

L'HYDROLOGIE ET LA NAVIGATION SUR LE NIGER DE KOULIKORO A MOPTI

par

M. Claude AUVRAY

Ingénieur Hydrologue

chargé de recherches de l'O. R. S. O. M.

DÉTERMINATION DES DÉBITS-LIMITES A KOULIKORO

A. VUE D'ENSEMBLE SUR LE COURS MOYEN DU FLEUVE

KOULIKORO, la principale escale de la Compagnie de Navigation des Messageries Africaines, située légèrement à l'aval des rapides de SOTUBA et du KÉNIÉ, marque le début du tronçon de navigation appelé « *Bief Nord* » et aussi le commencement du cours moyen du NIGER.

A l'aval de KOULIKORO et tout le long de son cours moyen, le NIGER ne rencontrera plus de zone à rupture de pente brutale, correspondant à de fortes dénivelées, et ne recevra plus d'affluent digne de ce nom, mis à part le BANI. Par contre, il traversera une vaste région d'inondation à très faible pente, très nettement marquée par les caractéristiques géologiques de son bassin : la cuvette lacustre.

Jusqu'à DINA, la vallée est rocheuse (grès horizontaux), au-delà c'est le bassin de SÉGOU limité à l'Est par le plateau DOGON, au Sud par le plateau MANDINGUÉ, à l'Ouest par le Massif SAKOLÉ et l'Erg de OUAGADOU, au Nord par les collines de GOUNDAM.

Le seuil rocheux de TONDIFARMA (à l'aval de NIAFUNKÉ) marque la sortie du bassin de SÉGOU. Il s'agit d'un chaînon rocheux reliant les Massifs de GOUNDAM, les Monts GOUNDOUROU et le plateau DOGON.

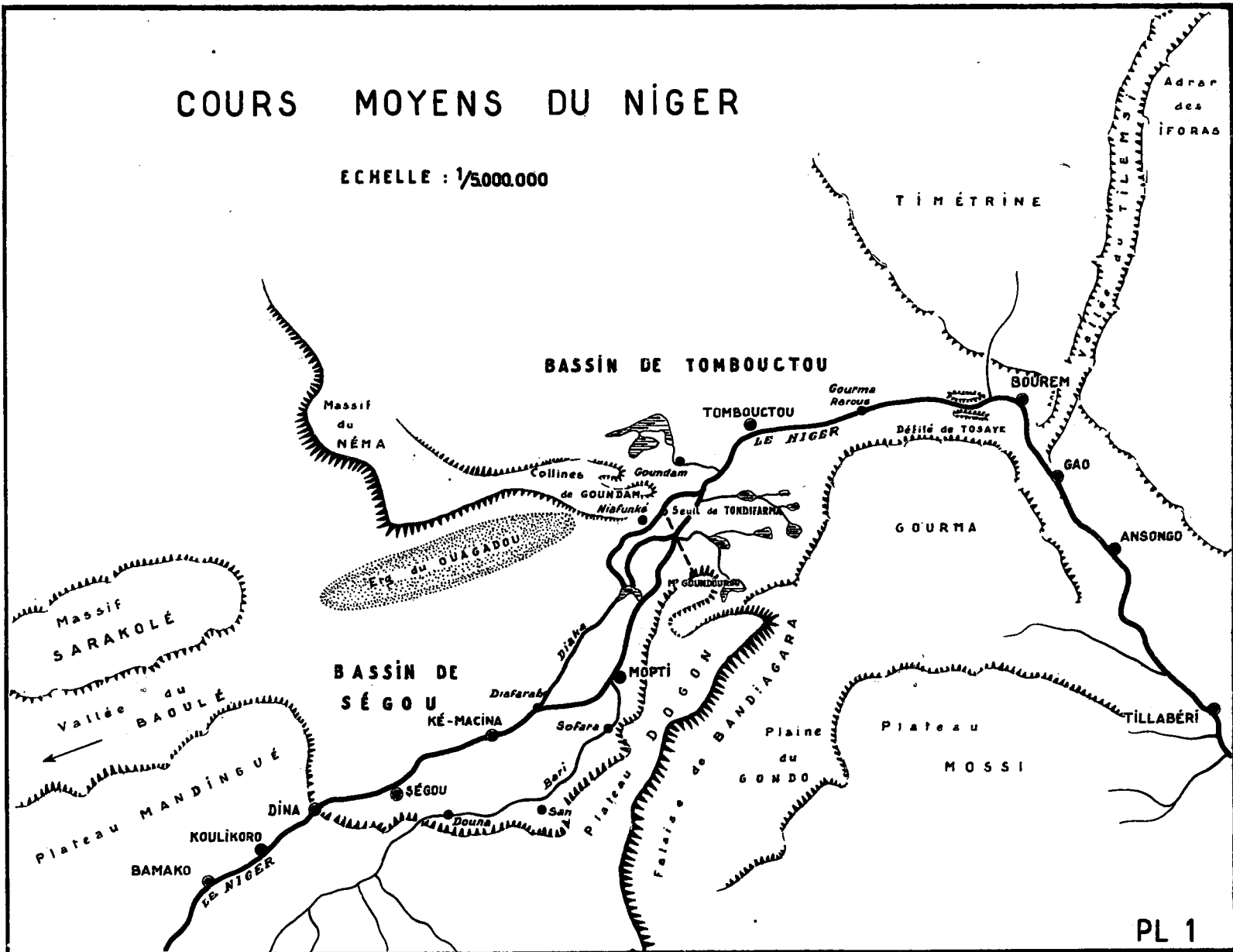
Ce bassin est d'abord rempli, à l'amont, de dépôts tertiaires latéritisés, au centre de sédiments argileux plus récents (région des lacs) plus fins et plus colmatés. Au Nord, la pénétration des sables éoliens remplit la cuvette et gagne les rives du fleuve.

Le franchissement du seuil de TONDIFARMA nous amène dans le bassin de TOMBOUCTOU, pénéplaine argileuse envahie par les sables. La direction générale du fleuve devient franchement Est, sensiblement parallèle à celle des grands sillons danubiens. C'est le défilé rocheux de TOSAYE (3 km. de long sur 200 à 250 m. de large) qui constitue l'exutoire de vidange du bassin de TOMBOUCTOU et le raccordement avec la vallée du TILEMSI. Un nouveau changement de direction (Nord-Ouest-Sud-Est) marque l'achèvement de la grande boucle sahélienne.

A la traversée de ces bassins, le fleuve a exhaussé par dépôts son propre lit et se trouve à une cote supérieure par rapport à l'arrière pays. Le débit de pleine rive diminue de plus en plus avec l'affaiblissement de la pente de l'amont vers l'aval. Le fleuve joue alors le rôle de véritable collecteur alimentant par débordements de vastes étendues (bourgoutières et lacs).

COURS MOYENS DU NIGER

ECHELLE : 1/5000.000



Certains émissaires débitent à partir d'une cote bien déterminée (seuil d'entrée) et alimentent en eau des systèmes de lacs en contrebas, très éloignés du lit (système TÉLÉ-FAGUIBINÉ alimenté par les émissaires de BOUREM et de TASSAKANT). Cet écoulement à sens unique ne parvient pas, le plus souvent, à remplir complètement ces lacs. N'ayant pas d'exutoires, ils se vident simplement par le jeu des infiltrations et de l'évaporation.

En amont de MARKALA, le lit majeur absorbe pratiquement le débit de crue.

Les déversements latéraux commencent sensiblement à KÉ-MACINA et vont en croissant vers l'aval. A DIAFARABÉ, le DIAKA dérive environ le tiers du débit du NIGER en amont de la confluence. Bien avant MOPTI, qui marque la confluence NIGER-BANI, les eaux de ces deux cours d'eau se mêlent pour inonder la grande plaine intérieure de DJENNÉ.

B. CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA NAVIGATION

La navigation sur le cours moyen du NIGER rencontre de grandes difficultés pendant la période de basses eaux. En effet, à cette époque, de nombreux seuils apparaissent d'autant que la pente superficielle locale est plus élevée. Ce sont des seuils, de sable grossier, contenant des gravillons de latérite roulés qui relient deux mouilles, d'une rive à l'autre, sans chenal bien marqué. On rencontre couramment sur les seuils une profondeur inférieure à 0,40 m. à l'étiage. Ils interdisent toute navigation, même avec de très faibles tirants d'eau, pendant plus de quatre mois de l'année.

Des essais d'aménagement à courant libre furent tentés en 1939, à la constitution du STAN (Service Temporaire d'Aménagement du NIGER). Des épis en enrochement furent édifiés au seuil de SASSILA. Par suite du calibrage parfait du fleuve, ils ne donnèrent pas les résultats escomptés. Rapidement, le seuil se reforma à l'aval.

M. l'Inspecteur général AUBERT, en 1951, déconseilla fortement cette méthode et préconisa la régularisation partielle par réserve amont en créant un débit d'étiage artificiel, suffisant pour satisfaire la navigation.

La régularisation pourrait être effectuée par la retenue du barrage du NIAN-DAN, une des branches supérieures du NIGER, dont le volume est d'environ 4,5 milliards de m³. Son étude a été effectuée par le Service des Etudes d'Outre-Mer d'Electricité de France.

Les études de régularisation exigeaient la détermination des débits limites nécessaires pour assurer, à KOULIKORO, les différents types de navigation actuellement pratiqués tant à la crue qu'à la décrue.

En année normale, la navigation lourde convenable commence à KOULIKORO vers l'aval, entre le 1^{er} et le 15 Juillet. Elle cesse entre le 15 et le 31 Décembre. En réalité, les transports fluviaux se poursuivent environ deux mois au-delà en diminuant la charge des chalands et en utilisant des remorqueurs de tirant d'eau plus faible. Ces dates limites sont imposées par l'existence des seuils et le régime hydrologique du NIGER.

