

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

SERVICE DES LABORATOIRES ET ESSAIS HYDRAULIQUES

LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE



6, quai Watier - CHATOU - Seine-et-Oise

Tél. : 966.35.20

NOTE SUR L'APPROFONDISSEMENT DES CHENAUX NAVIGABLES
OBTENUS PAR UTILISATION DE LA CIRCULATION TRANSVERSALE

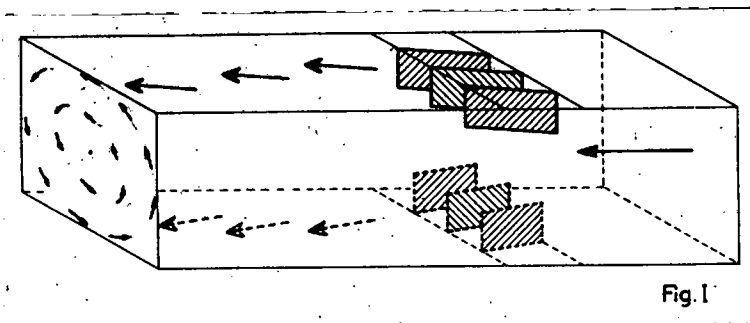
par J. E. CHABERT

Chef de Division au Laboratoire National d'Hydraulique

Cette note a pour but de montrer comment une circulation transversale provoquée peut résoudre un certain nombre de problèmes qui se posent dans les aménagements de rivières alluvionnaires (protection d'une berge contre l'érosion, lutte contre l'ensablement d'une prise d'eau - irrigation ou hydroélectricité - et principalement approfondissement d'un chenal navigable), d'en exposer les conditions d'utilisation et de donner un aperçu des résultats déjà obtenus.

LA CIRCULATION TRANSVERSALE - PRINCIPE DE SON UTILISATION .-

Les expériences préliminaires effectuées par le Professeur Potapov dès 1932 ont démontré la possibilité d'obtenir dans un courant rectiligne à surface libre un écoulement de circulation (écoulement dont les vitesses locales ont des composantes transversales) en disposant dans le courant des panneaux fixes destinés à diriger les filets liquides. Ces expériences ont



montré que le courant hélicoïdal ainsi créé, possède, à la même vitesse moyenne, un pouvoir véhiculant plus élevé que le courant à filets liquides parallèles, en raison, sans doute, de l'accroissement de la turbulence (figure I).

Le courant hélicoïdal, créé par une disposition judicieuse de ces panneaux, peut donc être utilisé comme moyen d'action sur les alluvions du lit.

Un dispositif analogue à celui du schéma n° II permet, par exemple, de faire converger les courants de surface et par conséquent, si le tirant d'eau n'est pas trop grand par rapport à la hauteur des panneaux, de faire diverger les courants de fonds, ce qui a pour effet de creuser axialement le lit.

Le schéma de la figure n° III montre l'effet sur les courants de fond et de surface de panneaux placés dans le fond d'une rivière. Lorsque le

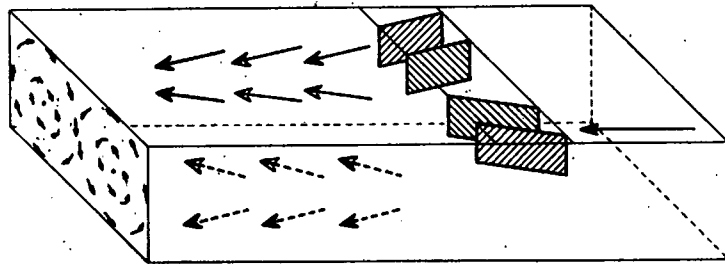


Fig II

courant passe au-dessus de ceux-ci, les filets liquides subissent une déviation normalement aux panneaux et il se forme en aval de ceux-ci un cordon tourbillonnaire qui emmène les alluvions. Les panneaux ayant une direction faiblement inclinée par rapport à l'écoulement, le lit se creuse suivant une direction voisine de celle de l'écoulement initial. La photographie visualise la trajectoire d'un flotteur lumineux pris dans ce mouvement hélicoïdal lors d'essais en canal vitré.

