

Du point de vue hydrologique, les problèmes concernant la navigation se présentent sous deux aspects totalement différents suivant qu'on envisage de conserver le fleuve en son état naturel ou au contraire de le régulariser totalement ou partiellement.

Dans le premier cas, il importe, pour choisir au mieux, c'est-à-dire le plus économiquement possible, une flottille adaptée au tonnage et à la qualité des marchandises qu'on envisage de transporter, de déterminer les tirants d'eau disponibles en tout point du chenal navigable et d'en faire l'étude statistique. Il est évident que cette étude ne portera que sur quelques points particuliers, ceux qui sont susceptibles de gêner la navigation, c'est-à-dire les seuils. On améliorera l'exploitation de la flottille si l'on dispose d'un service d'annonce des crues efficaces.

Dans le second cas, les possibilités de navigation dépendront du programme des lâchers d'eau aux barrages de régularisation. La question se ramène à un problème de débit limite se traduisant par les hauteurs limites au-dessus des différents seuils. On ne pourra plus se contenter de la connaissance des hauteurs, mais il faudra également établir des relations tirant d'eau-débit.

On se propose, dans ce chapitre, de traiter sommairement ces différents points. Le problème de l'annonce des crues sera évoqué dans un paragraphe spécial, car il concerne non seulement la navigation, mais également la protection des différentes escales.

1) - Navigation sur le fleuve non aménagé

Le problème est connu depuis de nombreuses années, puisque depuis fort longtemps des flottilles sont exploitées par des compagnies de navigation, en particulier les Messageries du Sénégal. Les données recueillies ne concernent pas directement l'hydrologue et sont exposées par l'expert en navigation.

Si l'on veut améliorer l'exploitation des flottilles, il faut connaître avec le maximum de précision la longueur des périodes pendant lesquelles on peut naviguer, compte tenu du tirant d'eau choisi. Ce tirant d'eau peut être soit une caractéristique fixe de la navigation fluviale (par exemple le désir de disposer de bateaux capables d'effectuer en mer des voyages réguliers), soit une variable du problème. Dans tous les cas, l'étude hydrologique doit être menée de la façon suivante :

Au droit de chaque seuil, on disposera une échelle ou un limnigraphe et on établira d'une part la correspondance entre les lectures à cette échelle et le tirant d'eau minimal sur le seuil relatif à une largeur de passe à fixer par le spécialiste de la navigation, d'autre part la corrélation entre l'échelle du seuil et une échelle témoin observée sur une longue période; on choisira pour cette dernière la station du réseau de base la plus proche du seuil.

Lorsque le seuil est rocheux, l'étude de la correspondance entre la hauteur à l'échelle du seuil et le tirant d'eau minimal ne présente pas de difficultés. On a de plus, dans ce cas, la possibilité d'améliorer une passe particulièrement gênante par déroctage si l'opération peut se faire dans des conditions économiques acceptables.

Si au contraire le seuil est sableux, il y a de fortes chances pour que les fonds varient au cours de l'évolution de la crue et notamment que le point le plus haut du seuil change de position. Il sera alors nécessaire d'effectuer des séries de profils en long et en travers durant des périodes jugées critiques pour la navigation.

Les échelles installées sur les seuils ne sont pas permanentes : si elles sont simplement destinées à établir les corrélations entre tirants d'eau et échelles du réseau de base. Il suffira de les observer pendant quelques années : 2 ou 3 pour les seuils rocheux, mais 4 à 6 ou même plus pour les seuils sableux suivant la manière dont varient les fonds au cours des ans, à moins que soient mises en oeuvre des techniques spéciales permettant de stabiliser les passes.

Ayant établi les corrélations entre tirants d'eau et hauteurs à l'échelle de base (on a vu que c'était possible assez simplement), on peut convertir l'étude statistique sur les tirants d'eau. Il est préférable, pour cette opérations, de commencer par convertir les hauteurs à l'échelle de base en tirants d'eau pour la période la plus longue et de faire ensuite l'étude statistique directement sur les tirants d'eau; en effet, tout au moins à l'aval de Bakel, les corrélations seront cycliques pour peu que l'échelle de base soit assez éloignée du seuil et les transformations ne peuvent pas être effectuées sur des données statistiques.

Pour l'étude statistique des tirants d'eau, on peut se fixer un tirant d'eau et étudier la repartition statistique du nombre de jours de défaillance, c'est-à-dire du nombre de jours dans l'année pour lequel le tirant d'eau fixé ne sera pas disponible. L'étude est effectuée pour dif-

férentes valeurs du tirant d'eau et se traduit par un graphique sur lequel on porte en ordonnées les nombres de jours de défaillance et en abscisses les probabilités. Sur le graphique sont tracées les courbes d'égal tirant d'eau.