Trois solutions sont possibles pour améliorer les conditions de navigation par utilisation d'une réserve amont :

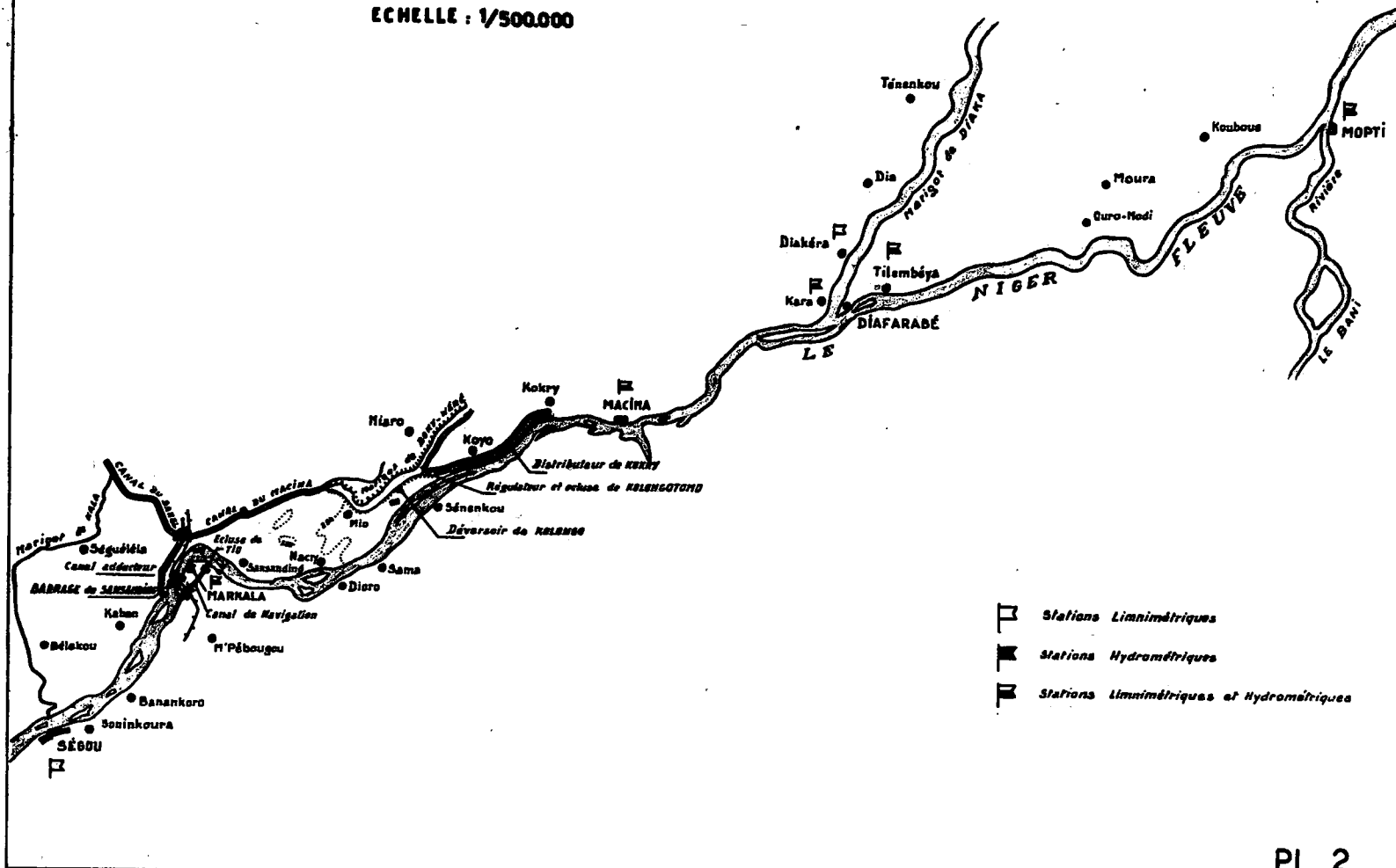
1^o Poursuivre la navigation au-delà des possibilités actuelles (c'est-à-dire à partir du 1^{er} Janvier) jusqu'à épuisement de la réserve, en maintenant, par des lâchures convenables, un débit suffisant à KOULIKORO ;

2^o Commencer la navigation plus tôt en utilisant des lâchures antérieures à la date normale de montée des eaux (1^{er} au 15 Juillet) ;

3^o Utiliser un programme de lâchures mixte, résultant d'une combinaison des deux solutions précédentes.

LE NIGER DE SÉGOU A MOPTI

ECHELLE : 1/500.000



Avantages et Inconvénients

1^{re} SOLUTION : AVANTAGES.

— Permet d'utiliser au maximum la réserve suivant son degré de remplissage puisqu'il est possible de pousser jusqu'à son épuisement.

— Permet l'évacuation des produits de récolte disponibles de Janvier à Mars, sans aucun stockage.

— Permet les irrigations du coton égyptien de l'Office du NIGER à gros débit (débit prévu : 200 m³/sec. pour 50.000 ha) jusqu'au 15 Mars, ce qui augmente considérablement le rendement de la production.

Ne modifie pas la date de la remontée des eaux qui, conjointement avec celles du début des pluies, conditionne les cultures dans les rizières basses.

INCONVÉNIENTS.

— Compte tenu du décalage dans le temps existant entre la courbe du tarissement à KOULIKORO et à MOPTI (ce décalage augmentant d'ailleurs considérablement à l'aval de MOPTI : à cote égale, deux mois et demi entre KOULIKORO et MOPTI et plus de quatre mois entre KOULIKORO et DIRÉ), on conçoit facilement que les lâchures les plus importantes effectuées de Janvier à Mars, indispensables pour assurer la navigation en amont de MOPTI, deviendront un luxe à l'aval de MOPTI puisque les conditions naturelles y sont encore pratiquement suffisantes.

Le seul avantage de la deuxième solution réside dans le fait que, à la montée des eaux, au contraire, les courbes de KOULIKORO et MOPTI sont pratiquement superposées et que les lâchures profiteraient alors aussi bien à l'amont qu'à l'aval de MOPTI.

En conclusion, la première solution assure, à la décrue, la continuité de la navigation entre l'amont et l'aval de MOPTI en utilisant les lâchures pour la partie amont et les conditions naturelles pour la partie aval. La deuxième solution assure cette continuité à la crue en utilisant seulement les lâchures, la durée totale de navigation devenant plus grande à l'aval de MOPTI qu'à l'amont grâce aux conditions naturelles favorables à la décrue.

Il n'est pas impossible qu'en définitive une solution mixte soit retenue, pour tenir compte de certains besoins relatifs à l'extension de la culture du coton égyptien, susceptible de réclamer un démarrage précoce des irrigations. A l'heure actuelle, il est encore impossible de préciser les éléments de cette combinaison entre les intérêts de l'Agriculture et ceux de la Navigation. Les dernières lâchures légèrement antérieures à la montée normale des eaux, sans grand intérêt pour la navigation, auraient pour conséquence de l'écourter, au contraire, au cœur même de la saison sèche. Cette dernière solution suppose une courte interruption de la période de navigation dont les dates extrêmes devront être soigneusement fixées en fonction de la traite des divers produits.

D'une manière ou d'une autre, il est clair que le problème de la détermination des débits caractéristiques de navigation à KOULIKORO se limitera au seul tronçon KOULIKORO-MOPTI.

C. PRINCIPE DE L'ESTIMATION DES DÉBITS-LIMITES DE NAVIGATION

Pour résoudre ce problème, nous nous appuyons sur les données suivantes :

— Données statistiques sur la navigation effectivement réalisée en tenant compte du tirant d'eau des chalands en charge et des conditions de navigation ;

— quelques sondages effectués par nous-mêmes à titre de vérification à la crue et à la décrue 1952, au droit de seuils types déterminés ;

— données hydrologiques que nous possédons maintenant sur le régime du fleuve entre KOULIKORO et MOPTI.

D. DONNÉES HYDROLOGIQUES ENTRE KOULIKORO ET MOPTI

Au début de l'année 1951, seulement deux stations limnimétriques fonctionnaient régulièrement : KOULIKORO et MOPTI, toutes deux exploitées par les chefs d'escalades de la Société des Messageries Africaines. Une troisième station, celle de KIRANGO, à l'aval du barrage de MARKALA, était desservie régulièrement par les soins de l'Office du NIGER. Il y avait donc lieu de réorganiser rapidement et de centraliser les relevés à BAMAKO tout en installant de nouvelles stations indispensables pour l'étude hydrologique du tronçon KOULIKORO-MOPTI.

D'une part, nous avons tenu à conserver les stations présentant une longue suite d'observations, telles que KOULIKORO, KIRANGO et MOPTI.

D'autre part, nous avons installé une série de stations complémentaires tendant à déterminer les débits du NIGER à l'amont et à l'aval des affluents et des effluents principaux.

Deux stations principales sont situées aux extrémités du tronçon étudié :

1^o Station de KOULIKORO (B. V. : 120.000 km²).

Cette station, la plus ancienne des stations limnimétriques du SOUDAN, est la station hydrologique de base. Elle fonctionne depuis 1908.

De nombreuses mesures de débit de qualité diverse ont été effectuées au voisinage de cette station. Signalons la Mission Hydrologique du Lieutenant de Vaisseau MILLOT en 1907, la Mission BELIME-FLEURY en 1920, le service de la Navigation en 1924.

Les résultats de ces premières mesures ont été perdus. Les seules mesures utilisées pour la mise au point de la courbe de tarage sont :

- a) celles de la Compagnie Générale des Colonies de 1922 à 1924 pour des cotes bien réparties ;
- b) celles de l'Office du Niger ;
- c) celles de l'Electricité de France en 1948 et 1949 ; mesures de contrôle des hautes eaux qui ont permis de vérifier la courbe d'étalonnage de la Compagnie Générale des Colonies, mesures de basses eaux qui ont permis de tracer une nouvelle courbe de tarage pour les faibles débits, valable pour les dix dernières années.

Ces mesures ont permis de tracer une courbe unique d'étalonnage valable pour la montée et la descente des eaux. Leur nombre et leur bonne répartition en font un document de valeur qui permet de considérer cette courbe comme définitive sauf pour les très faibles débits (au-dessous de 60 m³/sec.).

2^o Station de MOPTI (B. V. amont : 144.800 km²).
(B. V. aval : 281.600 km²).