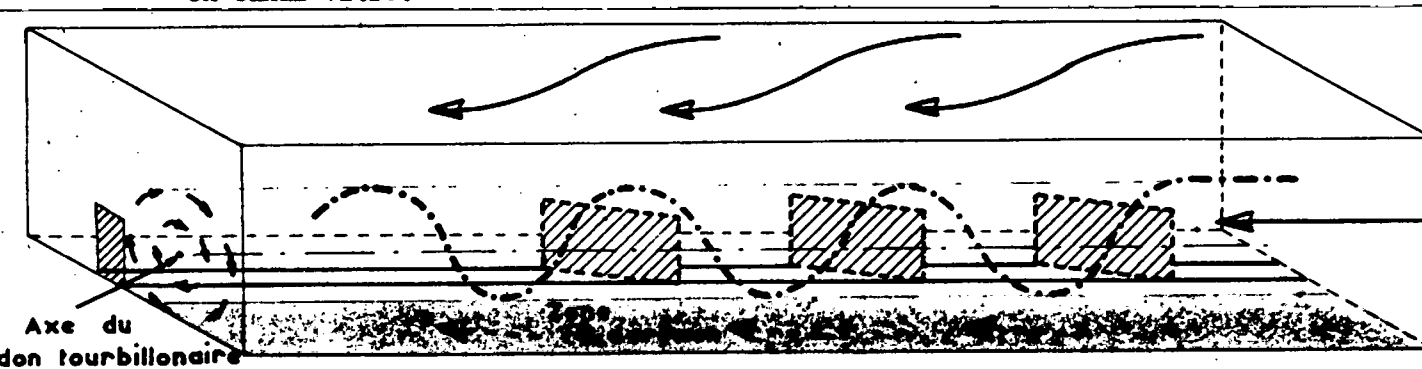


Fig. III

Un système de panneaux de surface disposés suivant la figure IV fait converger les courants de surface vers la prise d'eau, et diverger les courants de fonds chargés d'alluvions, alors que sans dispositif de guidage, ce sont au contraire les courants de fonds qui rentrent dans la prise, favorisant ainsi son engravement. En faisant, à l'inverse (figure V), converger les courants de fond vers une berge que l'on veut protéger, les alluvions s'y déposent à son pied, empêchant ainsi son érosion.

