRE ELLE-MÊME

ACTION D'UNE ÎLE ARTIFICIELLE CONSTRUITE
SUR LA RIVIÈRE SUTLEJ, EN AMONT DE LA PRISE
D'EAU DE SULEIMANKI.

Encouragé par les résultats obtenus par les essais sur modèle, on décida de construire une île artificielle dans la réalité et de faire des essais à l'échelle grandeur.

Choix de l'emplacement pour l'île artificielle.

Des études sur modèle, on avait déduit que l'emplacement le plus convenable pour la construction d'une seule île artificielle était sur la ligne médiane du barrage en aval de l'extrémité arrière du « bela » central, séparant la rivière principale et le chenal de droite. Les avantages de cette situation sont les suivants :

1. — A cet endroit, l'île artificielle doit agir par ses deux côtés à cause de l'écoulement dans la rivière principale et de celui dans le chenal de droite.

2. — A cet endroit, la régularisation de la rivière au barrage a encore de l'influence sur l'action de l'île. Ceci est très important car le fait que l'île soit au voisinage d'une section de contrôle est très important pour le fonctionnement effectif de l'île.

Le musoir amont de l'île artificielle a été implanté à 1430 m. du barrage. Pendant la construction il fut déplacé de 12 m. vers la gauche de la ligne médiane.

Forme de l'île artificielle

La figure 12 montre la forme et les dimensions que l'on a finalement adoptées pour l'île artificielle.

Ses principales caractéristiques sont :

1. Musoir amont semi-circulaire
2. Aval en queue de poisson
3. Longueur de l'île en
crête 59,1 m.
4. Largeur de la crête. 15 m.
5. Longueur à la base . 105,6 m.
6. Pente des côtés ... 2/1
7. Longueur du radier. 12 m.
8. Epaisseur du radier. de 4 m. au pied de l'île
à 7 m. au bord extérieur.

Le niveau de la crête de l'île est à 0,9 m. au-dessus des plus hautes crues enregistrées.

Construction

L'île fut terminée en janvier 1944. Elle est constituée en pierres pesant approximativement le poids d'un homme et placées à la main. Les figures 13 et 14 donnent des vues de l'île après son achèvement.

Etat de la rivière en février 1944, juste après la construction de l'île.

Un relevé détaillé du lit de la rivière fut fait en février 1944, afin de déterminer les conditions des chenaux et « belas » au moment de la construction de l'île et afin de les comparer aux conditions de la rivière observées plus tard par suite de l'action de l'île.

1. — En amont de l'île artificielle, le chenal profond est situé le long de la rive gauche. En face et à l'aval de l'île, le chenal de la rivière principale continue le long de la rive gauche. Au musoir de l'amont du « guide-bank » de gauche, se produit un affouillement très profond. À l'aval du musoir, le chenal profond continue le long du « guide-bank » de gauche sur une certaine distance. Le chenal ensuite se dirige vers le centre du barrage. De la rive gauche de la rivière principale vers le côté droit du « bela » central, le niveau du lit se relève d'une manière continue.

2. — La partie la plus profonde du chenal de droite est située à une courte distance du côté droit du « bela » central.

3. — En aval de l'île artificielle, il y a un « bela » qui continue jusqu'à 900 m. du barrage.

4. — Le « bela » central a 48 m. de large juste en amont de l'île et 267 m. plus au-dessus.

Composition du « bela » central et du lit de la rivière principale.

Afin de déterminer la composition du « bela », des prélèvements ont été faits et analysés à différentes profondeurs.

Les 60 premiers centimètres du sommet du

« bela » sont constitués principalement d'argile avec un peu de vase ; à 60 cm. du sommet, il y a une couche d'argile de 30 cm. d'épaisseur. Au-dessous de cette couche d'argile, le « bela » est constitué principalement de sable moyen avec un certain pourcentage de matériau grossier. Il est donc clair que les 90 premiers centimètres sont formés d'argile tenace et qu'au-dessous, le « bela » est composé d'un matériau affouillable. Le lit de la rivière principale au voisinage de l'île artificielle est constitué principalement de sable moyen avec un léger pourcentage d'argile. La composition du matériau du lit est approximativement la même que celle du matériau au niveau des fondations de l'île artificielle.

Programme des observations à faire sur l'île artificielle durant la mousson 1944.