L'échelle est située, en fait, sur le BANI, mais à proximité de la confluence (1.800 m.). Elle indique donc les niveaux du plan d'eau NIGER-BANI. Les archives en contiennent des relevés fractionnaires (pendant les périodes de navigation) depuis 1922.

L'étalonnage de cette échelle a été entrepris en 1951 au moyen de jaugeages effectués légèrement à l'aval (NIGER et BANI) à NANTAKA (basses eaux) et à NIMITOGO (moyennes et hautes eaux). Une même cote à la confluence peut être obtenue par une crue du NIGER ou une crue du BANI, mais elle correspond à un débit déterminé à l'aval du confluent.

Les variations relativement importantes des pentes superficielles à la crue et à la décrue conduiront à utiliser deux courbes d'étalonnage. La construction de ces courbes a permis néanmoins l'estimation des débits à l'aval de MOPTI avec une précision suffisante pour mener à bien les études en cours.

Entre ces deux stations principales et en amont du DIAKA, nous disposons d'un certain nombre de stations secondaires, TAMANI, SÉGOU, KIRANGO et KÉ-MACINA.

Ces stations peuvent être utilisées pour déterminer la pente superficielle du fleuve, vérifier les mesures anciennes de la station principale amont (KOULIKORO) et évaluer l'amortissement de la crue et la variation des débits instantanés vers l'aval.

C'est à ce dernier titre qu'elles se sont révélées très utiles pour mener à bien l'étude qui nous intéresse.

Les installations limnimétriques sont neuves ou entièrement restaurées. Les étalonnages sont pratiquement terminés.

La variation relative de la pente superficielle durant le cycle hydraulique reste faible et le tarage de ces stations se compose d'une courbe unique. La superficie du bassin versant augmente également faiblement de KOULIKORO à KÉ-MACINA (120.000 km² — KÉ-MACINA : 140.500 km²). En ce qui concerne les stations de SÉGOU et KIRANGO, les perturbations, apportées par le barrage de MARKALA, limitent l'étalonnage aux périodes des moyennes et hautes eaux.

La « confluence » NIGER-DIAKA a imposé l'installation d'un groupe d'échelles sur chacun de ces cours d'eau afin de déterminer la valeur du débit quittant le NIGER par cet effluent.

Sur le NIGER, la station se trouve à TILEMBAYA, à environ 4 km. de la confluence. Cette échelle a été réinstallée en 1952 après sa destruction complète en 1949. Il existe une bonne série de mesures de débits effectués d'Octobre 1944 à Octobre 1945 par l'Office du Niger. Le rattachement des hauteurs d'eau au zéro de l'échelle actuelle présente quelques difficultés et n'est pas encore définitif. En attendant, on peut, en utilisant les cotes d'étiage comme éléments de comparaison, effectuer un tarage approximatif de la station, ce qui permet de valoriser une série ancienne de relevés s'étendant de 1939 à 1945.

Sur le DIAKA, une station de pente à KARA-DIAKARA a été aménagée. Ces deux échelles distantes de 7 km. ont été placées définitivement en Juin 1952. Elles permettront de déterminer les débits du DIAKA. De bons jaugeages ont été effectués par l'Office du Niger en 1944-1945 mais, comme pour l'échelle précédente, ils ne peuvent pas encore être utilisés de façon précise.

Sur le BANI, la station principale se trouve à DOUNA (Bassin versant : 105.500 km²). Elle joue un rôle comparable à celle de KOULIKORO pour le NIGER. Entièrement restaurée en Mai 1951, elle est maintenant étalonnée, avec une bonne approximation, au moyen de cinq jaugeages modernes. Deux anciennes mesures effectuées en 1923 par la Compagnie Générale des Colonies sont utilisables.

Une station secondaire, sur le BANI, est située à SOFARA (bassin versant : 130.900 km²). Cette station, installée en amont des grands débordements qui mêlent les eaux du NIGER et du BANI en hautes eaux, permet de fournir des renseignements intéressants sur les pertes du BANI et l'évaluation des débits d'apport réels du BANI à MOPTI.

Cet ensemble de stations permet de déterminer, dès à présent, le régime hydrologique en un point quelconque du fleuve avec une approximation suffisante en rapport avec le caractère un peu sommaire de nos premières études de navigation.

E. DÉLIMITATION DE SECTIONS D'APRÈS LES CONDITIONS DE NAVIGATION

Nous distinguerons les sections suivantes :

1^o DE KOULIKORO A LA LIMITE DU REMOUS DU BARRAGE DE MARKALA (pente moyenne : 7 cm/km.).

La limite atteinte par le remous varie suivant les débits écoulés et le fonctionnement des barrages. De début Juillet à fin Janvier, en année normale, le plan d'eau est maintenu à MARKALA à la cote 300,50 m. A partir de Février, il descend progressivement jusqu'à la cote 298,70 m. environ, atteinte à la mi-Mars, puis il reste stationnaire. Du 1^{er} Juin à Juillet, la cote du plan d'eau croît à nouveau pour atteindre la cote 300,50 m.

En basses eaux, la limite du remous se situe sensiblement en aval du village de FANCHON. En hautes eaux (du 15 Août à fin Octobre) le remous ne se fait plus sentir à SÉGOU situé 32 km. en amont.

L'allure extrêmement homogène du lit du fleuve dans cette section permet de comparer les différents seuils les uns avec les autres. Ils se ressemblent sensiblement et nous nous contenterons d'adopter parmi les plus mauvais, un seuil type dans cette section, celui de SÉGALA.

Il se situe approximativement à 2,5 km. en aval du village de SÉGALA. On aurait pu choisir aussi bien le seuil du KAMINI en aval de SASSILA.

Cette particularité intéressante due au calibrage régulier du fleuve nous permettra d'effectuer les sondages de vérification dans le chenal de ce seuil, étant entendu que les raisonnements restent valables pour les autres seuils de la section qui présentent sensiblement les mêmes caractéristiques : profondeur, nature du fond et longueur.

L'aspect physique du fleuve aurait suffi pour admettre cette simplification, par surcroît les chefs d'échelles de « Messafric » le confirment. D'ailleurs, nous verrons plus tard que la durée de parcours des convois « tangents » montre bien qu'il y a eu talonnage sur de nombreux seuils et non pas sur un seuil particulier.

Cependant, à égalité de tirant d'eau dans le chenal, certains seuils sont plus mauvais du point de vue navigation par suite des courants traversiers qui risquent de dresser les convois sur les bancs de sable. Ce risque est plus faible à la montée où le convoi manœuvre beaucoup mieux face au courant, mais alors le rendement de la traction diminuant avec le tirant d'eau, le convoi risque de s'immobiliser au moindre raclage de fond.

2° DE LA LIMITE DE REMOUS DU BARRAGE JUSQU'A LA SORTIE DU CANAL DE NAVIGATION (écluse de TIO).

C'est la région favorisée par la retenue du barrage. La navigation s'y effectue toute l'année dans d'excellentes conditions si la cote du plan d'eau est correctement maintenue.

3° DE L'AVAL DU BARRAGE A KOKRY.

C'est au contraire la section qui souffre des prélèvements en eaux opérés par l'Office du Niger pour les besoins de l'irrigation et le maintien en eau des canaux.

Le problème est différent de celui de la première section, en ce sens que l'on rencontre un seuil plus mauvais que les précédents : celui de NAKRY. Il est très long, environ 1.400 m. Il n'y a pas à proprement parler de chenal, seulement une vaste table de sable et de gros gravillons sur laquelle déverse le fleuve avec un fort courant transversal. Il correspond en plan à un élargissement important du fleuve. Deux bras y prennent naissance, le bras de DIORO sur la rive droite et le bras de NAKRY sur la rive gauche. Les deux bras ne débitent qu'en moyennes et hautes eaux. A l'étiage absolu, la hauteur d'eau déversante est de l'ordre de 0,25 m. En amont, la mouille se trouve sur la rive droite. Il semble que les conditions particulièrement mauvaises de ce seuil soient dues à l'existence d'un grand lac de sable obstruant l'embouchure du bras de NAKRY insuffisant pour canaliser les filets liquides sur la rive gauche comme l'aurait fait une berge rectiligne normale.

Toute cette section est court-circuitée sur la rive gauche par le système des aménagements de l'Office du Niger (canal adducteur - Canal du MACINA, rivière de BOCKY-WÉRÉ endiguée, ouvrage régulateur de KOLONGOTOMO et distributeur de KOKRY).

Il semble que la véritable solution consiste à aménager une sortie-écluse partant du marigot de BOCKY-WÉRÉ et aboutissant dans le lit du fleuve. Cette écluse serait aménagée soit au droit du régulateur de KOLONGOTOMO, soit à l'extrémité du distributeur de KOKRY qui serait recalibré pour les besoins de la navigation. Si cette solution n'était pas envisagée, on peut estimer qu'un aménagement local du seuil de NAKRY pourrait porter ses fruits en rendant le franchissement de ce seuil, non pas parfait, mais tout au moins pas plus mauvais que les autres dans la section envisagée.

Pour l'étude de ces derniers, nous avons, comme précédemment, choisi un seuil-type, celui de SAMA en aval de DIORO.

4° DE KOKRY A MOPTI.

Dans cette section, compte tenu du parfait calibrage du fleuve, c'est la variation de la pente entre la crue et la décrue qui conditionne la navigation. Au moment de la crue (Septembre) la pente entre TILMBAYA-MOPTI (115 km.) est comprise entre 5,00 et 5,5 cm/km. Au milieu de la décrue (Décembre) la pente diminue considérablement et varie entre 2 et 3 cm/km., soit pratiquement du simple au double.

Ce fait est dû :

- a) à la pente très faible de la zone lacustre à l'aval de MOPTI ;
- b) au remplissage complet de ce bassin entre Novembre et Décembre ;
- c) à l'apport plus tardif des eaux du BANI ;
- d) à la prise du DIAKA qui absorbe sensiblement le 1/3 du débit amont.