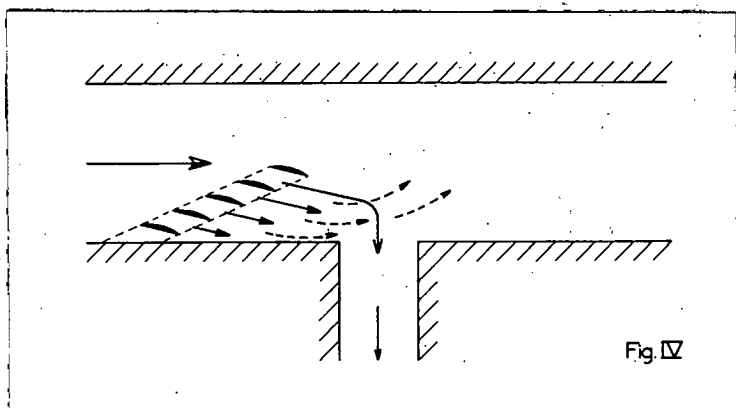


Fig. IV

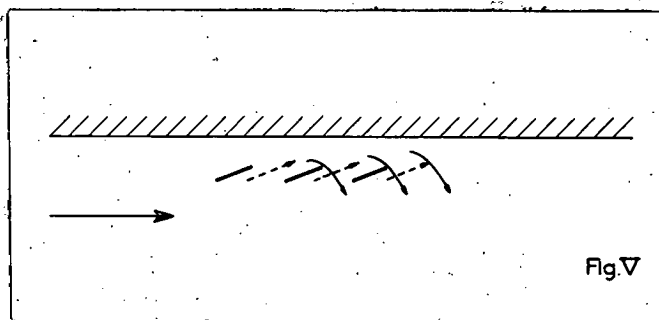


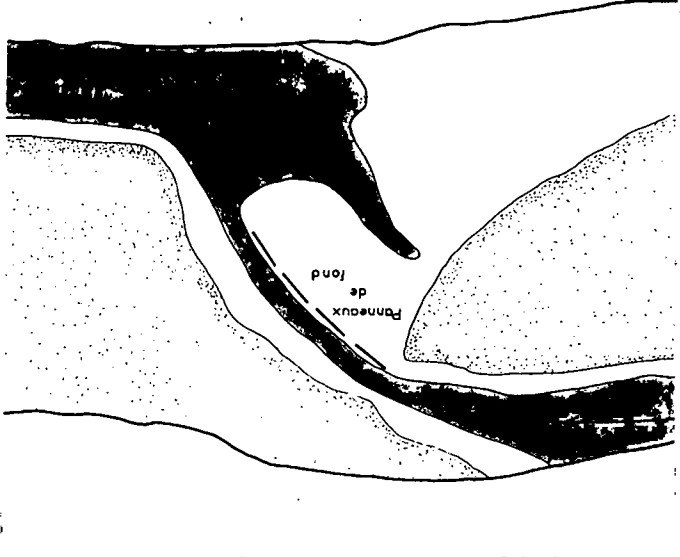
Fig. V

ESSAIS DE MISE AU POINT - RESULTATS OBTENUS .-

A partir de ce principe d'utilisation, le Laboratoire National d'Hydraulique a effectué de nombreux essais de mise au point tant en canal expérimental, que sur modèles de rivières.

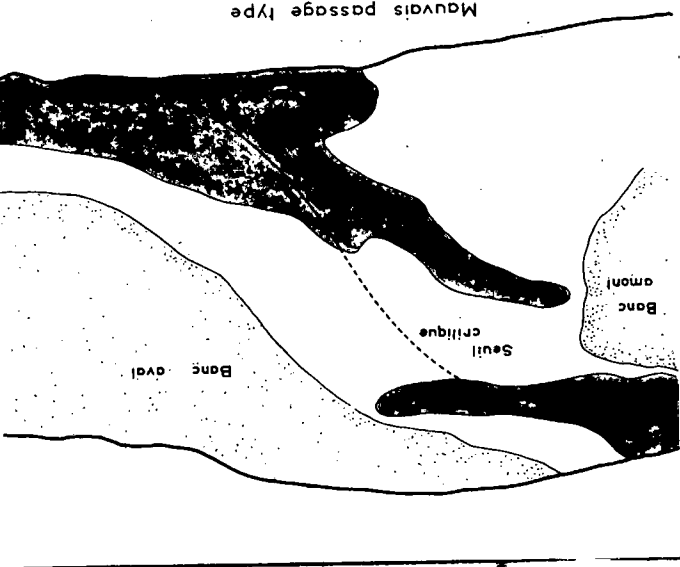
Il est en effet indispensable d'adapter les nombreux paramètres caractérisant les panneaux (nombre, longueur, espacement, angle, profondeur d'immersion, ...) à l'effet recherché en fonction des conditions hydrauliques et topographiques de la rivière (pente de la ligne d'eau, loi hauteur-débit, vitesse de l'écoulement, granulométrie des alluvions du lit, mouvement des bancs, etc...).

Il est hors de propos de s'étendre sur tous ces essais ; on se bornera à considérer le cas de l'amélioration des conditions de navigabilité et de donner un aperçu des résultats obtenus, soit sur modèle, soit lors de réalisations dans la nature.



Rg.VII

Schema de correction d'un mauvais passage type par panneaux de fond



Rg.VI

Mauvais passage type

CORRECTION DE RIVIERES .-I - CORRECTION PAR PANNEAUX DE FOND

Dans les rivières navigables coulant sur leurs propres alluvions, le mauvais passage type schématisé sur la figure n° VI apparaît lorsque le chenal change de rive, par suite de la courbure du lit par exemple. Les deux mouilles où les tirants d'eau sont importants et qui forment le chenal navigable se trouvent séparées par un seuil où le tirant peut devenir très faible empêchant ainsi le passage normal de la navigation. L'effet de la circulation transversale créée par un panneau de fond (figure n° III) peut être utilisé suivant le schéma de principe de la figure n° VII pour creuser dans le seuil un chenal qui rejoint ainsi les deux mouilles.

Les essais, tant sur le modèle que dans la nature, ont permis d'adapter ce schéma de principe aux conditions hydrauliques et topographiques du lit. Il est, en particulier, préférable, indépendamment même du coût de l'ensemble, de ne pas réaliser un système continu de panneaux mais plutôt d'utiliser des panneaux relativement courts espacés d'une distance convenable de façon à assurer une bonne continuité du chenal.

Les photographies qui suivent (figures n° VIII et IX) ont été prises dans un canal expérimental du Laboratoire lors d'essais à grande échelle (1/20) avec un matériau dont le diamètre correspond à des alluvions naturelles de 5 à 10 mm.