On peut également se fixer un nombre de jours de défaillance et faire l'étude statistique des tirants d'eau correspondant à ce nombre. Le graphique portera alors en ordonnées les tirants d'eau et les courbes du graphique seront cotées en nombre de jours de défaillance, étant entendu que l'étude statistique aura porté sur plusieurs valeurs de cette dernière variable.

La considération de l'un ou l'autre de ces graphiques donne au spécialiste de la navigation tous les éléments hydrologiques désirables pour son étude économique. Les frais de l'opération peuvent être réduits en limitant les observations et les calculs aux périodes de l'année qui risquent de présenter quelque chance de défaillance et à des tirants d'eau raisonnables.

2) - Annonce des crues

Un service complet d'annonce des crues devrait prévoir à la fois les basses eaux pour orchestrer convenablement les départs des bateaux et éviter que l'un d'eux, parti d'une escale, ne puisse arriver à destination, et les hautes eaux pour permettre en temps utile de prendre les mesures de protection nécessaires à la sécurité des escales.

Pour le premier point, il suffit d'une prévision à court terme : deux jours est déjà un délai intéressant. Le problème technique est à peu près résolu pour la basse vallée, à l'aval de Bakel. Le service existe et fonctionne à la satisfaction générale.

Le second point est plus délicat. Les sites à protéger sont tous situés à l'aval de Bakel, mais la prévision à partir de Bakel ne laisse pas beaucoup de temps pour mettre en oeuvre les mesures de protection.

La propagation de la crue de Bakel à Saint-Louis a fait l'objet de nombreuses études, dont la dernière en date, qui constitue une mise au point à peu près définitive, est de P. Touchebeuf de Lussigny. Dans un premier temps, cet auteur étudie les corrélations, en général sensiblement linéaires, entre les hauteurs maximales annuelles aux couples successifs de stations, en se basant sur les relevés sûrs de la période 35/59.

On trouve comme équations de régression (cotes en centimètres aux échelles) :

$$\text{Entre Bakel et Matam} \quad H_M = \frac{9}{16} H_B + 270$$

$$\text{Entre Matam et Kaédi} \quad H_K = \frac{11}{12} H_M + 15$$

$$\text{Entre Kaédi et Boghé} \quad H_B = \frac{15}{14} H_M - 20$$

$$\text{Entre Boghé et Podor} \quad H_P = \frac{15}{17} H_B - 235$$

$$\text{Entre Podor et Dagana} \quad H_D = 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot H_P^2 - 0,675 H_P + 305$$

$$\text{Entre Dagana et St-Louis} \quad H_{SL} = \frac{4}{25} H_D + 100$$

Les relations linéaires sont parfois contredites pour les faibles crues, mais alors la prévision ne présente plus d'intérêt pour la protection des escales. Dans un deuxième temps, le même auteur étudie la vitesse de propagation du maximum. Les très faibles crues (type 1944) se déplacent d'une façon analogue à une onde de translation et conservent de Bakel à Dagana une vitesse à peu près constante et relativement élevée (103 km/jour). Mais ceci est exceptionnel et la plupart des crues subissent un laminage dans le lit majeur qui ralentit considérablement la vitesse de propagation du maximum. Cet effet est d'autant plus marqué que la crue est plus forte. Durant la période des observations, le cas extrême est représenté par la crue de 1936 pour laquelle la vitesse moyenne entre Bakel et Podor a été seulement de 13 km/jour.

Cependant, la corrélation entre la vitesse de propagation et l'importance du maximum, défini par exemple par la hauteur maximale observée à l'échelle de Bakel, n'est pas très nette. Cela provient entre autres du fait que la forme même de l'onde de crue intervient. Le tableau suivant, établi par Touchebeuf sur données directes, donne une idée de la variation du temps de propagation entre les différentes stations de la basse vallée.

.../...

DUREE DE PROPAGATION (EN JOURS) DE BAKEL A :					
	MATAM	KAEDI	BOGHE	PODOR	DAGANA
Valeur maximale	23	27	36	27	55
Valeur de fréquence 25 %	8	17	27	20	48
Valeur de fréquence 30 %	5 ½	11	23	34	38
Valeur de fréquence 75 %	3	8 ½	17	26	33
Valeur minimale	1	4	6 ½	11	12

Le fait que la durée de la propagation augmente avec l'importance de la crue est certes un facteur favorable. Malgré cela, les délais d'alerte sont un peu courts. C'est pourquoi, certains se sont attachés à prévoir les cotes mêmes à Bakel. Ces cotes maximales dépendent à la fois de la propagation de la crue sur le Sénégal et sur la Falémé. Il est possible d'établir une corrélation multiple permettant de déduire le maximum à Bakel du limnigramme à Ambidédi et du limnigramme à Kidira, en tenant compte des décalages. Mais cela n'est encore que d'un faible secours et ne fait gagner que 24 à 48 heures. En se reportant plus à l'amont, on peut essayer de tabler sur les cotes à Mahina (Bafing) et à Kalé (Bakoye). Mais pour gagner vraiment du temps, il faudrait prévoir même les cotes maximales à ces stations.