Il en résulte qu'avec un débit plus faible, les conditions de navigation à la décrue y sont bien supérieures à celles des sections amont. C'est la raison pour laquelle un convoi de navigation légère (0,75 m.) capable de franchir la section MARKALA-KOKRY gagne sans encombre l'escale de MOPTI.

F. CAMPAGNES DE SONDAGES DES SEUILS-TYPES (Segala, Nacky, Sama)

Grâce aux études hydrologiques réalisées en 1951, et antérieurement, installations de nouvelles stations, restaurations des stations déjà existantes ou abandonnées et mesures de débits, la détermination des débits-limites à KOULIKORO, à la crue et à la décrue, satisfaisant les différents types de navigation, a pu être menée à bien sans entreprendre des travaux de levés hydrographiques importants.

Nous avons effectué deux campagnes de sondages des seuils principaux, l'une à la crue, l'autre à la décrue, en nous efforçant de faire chaque campagne dans le délai minimum de façon que toutes les mesures correspondent à un même débit. Pour déterminer les débits correspondant à chaque sondage nous avons dû construire les courbes de débits instantanés le long du fleuve de KOULIKORO à MOPTI.

a) Décrue.

Une série de sondages des seuils-types a été effectuée le 26 Février (seuil de NAKRY), le 27 Février (seuil de SAMA) et le 5 Mars 1952 (seuil de SÉGALA).

La construction des courbes de débits instantanés et les résultats des sondages permettent d'obtenir le tableau suivant :

DÉCRUE				
Seuil	Date	Profondeur minima	Débit à KOULIKORO	Débit sur le seuil
NAKRY	26 /2	0,39	355	410
SAMA	27 /2	0,65	350	415
SÉGALA	5 /3	0,75	318	330

La pente générale des courbes de débits instantanés est positive vers l'aval à la décrue, ce qui indique que les débits vont en croissant.

C'est exactement le phénomène inverse qui a lieu à la crue.

b) Crue :

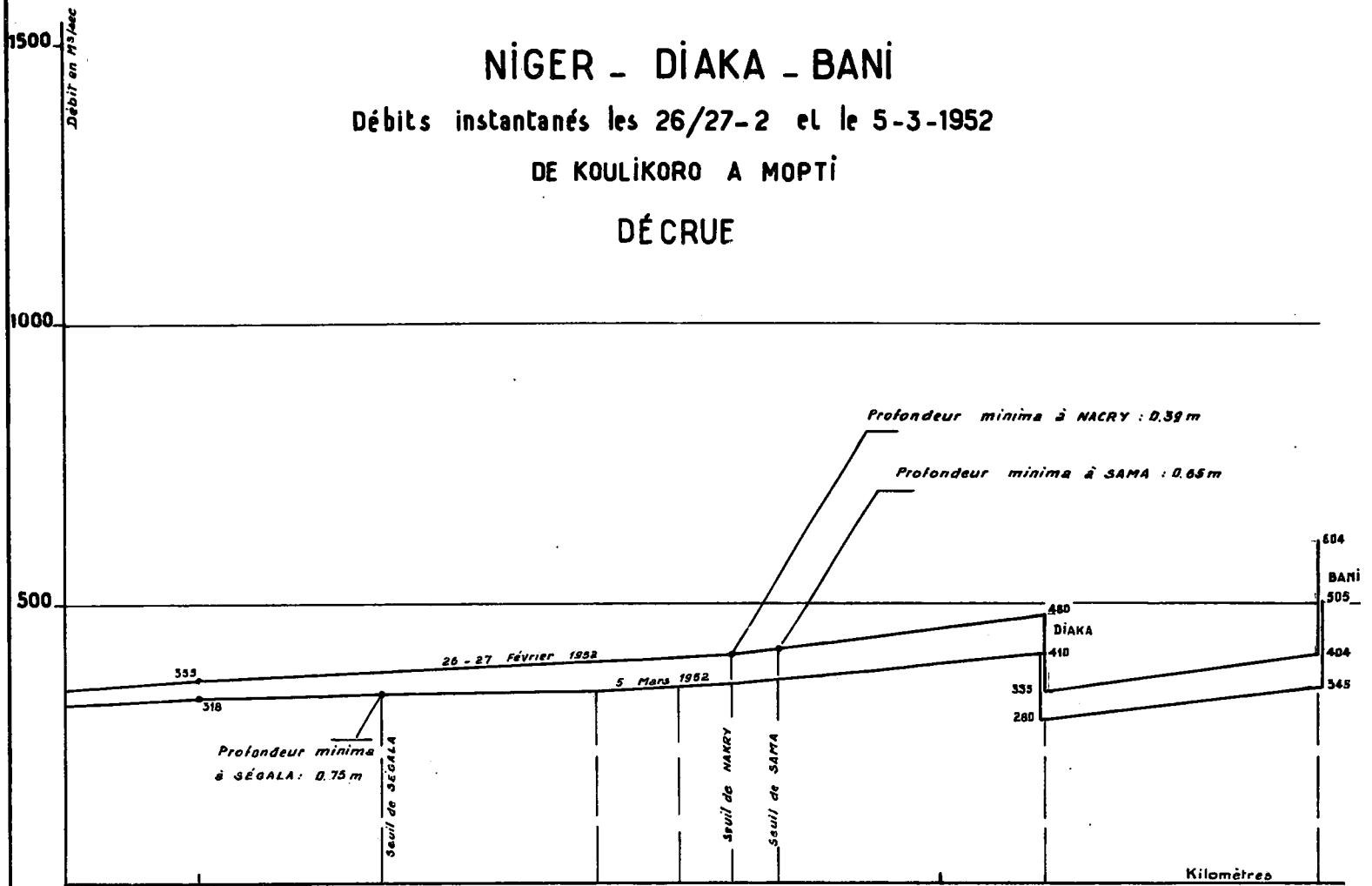
Cette série de sondages des seuils-types a eu lieu les 12 et 16 Juillet 1952.

NIGER - DIAKA - BANI

Débits instantanés les 26/27-2 et le 5-3-1952

DE KOULIKORO A MOPTI

DÉCRUE



	DAMAKO	KOULIKORO	TAMANI	SÉGOU	MARKALA	KÉ-MACINA	DIAFARABÉ	MOPTI
Distances Km	0			180	216	354	382	304
BV Km²		118.900		137.400		140.500	142.300	144.800 (Aval) 281.600 (Aval)

PL 3

De même qu'à la décrue, les stations hydrométriques ont permis de tracer les courbes de débits instantanés des 12 et 16 Juillet, nous pouvons dresser, en utilisant les résultats des sondages, le tableau suivant :

CRUE				
Seuil	Date	Profondeur minima	Débit à KOULIKORO	Débit sur le seuil
SÉGALA	12 / 7 / 52	1,72	1.025	995
NAKRY	16 / 7 / 52	1,30	1.035	1.020
SAMA	16 / 7 / 52	1,80	1.035	1.020

On constate sur le graphique une différence de pente entre les deux courbes de débits instantanés, celle du 16 Juillet est pratiquement horizontale jusqu'à MACINA, celle du 12 Juillet indique des débits nettement décroissants (1.025 à KOULIKORO — 990 à TAMANI — 940 à KÉ-MACINA). Ce fait s'explique facilement.

En effet, la courbe des hauteurs d'eau à KOULIKORO présente un palier très net du 12 au 19 Juillet et même une baisse très sensible le 17 et le 18 Juillet. Or, ce même palier ne se trouve à KÉ-MACINA que du 18 au 22 Juillet. Il est donc normal qu'à la date du 16 Juillet, les débits aval soient relativement enflés par rapport au débit à KOULIKORO resté sensiblement stationnaire.

On conçoit que pour la détermination des débits limites de navigation, à KOULIKORO et relatifs à la montée des eaux, un nouveau facteur apparaît : la forme de la courbe de montée à KOULIKORO, qui peut varier dans de notables proportions d'une année à l'autre. Cette question ne se pose pas à la décrue puisqu'il s'agit d'un phénomène particulièrement régulier et prévisible : le tarissement, la courbe de décrue étant très sensiblement identique à elle-même tous les ans.

Si l'on enregistre un palier durant la montée à la station de KOULIKORO, bien que le débit y demeure sensiblement constant, ce dernier augmente encore régulièrement dans les sections aval éloignées et le passage des seuils en est facilité. Au contraire, si ce même débit à KOULIKORO est atteint pendant une montée rapide du niveau des eaux, seules les stations aval rapprochées seront avantagées pendant la durée du parcours du convoi.

Nous avons porté sur le même graphique les courbes de débits instantanés correspondant au 1^{er} et au 10 Juillet pour bien montrer l'anomalie causée sur ce palier.

Dans notre estimation de débits-limites de montée à KOULIKORO, nous supposons une montée à allure régulière, ce qui revient à augmenter la sécurité de franchissement des seuils dans les sections aval éloignées.

Connaissant maintenant les cotes minima des seuils dans des conditions hydrauliques bien déterminées, il s'agit de tracer, pour chacun des seuils-types choisis précédemment, des courbes donnant les profondeurs minima disponibles sur le seuil en fonction des diverses valeurs du débit sur le seuil et des débits à KOULIKORO pendant la montée et la descente des eaux.

Mais, avant de tracer ces courbes, examinons directement dans quelles conditions les navires de différents types franchissent ces seuils ; nous pourrions faire alors des recoupements utiles avec les données provenant de l'étude hydraulique des seuils. Pour cela, nous passerons rapidement en revue les caractéristiques de la flotille actuelle.