Ces photographies mettent en évidence :

- l'effet d'un panneau unique : son influence se fait sentir sur quatre fois sa longueur,
- l'effet de 4 panneaux placés à distance convenable pour créer un chenal unique et continu.

Les effets obtenus sont encore plus marqués lorsque les alluvions du lit ont un diamètre plus petit.

.../...

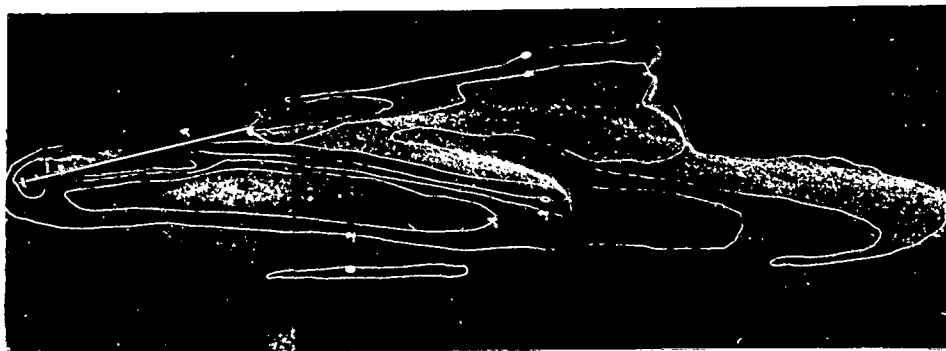


Figure VIII

Etude en canal de l'effet d'un panneau de fond.



Figure IX

Chenal créé par 4 panneaux de fond (Etude en canal).

II - CORRECTION PAR PANNEAUX DE SURFACE (PANNEAUX DRAGUEURS)

L'utilisation de panneaux de surface destinés à créer une circulation transversale double axiale (figure n° II) a conduit le Laboratoire à mettre au point le système schématisé sur la figure n° X où deux bras amont et deux bras aval plus longs sont munis de panneaux de surface. Des études en canal (cf. figure n° XI) ont permis de déterminer les caractéristiques de l'appareil

(nombre et espacement de panneaux, angle des panneaux avec l'écoulement, angle des bras, profondeur d'immersion des panneaux) en fonction des paramètres hydrauliques (tirant d'eau, vitesse) de façon à obtenir soit un creusement important mais de longueur limitée, soit un creusement modéré sur une grande longueur.

Schéma d'un système de panneaux dragueurs

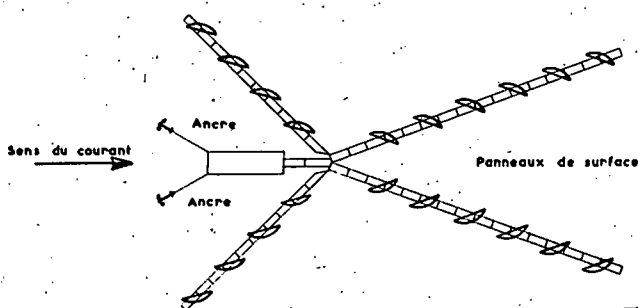
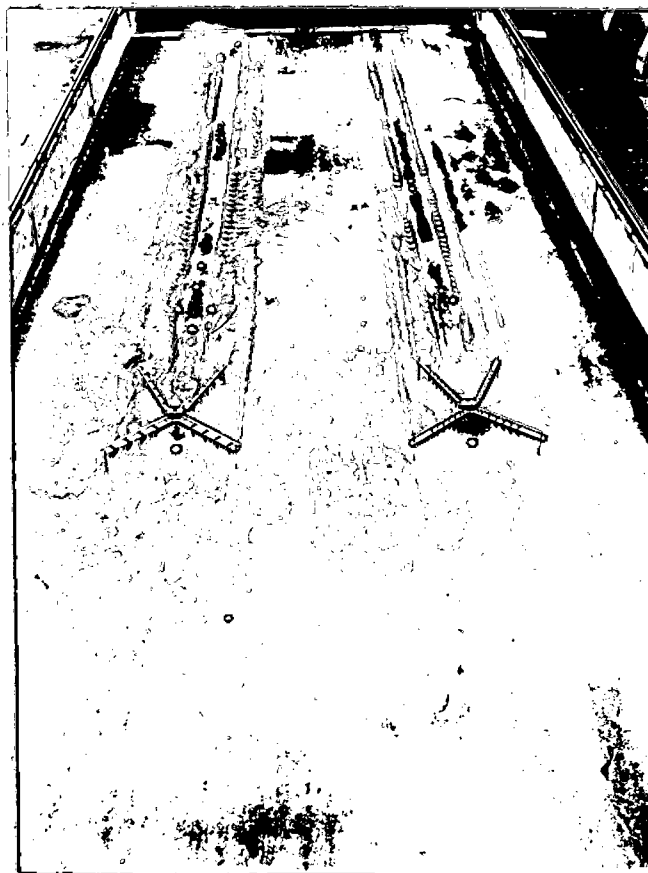