Maurice, dans une note annexée à son rapport de tournée de 1952, expose une méthode basée sur l'utilisation de la pluviométrie. Les bassins de la Falémé, du Bakoye et du Bafing sont divisés en un certain nombre de zones auxquelles on affecte un certain nombre de pluviomètres. Le schéma de l'annonce des crues est alors le suivant :

- les résultats journaliers obtenus aux pluviomètres sont transmis par radio à un poste central chargé de la prévision.
- on calcule chaque jour à partir du début de la montée des eaux les volumes cumulés des précipitations sur chacun des bassins. On en déduit le débit moyen de la période par application d'un coefficient d'écoulement d'ailleurs variable suivant les mois.

.../...

- On déduit de ce débit moyen le débit maximal qui serait, selon Maurice, égal au double du débit moyen
- à l'aide des différentes courbes de tarage, on en déduit les cotes correspondant aux différentes stations
- lorsque le maximum est atteint en prévision à chacune des stations, on calcule le maximum à Bakel par corrélation avec les cotes maximales à Kidire, Mahina et Dioubéba (ou Kalé)
- à partir de Bakel, on détermine par corrélation les cotes maximales aux autres stations de la vallée.

La méthode est simple mais malheureusement les résultats ne sont pas brillants. Il fallait s'y attendre. En réalité, ce schéma est très insuffisant et la prévision hydro-pluviométrique devrait mettre en jeu des méthodes beaucoup plus complexes avec un nombre beaucoup plus grand de pluviomètres. On pourrait peut-être obtenir des résultats satisfaisants avec une méthode d'hydrogramme synthétique en disposant au bas mot d'une certaine d'appareils. Mais alors, la transmission immédiate des résultats poserait des problèmes quasi insolubles et, au bout de la chaîne, il faudrait un équipement de calcul moderne et très onéreux. L'expert ne pense pas que pour l'instant, et même avant longtemps, on puisse envisager une telle formule.

Il reste donc la prévision à court terme telle qu'elle se pratique actuellement, on peut sans doute l'améliorer un peu, mais on ne pourra guère, dans la perspective actuelle, aller plus loin. D'autre part, si la régularisation du fleuve est entreprise, même d'ici un certain nombre d'années, les efforts longs et dispendieux pour l'annonce des crues auraient été faits en pure perte.

3) - Navigation sur le fleuve aménagé

Il paraît exclu à priori d'effectuer des barrages réservoirs uniquement pour la navigation. Un aménagement du fleuve ne peut être que multiple, et en priorité à but agricole ou hydroélectrique (pour le haut bassin). La navigation devra dès lors dépendre de la nature des aménagements qui auront été projetés et de l'utilisation qui en sera faite. Inversement, on peut concevoir que l'exploitation des ouvrages puisse être modifiée pour tenir compte de la navigation.

De toute manière, s'il est prématuré de fixer les conditions futures des aménagements, les éléments d'information hydrologiques à réunir, concernant une amélioration de la navigation, seront toujours les mêmes. Il faudra déterminer pour chaque seuil les débits limites correspondant aux hauteurs-limites au-dessus des seuils. Mais alors, si la régularisation est totale ou du moins très avancée, ces débits seront liés aux ~~max~~ hauteurs non plus par des relations cycliques, mais par des relations univoques, l'écoulement dans le fleuve étant alors pratiquement permanent. Il faudra donc s'assurer qu'à chaque station de base utilisée le tarage du lit mineur correspond bien à une gamme de débits pour laquelle la loi hauteur-débit peut être considérée comme univoque ou, s'il n'en est pas ainsi, faire les corrections adéquates au moyen de formules à établir en tenant compte des variations de pente.

On n'a guère, pour ce problème, à se préoccuper des débits passent dans les zones d'inondation mais lorsque les affluents sont importants, et surtout permanents, tel le Doué, il faudra en tenir compte. Il faudrait également tenir compte, dans la mesure du possible, des pertes dans le lit mineur par évaporation et par infiltration, ou tout au moins s'assurer que ces facteurs sont négligeables.

(Extrait du Rapport Hydrologique par M. Marcel ROCHE - ONU)