Afin de déterminer, en détail, comment l'île fonctionnait, on décida de faire durant la saison de la mousson, des observations détaillées sur les points suivants :

I. — Directions du courant en amont et en aval de l'île artificielle.

Aux faibles débits, les directions du courant seraient enregistrées photographiquement, les lignes de courant étant visualisées avec des pains de bouse de vache séchée (fig. 15). Aux forts débits, on se servirait de flotteurs lumineux (fig. 16). On ferait les essais de nuit et on exposerait plus longtemps les plaques photographiques.

II. — Observations de la vitesse

Les observations de la vitesse seraient faites au musoir amont et sur les côtés de l'île artificielle ainsi que dans les deux chenaux au niveau de l'île artificielle.

III. — Observations d'affouillement et de dépôt à l'île artificielle dans la rivière principale et dans le chenal de droite.

IV. — Action sur le radier de l'île artificielle.

V. — Erosion du « bela » central.

Figure 13. — ÎLE ARTIFICIELLE DEVANT LE BARRAGE SULEINANKI SUR LA RIVIÈRE SUTLEJ
(LE BARRAGE EST AU FOND, À DROITE)

Fig. 14. — L'ÎLE ARTIFICIELLE DE SULEIMANKI.
PHOTO PRISE LE 9 AOUT 1944.

Observations effectuées

On fit tous ces efforts pour suivre le programme des observations mentionnées ci-dessus, mais on ne put le faire en toute rigueur. Les officiers locaux décidèrent que l'on ne pouvait pas, sans risque, faire des observations pour des débits au-dessus de 4200 m³/sec. Pour les débits compris entre 3500 et 4200 m³/s., on utilisa un bateau à moteur. Mais le manque d'essence interrompit les observations.

On a pu faire en tout six séries d'observations pendant la saison de la mousson. Nous allons les examiner mois par mois.

JUIN 1944

Cette année-là, la rivière resta, exceptionnellement, basse. Jusqu'à fin 1944, le débit maxima à SULEIMANKI fut d'environ 330 m³/sec.

Malgré la faiblesse du débit, on constata un changement notoire de la rivière. Il se produisit, d'une part, des affouillements atteignant 3,60 m. à l'amont de l'île artificielle, attirant la rivière vers elle ; d'autre part, un approfondissement des parties droites et centrales de la rivière à l'aval et quelques dépôts le long du guideau de gauche.

Sur le « bela » central, on ne constata aucune érosion et le radier de l'île n'a pas bougé.

JUILLET 1944

Au mois de juillet, on a fait des observations à deux dates différentes : le 6 et le 22.

6 juillet 1944.

Jusqu'à cette date, le débit de la rivière resta très bas.

Les observations du 6 juillet indiquent la même tendance à affouiller au voisinage de l'île

Fig. 15. — ÉTUDE DE L'ÎLE ARTIFICIELLE DE SULEIMANKI, 31 JUILLET 1944. DÉBIT 2800 M³/SEC. — ON REMARQUERA LES PAINS DE BOUSE DE VACHE SERVANT DE FLOTTEURS POUR INDiquer LA DIRECTION DU COURANT. (L'ÎLE ARTIFICIELLE EST AU SECOND PLAN, A DROITE)

artificielle et à déposer le long de la rive gauche que celles faites au mois de juin.

22 juillet 1944.

Entre les 6 et 22 juillet, le débit a augmenté dans la rivière. Le 19 se produisit une petite crue de 2984 m³/sec.

1 — Dans la rivière principale entre les murs des guideaux et l'île artificielle, il se produit des dépôts sur la moitié gauche et des affouillements sur la moitié droite du chenal.

2 — Dans le chenal de droite, il se produit des affouillements en amont immédiat de l'île artificielle. Immédiatement en aval de l'île, il y a une légère augmentation des dépôts.

3 — A l'aval de l'île artificielle, le point le plus profond du lit de la rivière est situé sur la ligne médiane du barrage.

Fig. 16. — ÉTUDE DE L'ÎLE ARTIFICIELLE DE SULEIMANKI, VISUALISATION DU COURANT PAR BOUÉES LUMINEUSES.

Etude de l'île artificielle sur la rivière Sutlej en amont du barrage Suleimanki

Figure 17

4 — Au musoir du mur-guideau, il se produit des dépôts dans la totalité du lit.

5 — Pour les petites crues, il se produit un tassement d'une petite portion du radier en pierre sur le côté droit de l'île artificielle.

La figure 15 représente la rivière à l'approche de l'île artificielle. L'écoulement principal fait une boucle vers l'île artificielle.