Fig.X

Figure XI



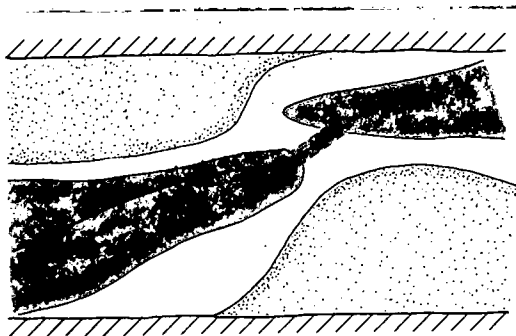
.../...

III - DIFFERENCE D'UTILISATION ENTRE LES PANNEAUX DE SURFACE ET DE FOND

Les panneaux de fond peuvent être considérés comme une correction définitive. Leur implantation doit être telle que d'une année à l'autre ils permettent au chenal navigable de se maintenir au même endroit. Ceci suppose donc une connaissance assez précise de l'évolution naturelle des fonds, en particulier des conditions aux limites. Il serait en effet illusoire de vouloir traiter un seuil particulier d'une façon définitive, en laissant le lit divaguer librement à l'amont et à l'aval ; cette correction doit donc s'inscrire dans un plan général d'aménagement de façon à obtenir un chenal continu dont le tracé demeure identique.

Les panneaux de surface ont au contraire la même utilisation qu'une drague ; quand, au cours d'une décrue, un mauvais passage est repéré, le système de panneaux dragueurs du fait de sa mobilité pourra être facilement mis en place à l'endroit voulu, permettra d'ouvrir, par un travail continu, le seuil sans que, à la différence d'une drague, sa présence ne soit une gêne pour la navigation ; sa position de travail se situe en effet en amont du seuil à traiter, dans la mouille où le chenal est en général assez large (cf. figure n° XII). Le chenal étant ouvert, le système peut être utilisé sur un autre seuil.

Le chenal étant, de plus, obtenu hydrauliquement en fonction de la direction des courants, sa forme et sa stabilité jusqu'à l'étiage sont meilleures que celles d'un chenal obtenu



Position de travail d'un système de panneaux dragueurs

Fig. XII

leures que celles d'un chenal obtenu par dragage. Toutefois, il n'est évidemment pas possible d'affirmer que le chenal ainsi créé se maintiendra après une nouvelle crue bien que cela soit plus probable que s'il s'agissait d'un chenal ouvert par dragage.

L'utilisation des panneaux dragueurs est tout indiquée, quand on ne connaît pas suffisamment l'évolution des fonds pour pouvoir implanter des panneaux de fond, quand la position des seuils est trop variable d'une année sur l'autre pour que l'on puisse envisager immédiatement une correction permanente, ou s'il s'agit d'augmenter localement la profondeur dans un chenal déjà tracé.

RESULTATS OBTENUS SUR LE HAUT-NIGER

Ces principes de correction ont été utilisés sur certains seuils du Haut-Niger pour améliorer les conditions de navigabilité d'un tronçon de 200 km Koulikoro-Ségou (République Soudanaise, Fédération du Mali).

La succession des opérations a été la suivante :

- une première campagne de mesures et de travaux expérimentaux sur place,
- simultanément une étude sur modèle d'un tronçon caractéristique de 8 km du Niger,
- une deuxième campagne de travaux utilisant les premiers résultats sur modèle.

L'expérience tirée de l'ensemble de ces différents travaux a permis d'établir un plan d'ensemble de correction pour le tronçon Koulikoro-Ségou dont la réalisation doit commencer fin 1960.