G. CARACTÉRISTIQUES DE LA FLOTILLE EXPLOITÉE PAR LES MESSAGERS AFRICAINES

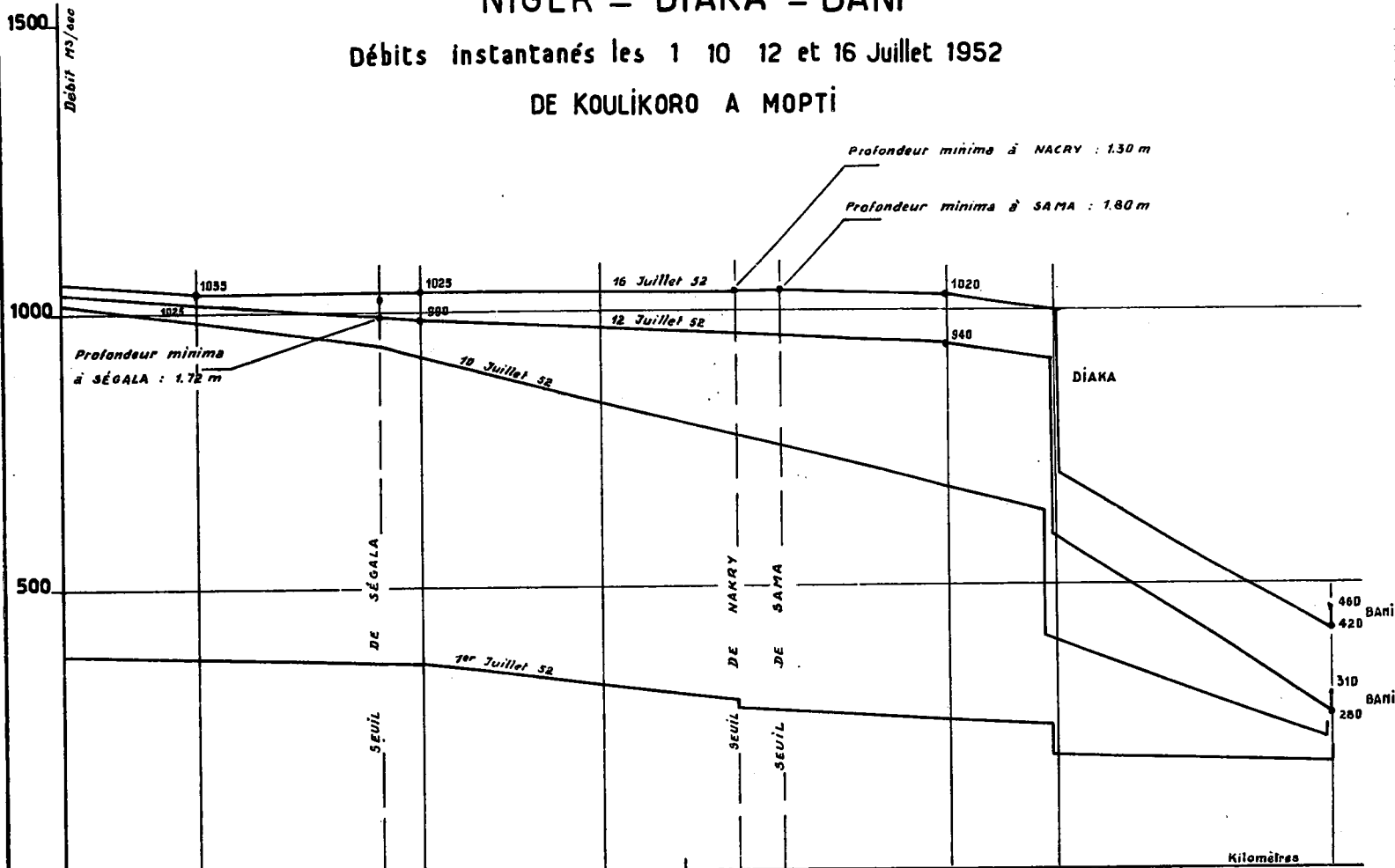
Elle comprend :

- chalands de 160 T. — tirant d'eau à pleine charge : 1,55 / 1,60 m. ; à vide : 0,25 m.
- chalands de 85 T. — tirant d'eau à pleine charge : 0,85 / 0,90 m. ; à vide : 0,20 m.
- chalands de 60 T. — tirant d'eau à pleine charge : 0,80 m. ; à vide : 0,15 / 0,20 m.

NIGER - DIAKA - BANI

Débits instantanés les 1 10 12 et 16 Juillet 1952

DE KOULIKORO A MOPTI



	BAMAKO	KOULIKORO	TAMANI	SÉGU	MARKALA	KÉ-MACINA	DIAFARABÉ	MOPTI
Distances Km		0		180	216	334	382	504
B.V Km²		119.900		157.400	157.900	140.500	142.500	144.600 (En amont du BANI) 281.600 (En Aval du BANI)

Ce sont les unités les plus importantes qui transportent la majeure partie du fret. Les « Messafric » possèdent des chalands intermédiaires en faible nombre dont nous ne tiendrons pas compte.

- Remorqueurs Diesel de 200 CV, calant 1,10 m., pouvant tracter environ 625 T., jusqu'à 5 chalands de 160 T. chargés à 125/130 T.
- Remorqueurs Diesel de 100 CV, calant 0,70 m., pouvant tracter de 220 à 240 T., 4 chalands de 160 T. chargés à 50/60 T.
- Remorqueurs vapeur de 100 CV type « Lac », calant 0,70/0,75 m., pouvant tracter 160/180 T., soit 3 chalands de 160 T. chargés à 50/60 T.
- Vapeurs courriers — *Mage* — *Galliéni* et le nouveau courrier Diesel *Archinard*, destinés au transport de passagers, calant en charge environ 1,10 m.

Les chefs d'escale suivent de très près la descente ou la montée des eaux en utilisant les différents remorqueurs et en diminuant le chargement des chalands.

Bien qu'il n'y ait pas de limite bien nette entre eux, on distinguera, pour simplifier, trois types de navigation :

- Navigation lourde — au-dessus de 1,70 m. (0,10 m. pied de piloté) utilisant des remorqueurs de 200 CV Diesel et des chalands de 160 T. à pleine charge (au-dessus de 130 T.) ;
- Navigation semi-lourde — entre 1,20 m. et 1,70 m. utilisant des remorqueurs de 200 CV Diesel et des chalands de 160 T. avec charge limitée à 105/110 T. ;
- Navigation légère — entre 0,75 m. et 1,20 m. utilisant des remorqueurs 200 CV Diesel ou 100 CV vapeur, des chalands de 160 T. avec charge limitée à 65/70 T. — des chalands de 85 T. chargés à 60/65 T., des chalands de 60 T. à pleine charge.

Au-dessous de 0,75 m. la navigation rentable n'est plus possible. Les voyages sont longs et pénibles. Cette navigation acrobatique sur sable correspond à l'époque où la main-d'œuvre était nombreuse et bon marché. Les passages difficiles s'effectuaient soit par creusement du chenal devant le convoi, au moyen du râteau à sable, soit parfois même par transbordement des chalands à dos d'homme. On raconte même qu'il fallut, un jour, démonter une partie de la machinerie d'un remorqueur afin de l'alléger et lui permettre de franchir un seuil opiniâtre (vraisemblablement celui de NAKRY).

Pour rendre utilisables les données fournies par la navigation réalisée effectivement, nous avons reconstitué les courbes d'enfoncement des différents chalands mentionnés en fonction de la charge transportée (Plan n° V).

H. ÉTUDE COMPARATIVE DE LA NAVIGATION EFFECTIVEMENT RÉALISÉE PENDANT LA DÉCRUE 1951-1952 ET LA CRUE 1952

Les dates marquantes de la navigation en 1951-1952 sont les suivantes :

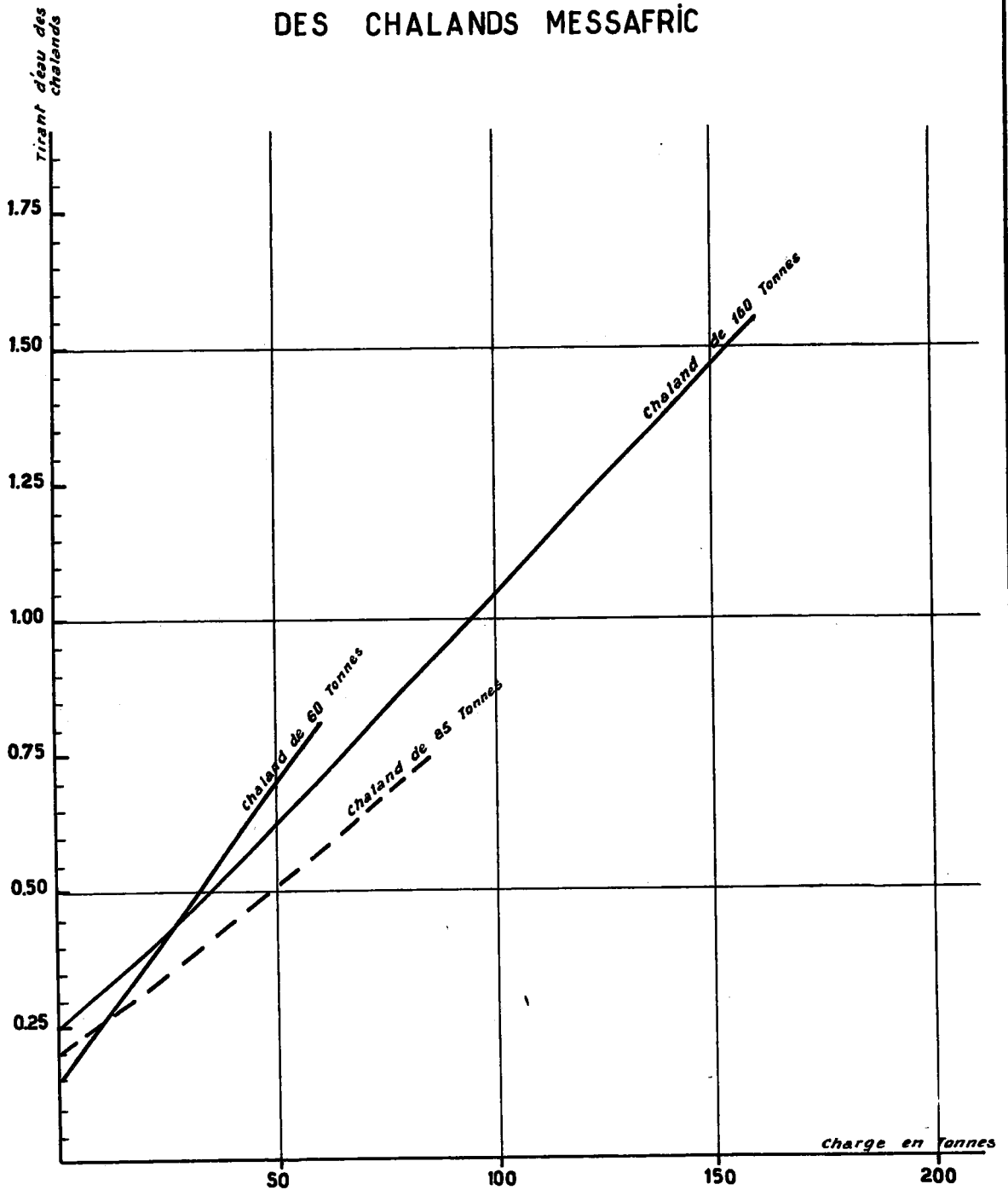
1° Décrue :

A la décrue, une date d'extrême limite : le 8 Mars 1951 (débit à KOULIKORO : 150 m³/sec.). Quatre chalands avec 99 T. de fret soit 25 T. par chaland ont mis plus de 10 jours pour effectuer le parcours KOULIKORO-SÉGOU, c'est un exemple typique de navigation aléatoire largement au-dessous des possibilités du moment.