Conclusions :

En lisant ce qui précède, on voit que l'île commence à entrer en action et qu'elle attire vers elle le chenal principal de la rivière tout en occasionnant des dépôts dans le chenal primitif.

AOUT 1944

Conditions au mois d'août 1944.

Pendant le mois d'août, les observations furent faites les 9, 10 et 11. Pendant la dernière semaine de juillet et jusqu'au 11 août, la rivière resta plus haute qu'en juillet. Il y eut trois petites crues et une crue moyenne de 5600 m³/sec. Ce fut le débit maximum durant la mousson de 1944. La figure 14 montre les conditions de la rivière à l'île artificielle. On voit que les flotteurs, mis dans la rivière en amont de l'île pour visualiser les directions de l'écoulement, sont attirés par l'île artificielle. Les observations faites le 11 août, ont donné les indications suivantes :

1. — Dans la rivière principale, les 2/3 du chenal de la rive gauche s'ensavent en amont de l'île. A certains endroits, il y a un dépôt de l'ordre de 2,5 à 3 m.

2. — Le reste du chenal, soit 1/3, se creuse.

L'affouillement le plus profond se produit au voisinage du bord du « bela » central et le long du côté gauche de l'île artificielle. La profondeur de l'affouillement par rapport au niveau primitif du lit au voisinage de l'île est en certains points supérieure à 3,60 m.

3. — En aval de l'île artificielle, l'affouillement du lit est encore plus grand. Le chenal le plus profond en aval de l'île se trouve dans l'axe du barrage.

4. — Dans le chenal de droite, l'affouillement se produit au voisinage du côté droit de l'île artificielle.

Le côté gauche du « bela » central est érodé en divers endroits, sur 10 à 30 mètres de profondeur.

Conclusions :

Des observations faites en août, on peut déduire que la rivière est considérablement

modifiée à l'approche de l'île artificielle. La rivière centrale coule le long du côté gauche du « bela » central. Le long de l'île artificielle et à l'aval, jusqu'aux « guideaux », le chenal le plus profond est situé dans l'axe du barrage. De même, le lit le plus profond de la rivière dans le chenal de droite est situé près du côté droit de l'île artificielle (voir fig. 17).

On peut donc conclure que l'île artificielle fonctionne d'une manière satisfaisante et que le but pour lequel elle a été construite, est atteint.

SEPTEMBRE 1944

Conditions en Septembre 1944

Les observations furent poursuivies jusqu'au 12 septembre. Pendant la première semaine, le débit moyen fut de 4.200 m³/sec. après quoi il baissa brusquement.

L'île continua son action dans le même sens. De légers baissements du radier, sur le côté gauche de l'île se produisirent le 4 septembre, pour un débit de 4.300 m³/sec.

CONCLUSIONS

On a examiné, dans cette note, différentes méthodes de rectification des rivières. Des expériences faites sur modèle à grande échelle et dans nature, on peut déduire que l'utilisation des îles artificielles est une méthode satisfaisante.

L'île attire à elle la rivière principale, un chenal profond se creuse le long de ses bords et se continue à l'aval. La méthode donne de bons résultats au voisinage des points de contrôle tels que les barrages et les ponts de chemin de fer.

Les observations sur l'ouvrage réel seront continuées l'année prochaine. On prendra des dispositions pour pouvoir faire des observations pendant les crues.

BIBLIOGRAPHIE

1. - DUBUAT. — *Principes d'Hydraulique* (Paris, Impr. de Mr).
2. - EXNER, F. M., (1919), 2-A, - Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wein, Abt 128, 1453-73.
3. - QURESHI, M.S. (1943) — *Curr. Sci.*, 12,278.
4. - STANLEY, W. F., (1881). — *Experimental Researches* (London, E and F.N. Spon, Ltd).
5. - THOMPSON J., (1877). — *Proc. Roy. Soc., Lond., (A)* 25, 5-8 Also, *Scientific Papers in Physics and Engineering* (Lond., Camb. Univ. Press), pp. 96-99.
6. - UPPAL, H. L. and Musshtaq Ahmad (1936). — *Studies in River Training* — Investigation of a model of River Sutlej for straightening the course of the river above Pallah Headworks (Typewritten paper of Irrig. Res. Inst. Lahore).
7. - VOGEL, D. HERBERT (1934). — *Model Studies for Channel Stabilisation Mississippi River*, Paper 15, of the U.S. Waterways Experi. Sta. Wicksburg, Mississippi.