I - CORRECTION PAR PANNEAUX DE FOND

Des règles d'implantation des panneaux de fond ont pu être ainsi dégagées :

- il faut implanter les panneaux à partir de l'aval de la mouille amont vers la mouille aval pour que l'ensemble des panneaux soit le plus loin possible de la dune amont, à une distance qui est évidemment fonction de la vitesse d'avancement des bancs ; si cette condition n'est pas respectée, les panneaux risquent de s'ensabler lors des premières crues et de n'avoir plus aucun effet à la décrue suivante.

Ce phénomène a été clairement mis en évidence sur modèle, et confirmé l'année suivante par l'ensablement des panneaux mis lors de la première campagne expérimentale.

- La direction de l'écoulement qui est, comme le montre le schéma ci-contre, sensiblement parallèle aux berges en période de crue, devient progressivement oblique au fur et à mesure de la décrue. L'inclinaison des panneaux doit donc être déterminée pour que l'angle d'attaque du courant sur chacun d'eux donne la meilleure efficacité au

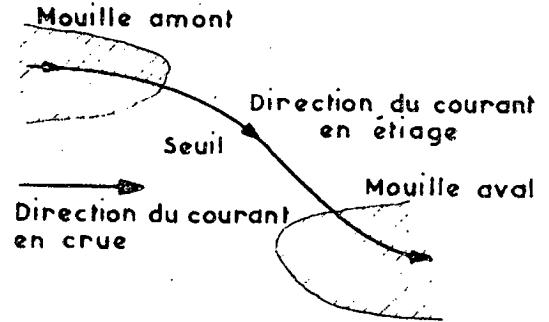
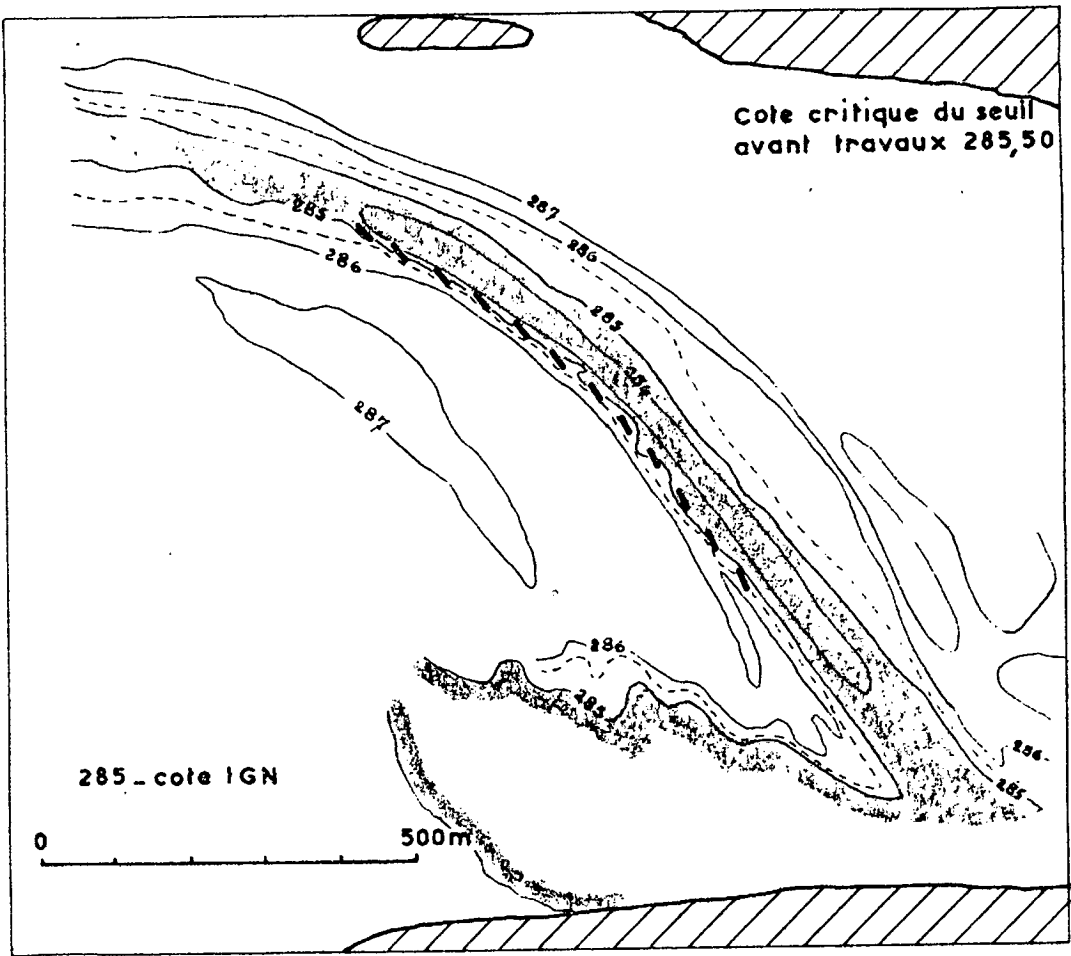