A la décrue très tardive suivante, le 15 Janvier 1952 (débit à KOULIKORO : 820 m³/sec.) voyage dans d'excellentes conditions d'un convoi de 4 chalands de 160 T. chargés en moyenne à 115 T. tractés par un remorqueur Diesel de 200 CV (tirant d'eau du convoi : 1,20 m.). Antérieurement au 1^{er} Janvier, les chalands étaient chargés à 140/150 T. au plus (navigation lourde).

Après le 1^{er} Février (560 m³/sec. à KOULIKORO, les chalands sont chargés à 80 T. et moins, tractés par des remorqueurs de 100 CV, la durée du parcours (4 jours) indique certaines difficultés.

COURBE D'ENFONCEMENT DES CHALANDS MESSAFRIC



PL 5

Le 23 Février (380 m³/sec. à KOULIKORO) dernier voyage dans des conditions normales des remorqueurs 100 CV et des chalands chargés à 65/70 T. Plus tard, les mêmes convois commencent à talonner sur les seuils, en particulier à KAMINI et SÉGALA.

En ce qui concerne le secteur MARKALA-KOKRY, on estime que la date correspondant à un tirant d'eau de 1,25 m. sur le seuil de NAKRY se situe aux environs du 1^{er} Janvier 1952. Notons également que la vedette du Service de l'Hydraulique (tirant d'eau : 0,70 m.) a talonné sur ce même seuil à la date du 1^{er} Février 1952.

2^o Crue :

Nous avons obtenu à la crue, par les chefs d'escales, mieux au courant de nos études, des renseignements plus précis, consignés dans le tableau n° 1.

TABLEAU N° I
MOUVEMENTS DES CONVOIS DE KOULIKORO A SEGOU
Année 1952 — Crue

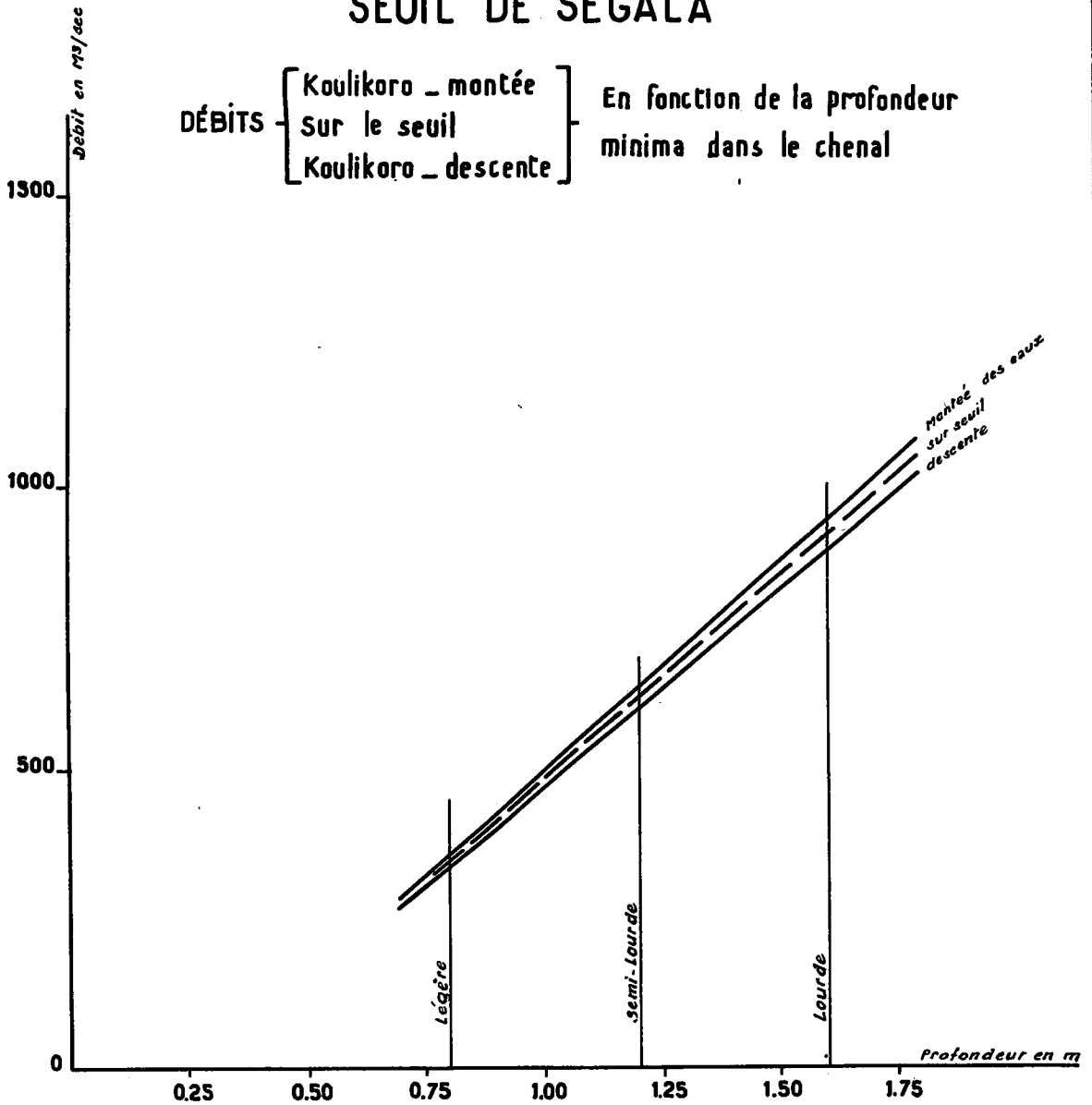
Date	Débit à KOULIKORO m ³ /sec. (1)	Remorqueur	Convoi	Tirant d'eau du remorqueur	Tirant du chaland le plus chargé	Observations Durée du voyage
7/6	175	100 CV vapeur	Chalands 160 T. le plus chargé à 45 T.	0,70	0,55	7 jours Nav. pénible.
15/6	240	100 CV Diesel	Chalands de 160 T. le plus chargé à 55 T.	0,70	0,60	4 jours Nav. pénible avantage du Diesel
23/6	258	100 CV vapeur	Chalands de 160 T. le plus chargé à 60 T.	0,70	0,65	8 jours Nav. très pénible
28/6	290	100 CV vapeur	Chalands de 160 T. le plus chargé à 72 T.	0,70	0,75	5 jours Navig. pénible
28/6	290	100 CV vapeur	Chalands de 160 T. le plus chargé à 100 T.	0,70	1,00	9 jours Navig. très pénible
2/7	425	100 CV vapeur	Chalands de 160 T. le plus chargé à 92 T.	0,70	0,95	4 jours
5/7 6/7	610 707	200 CV Diesel	Chalands de 160 T. le plus chargé à 115 T.	1,10	1,20	2 jours Navig. normale
10/7	993	100 CV Diesel	Chalands de 160 T. le plus chargé à 38 T. (manque de frêt)	0,70	0,40	1 jour (2) Navig. excell.

(1) Les débits indiqués sont les débits correspondants à la date du départ du convoi. Les débits à KOULIKORO sont donc supérieurs en général lorsque le convoi arrive sur les seuils.

(2) Ceci pour indiquer le temps nécessaire pour effectuer le voyage dans de bonnes conditions, la durée du voyage permettant d'évaluer la qualité de la navigation réalisée (échouages et raclages des fonds).

SEUIL DE SÉGALA

DÉBITS [Koulikoro - montée
sur le seuil
Koulikoro - descente] En fonction de la profondeur
minima dans le chenal



I. COURBES DE PRATICABILITÉ DES SEUILS-TYPES, DÉBITS-LIMITES DE NAVIGATION

Pour chacun des seuils-types, on a pu établir trois courbes donnant en fonction de la profondeur minima sur le seuil le débit nécessaire sur le seuil, à KOULIKORO à la montée des eaux, à KOULIKORO à la descente des eaux.

Ces courbes ont été construites en exploitant les résultats des deux séries de sondages effectuées au droit des seuils, d'une part, et, d'autre part, en utilisant les données statistiques précédentes concernant la navigation.

Nous rappelons qu'il existe une indécision dans les parties inférieures des courbes relatives à la montée, dûe à l'allure imprévisible de la naissance des débits à KOULIKORO.

Théoriquement, la concavité de ces trois courbes doit être dirigée vers les débits croissants mais nous avons adopté des droites afin de renforcer la sécurité correspondant aux tirants d'eau intermédiaires (navigation semi-lourde).

On en déduit le tableau n° II donnant la valeur des débits-limites en fonction des trois modes de navigation envisagés.

Nous avons porté dans ce tableau les valeurs des débits à KOULIKORO correspondant à une quatrième hypothèse, celle de la régularisation par le réservoir de NIANDAN. Dans ce cas, le débit à KOULIKORO reste maintenu constant en basses eaux grâce aux éclusées du réservoir de NIANDAN. Il faut évaluer ce que deviendra, pendant la durée de la régularisation artificielle, le débit effectivement disponible au droit des différents seuils en fonction des débits classés parvenant à KOULIKORO.