Figure XIII

moment où, pendant la décrue, le chenal doit commencer à se créer.

Les figures n° XIV, XV et XVI tirées de l'étude sur modèle montrent le chenal ainsi formé pour un seuil très long (800 m) et un seuil de longueur moyenne (300 m). Les creusements obtenus varient de 0,50 m à 1 m.

Le tableau suivant donne les principaux résultats obtenus dans la nature et leur comparaison à l'étude sur modèle :



Chenal crée dans un seuil de 800 mètres — (Etude sur modèle)

Fig. XIV



Fig. XV

Caractéristique du seuil	Nombre de panneaux	Longueur des panneaux	Résultat		Observations
			sur le Niger	sur le modèle	
Seuil court (200 m)	4	50 m	Chenal creusé de 0,50 à 1 m sur 200 m.	Résultat vérifié à posteriori	1ère campagne expérimentale de travaux.
Seuil moyen (400 m)	6	50 m	Creusement de 0,50 à 1 m sur 400 m.	Résultat vérifié à posteriori	1ère campagne expérimentale de travaux.
	5	25 m	—	Chenal de 400 m creusé de 1 m. (figure XVI)	Implantation défi- nitive mise au point sur modèle
Seuil long - Seuil n° 1 coupé en amont longueur 650m	7	50 m	Creusement de 0,40 à 0,80 m sur 500 m.	Résultat vérifié à posteriori	1ère campagne expérimentale de travaux. Panneaux ensablés après la crue suivante.
	10	50 m	Creusement de 1 m le long des 7 premiers panneaux de 0,45m le long des 3 derniers.	Résultat identi- que.	Implantation dans la nature corres- pondant aux pre- miers essais sur modèle.
" "	14	25 m	—	1 m de creuse- ment minimum sur toute la longueur du seuil (figures XIV et XV)	Implantation défi- nitive mise au point sur modèle.
- Seuil n° 2 600 m	9	50 m	Creusement de 0,50 à 1 m le long des 6 premiers panneaux de 0,40 m le long des 3 derniers (figure N°XVII)	—	Zone non reproduite sur le modèle. Implantation des panneaux inspirée des premiers essais sur modèle.

La largeur du chenal ainsi créé est toujours d'au moins 50 m.

.../...

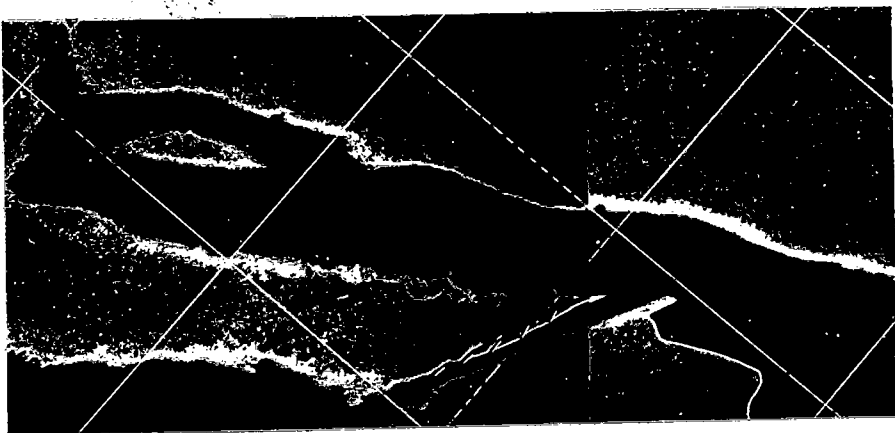


Figure XVI

Correction d'un seuil de longueur moyenne par 5 panneaux de fond. Photographie prise sur le modèle à la fin de l'été.

sens de l'écoulement



Figure XVII

Correction d'un seuil long par 9 panneaux de fond. Photographie prise sur le Niger en fin de décrue.

II - CORRECTION PAR PANNEAUX DE SURFACE

Deux ensembles de panneaux dragueurs ont été réalisés pour créer des chenaux navigables sur certains seuils du tronçon Koulikoro-Ségou (figures n° XVIII et XIX).

Les effets suivants ont été obtenus :

Caractéristique du seuil	Nombre de jours de fonctionnement	Conditions Hydrauliques	Résultats		Observations
			Creusement	Longueur	
<u>Seuil de longueur moyenne</u> n° 1	20	Eaux moyennes de décrues	Minimum 0,50 m	400 m	Largeur de 50 à 100m Volume excavé 35.000m ³
n° 2	30	Fin de décrue 0,35 m/s	0,35 m	350 m	
n° 3	20	Fin de décrue 0,55 m/s	0,40 m	250 m	
<u>Seuil court</u>	7	Eaux moyennes de décrue	1,15 m		



Figure XVIII

Montage d'un système de panneaux de surface sur le Niger.

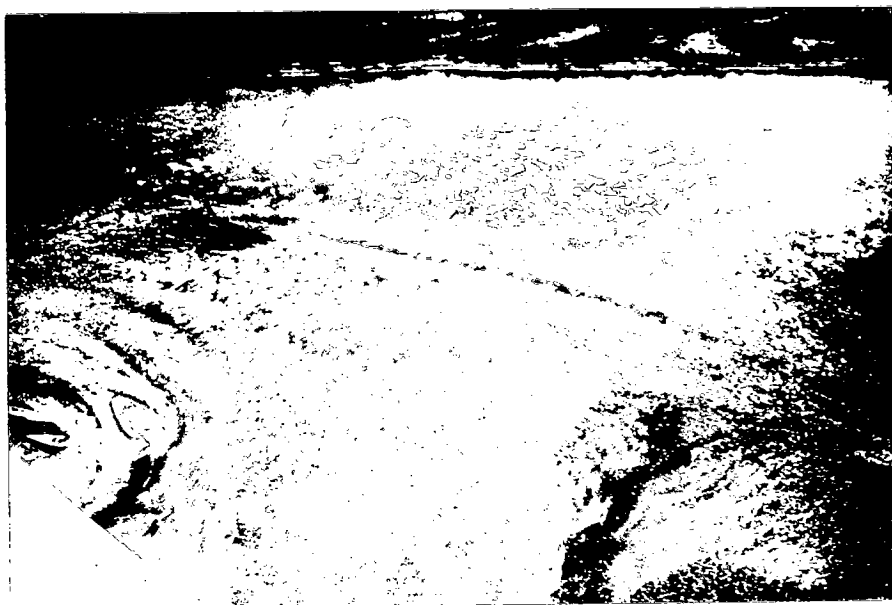


Figure XIX

Système de panneaux de surface en fonctionnement sur le Niger.

On remarquera en aval du système le sillage créé par la convergence des courants de surface.

CONCLUSION .-

Ces types de correction temporaire ou définitive ont un domaine d'utilisation très varié, puisqu'ils permettent d'approfondir de 0,50 m à 1 m des chenaux dans des rivières ou fleuves coulant sur des lits sableux et dont les vitesses ne doivent pas être inférieures à 0,60 m/s au moment où les dispositifs de correction doivent agir. Les variations de niveau du plan d'eau, la vitesse d'avancement des bancs, la longueur des seuils et la largeur du lit sont alors des données en fonction desquelles les ouvrages doivent être adaptés.

Cette adaptation doit se faire, pour les panneaux de fond, au moyen d'un modèle réduit reproduisant un tronçon caractéristique de la rivière. La concordance des résultats obtenus sur modèle et dans la nature pour la correction du Haut-Niger, est un exemple très encourageant des effets d'une bonne coordination entre les essais en Laboratoire et les réalisations sur place.

Il faut également signaler que la détermination de la vitesse d'avancement des bancs, élément important pour l'implantation des panneaux, peut être facilement déterminée au moyen de traceurs radioactifs. Une petite quantité de sable artificiel activé de même granulométrie et de même densité que le sable naturel est déposée sur le fond. La position de ce sable est ensuite repérée dans le temps au moyen d'une sonde munie d'un compteur Geiger.