Cette évaluation est difficile à faire de manière précise, car elle doit tenir compte :

1° des apports dus au bassin versant à l'aval de KOULIKORO. Ces apports varient avec l'époque pour s'annuler vraisemblablement en Avril-Mai, tout au moins entre KOULIKORO et MACINA. En aval de MACINA, on peut admettre qu'il existe des apports à toute époque provenant de la régularisation naturelle due aux régions fortement inondées et saturées pendant la période des hautes eaux ;

2° des pertes dues aux nappes maintenues à un niveau artificiel supérieur à celui qui correspond aux conditions hydrologiques normales du moment. Elles augmentent rapidement en fonction de l'écart entre le niveau à l'état naturel et le niveau après régularisation ;

3° des pertes par évaporation qui dépendent de l'estimation de la surface libre correspondant au débit régularisé et des conditions climatiques.

Admettons pour un débit d'environ 500 m³/sec. une largeur moyenne de la surface libre de 5 à 600 m. et une évaporation effective de 0,5 cm. par jour. Nous obtenons une perte de 15 à 18 m³/sec. sur toute la longueur du tronçon KOULIKORO-MOPTI (504 km.) soit environ 5 à 6 % en tenant compte de l'augmentation de l'évaporation dans la retenue du barrage de MARKALA.

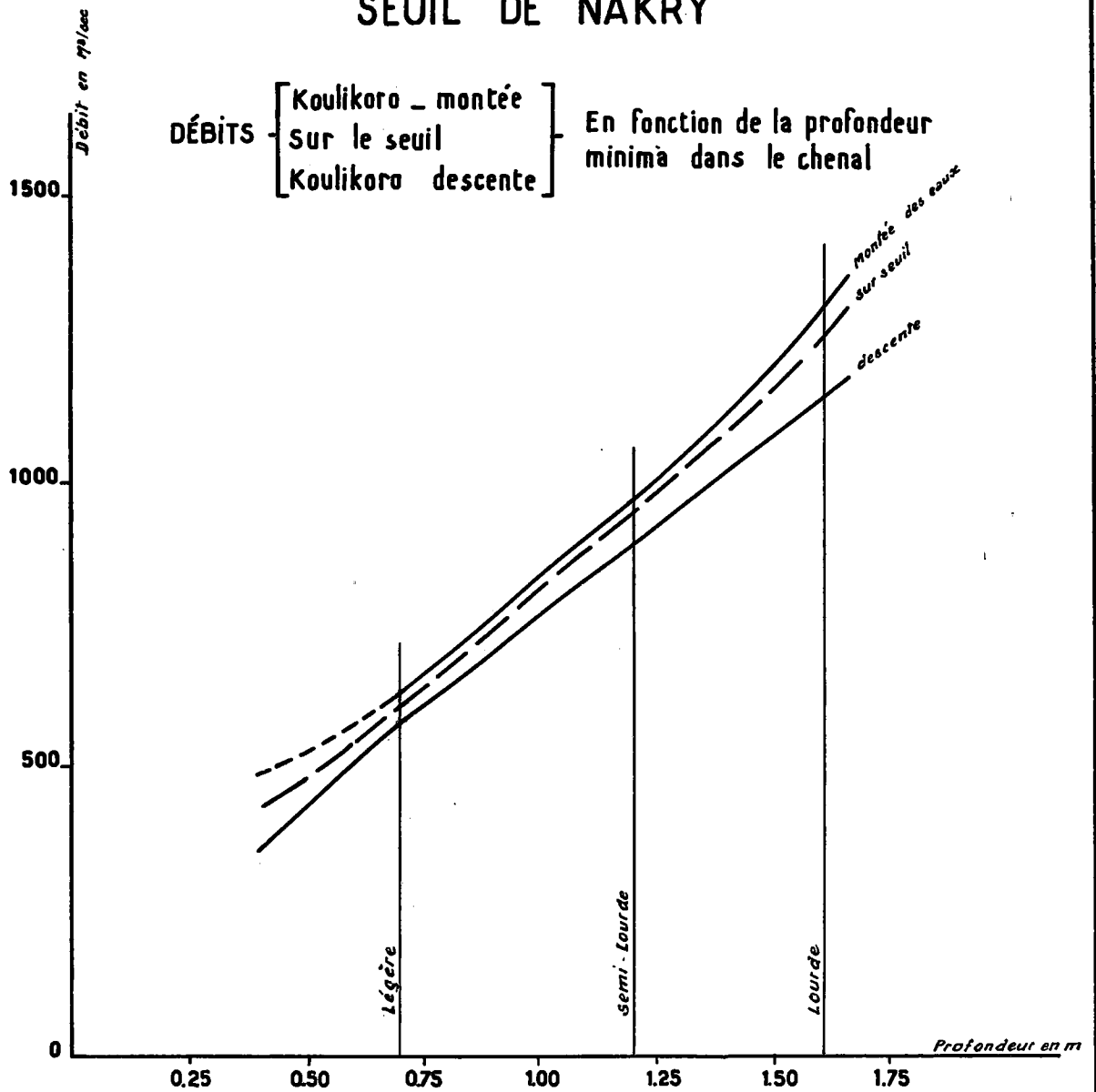
4° des prélèvements effectués par l'Office du Niger pour les besoins de l'irrigation et le maintien en eau des canaux.

Ces prélèvements ont été chiffrés ainsi par l'Office du Niger :

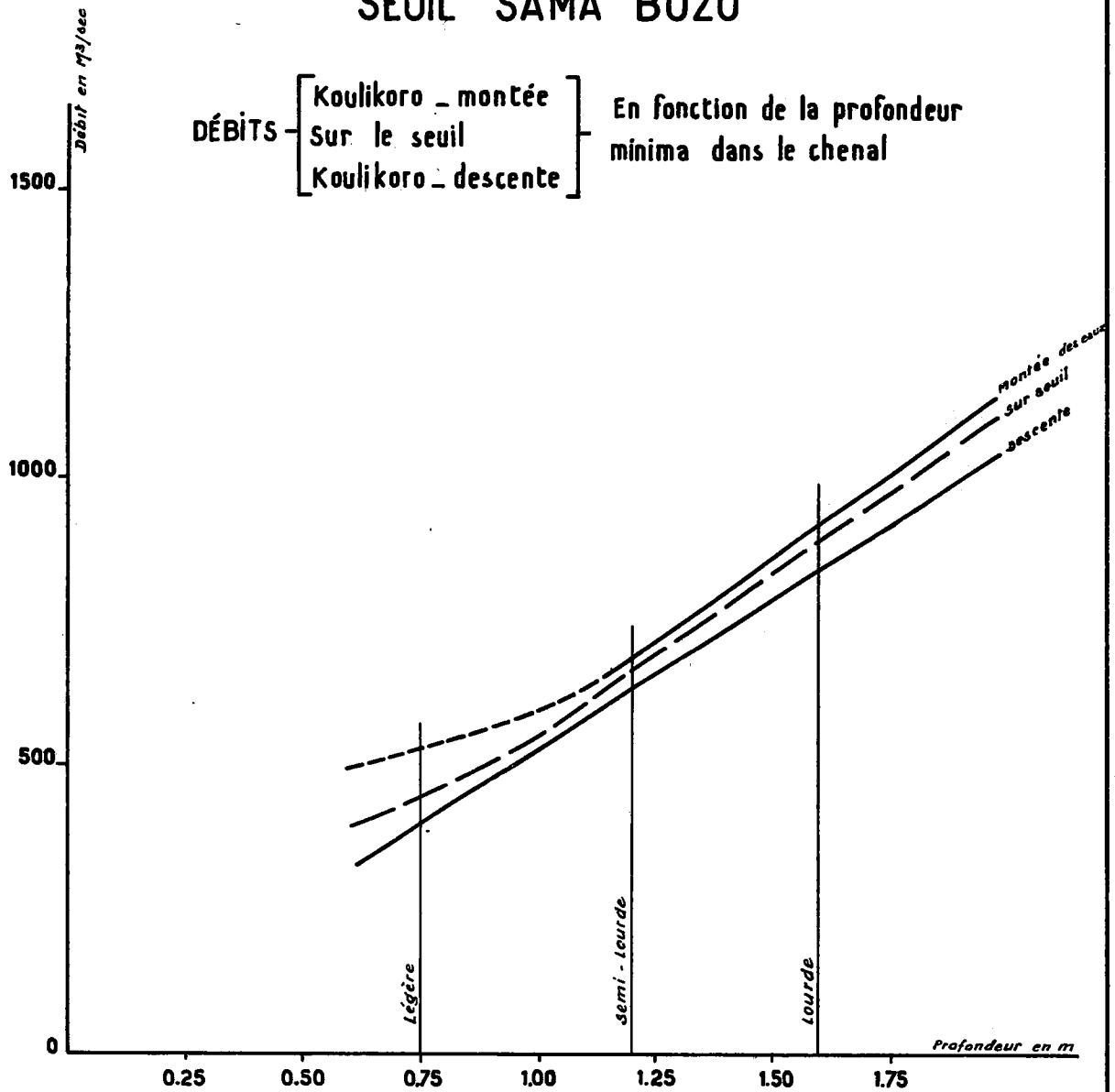
Mois	Prélèvements actuels en m ³ /s.	Prélèvements futurs en m ³ /s. Irrigation du coton égyptien prolongée jusqu'au 15 mars
Janvier	35 jusqu'au 15 20 ensuite	200
Février		200
Mars	20	200 jusqu'au 15 - 40 à 45 ensuite
Avril	0	40 à 45
Mai	0	40 à 45
Juin	20	40 à 45

soit environ 1.660 millions de m³

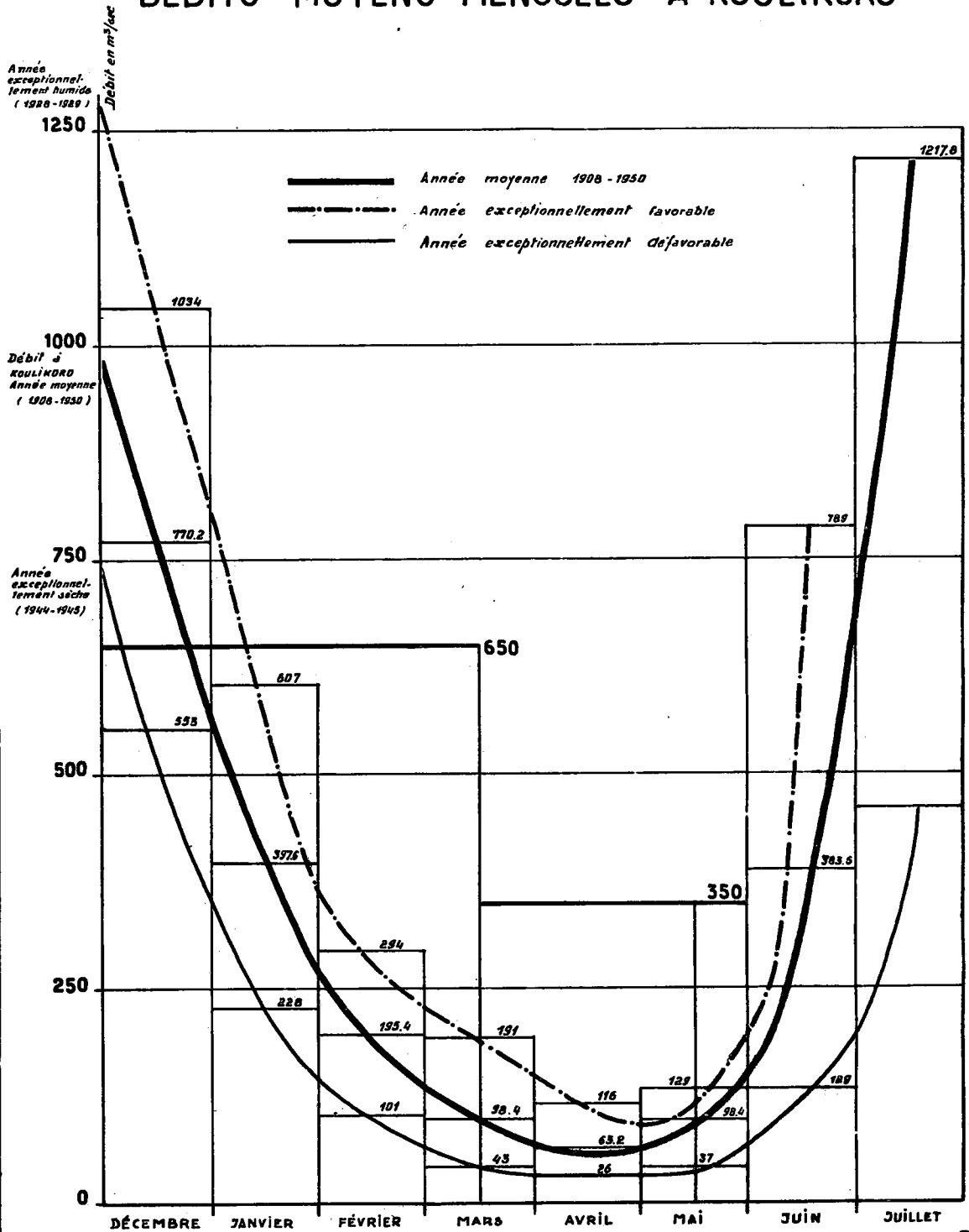
SEUIL DE NAKRY



SEUIL SAMA BOZO



DÉBITS MOYENS MENSUELS A KOULIKORO



Il semblerait, d'après des études actuellement en cours, que ces estimations futures sont largement surestimées, voire du simple au double. Nous les mentionnons néanmoins à titre indicatif.

En conclusion, si l'on admet que les apports du bassin compensent les pertes par infiltration, on retiendra, pour obtenir le débit de régularisation nécessaire à la station de KOULIKORO, une majoration, par rapport au débit effectif à écouler au droit du seuil, calculée comme suit :

$$Q \text{ majoration} = \frac{6 \times D \%}{504}$$

(D étant la distance en kilomètres du seuil à KOULIKORO).

TABLEAU N° II

	Seuil de SEGALA Section KOULIKORO- MARKALA		Seuil de NAKRY Section MARKALA-KOKRY		Seuil de SAMA Section MARKALA-KOKRY	
	sans régular.	avec régular.	sans régular.	avec régular.	sans régular.	avec régular.
Navigation à pleine charge 1,50 m. + 0,10 m.	885	920	1.140	1.285	845	915
	910		1.225		880	
	940		1.320		920	
Navigation semi-lourde 1,10 m. + 0,10 m.	620	650	880	960	640	685
	640		920		660	
	660		970		690	
Navigation légère 0,70 m. + 0,05 m.	340	350	585	640	400	435
	345		615		420	
	350		640		500	

REMARQUES :

1° Il n'a pas été naturellement tenu compte des prélèvements futurs de l'Office du Niger à MARKALA ;

2° Dans les colonnes « sans régularisation », le premier chiffre indique le débit limite à KOULIKORO, descente des eaux, le deuxième chiffre indique le débit au droit du seuil, le troisième, le débit à KOULIKORO, montée des eaux ;

3° Les colonnes « avec régularisation » donnent le débit nécessaire à KOULIKORO qu'il faut maintenir pour assurer le type de navigation correspondant.

On constate que :

1° le maintien de la navigation à pleine charge, même pour une brève durée, conduit à des lâchures trop importantes ;

2° le franchissement du seuil de NAKRY, même sans tenir compte des prélèvements de MARKALA, exige lui aussi des débits très élevés.

Même en ce qui concerne la section KOULIKORO-MARKALA le maintien de la navigation semi-lourde (1,20 m.) exige un débit relativement élevé (650 m³/sec. régularisé) par rapport au débit suffisant (350 m³/sec.) pour assurer la navigation légère (0,75 m.) Il en est ainsi parce que, dans l'ensemble, les chenaux conduisant d'une mouille à l'autre sont assez peu marqués et toute augmentation du tirant d'eau dans l'axe de ce chenal suppose des écoulements inutiles sous faible profondeur sur les vastes bancs de sable latéraux.

Dans le cas où le fait de maintenir pendant une partie de la saison sèche un débit permanent à KOULIKORO serait susceptible d'améliorer les conditions de franchissement des seuils par recréusement du chenal, on pourrait compter sur un tirant d'eau un peu supérieur à celui qui est annoncé pour chaque type de navigation.

Cette incidence heureuse aurait pour conséquence d'augmenter sensiblement la charge admissible par chaland ou de réduire le débit-limite de navigation pour un tirant d'eau déterminé.

A titre indicatif, nous donnons un essai de programme d'exploitation à KOU-LIKORO d'une réserve amont, en année moyenne (débits moyens mensuels calculés sur une moyenne de 43 ans — 1908 à 1950).

L'idée directrice est de maintenir pendant les importants prélèvements de l'Office du Niger (200 m³/sec. prévus) un débit de lâchure suffisant pour assurer, d'une part, la navigation semi-lourde entre KOU-LIKORO et MARKALA et, d'autre part, la navigation légère à l'aval entre MARKALA et KOKRY, en aménageant le seuil de NAKRY rendu ainsi assimilable aux autres seuils de la section (type seuil de SAMA), ou en utilisant le canal de MACINA.

Après le 15 Mars, date de la fin des irrigations du coton égyptien, seul le débit de navigation légère est maintenu entre KOU-LIKORO et MARKALA afin de permettre l'évacuation des produits de l'Office du Niger.

A l'aval de MARKALA, compte tenu du débit nécessaire pour maintenir le système des canaux en eau, la navigation est arrêtée.

Le tableau suivant indique la valeur des apports en débit et en volume à effectuer à KOU-LIKORO en admettant ce programme.

ANNÉE NORMALE
(moyenne de 43 années)

Dates	Durée en jours	Débit moyen de complément à KOU-LIKORO en m ³ /s	Volume d'apport en millions de m ³
Du 23 au 31/12 . . .	8	42	29
Janvier	31	252	675
Février	28	455	1.101
Du 1 ^{er} au 15/3 . . .	15	533	691
Du 15 au 31/3 . . .	16	266	368
Avril	30	287	744
Mai	31	252	675
Juin	15	135	175
Total : 4.458 millions de m ³ soit sensiblement le volume utile du réservoir de FOMI sur le NIANDAN.			

On voit que la navigation semi-lourde est maintenue entre KOU-LIKORO et MARKALA jusqu'au 15 Mars. Jusqu'à cette date, compte tenu des futurs prélèvements de l'Office du Niger, la navigation légère reste assurée entre MARKALA et MOPTI à condition :

- soit de réaliser un aménagement local du seuil de NAKRY ;
- soit de contourner la difficulté en utilisant pour la navigation les aménagements de l'Office du Niger (canal du MACINA et rivière de BOKI-WÉRÉ).

Cette dernière solution semble plus raisonnable et plus efficace.

CONCLUSIONS

Cette évaluation des débits-limites a pu être rapidement effectuée grâce aux études hydrologiques effectuées à de nombreuses stations dans la section KOU-LIKORO-MOPTI.

On voit que les éléments contenus dans la présente étude aideront à mieux définir les possibilités d'amélioration de la navigation créée par une réserve amont, telle que celle du barrage de FOMI.

Ces données nouvelles permettront également de choisir, compte tenu des conditions économiques et commerciales, la meilleure solution à adopter en ce qui concerne le programme d'exploitation du fleuve entre KOULIKORO et MOPTI.

Il semble résulter de la présente étude que dans l'hypothèse de la régularisation du NIGER il faudrait abandonner le principe de la navigation lourde, sauf peut-être en hautes eaux, ce qui revient à limiter l'emploi de chalands et de remorqueurs dépassant un tirant d'eau de 1,10 m. — 1,20 m. Il est curieux de constater que, pour des raisons analogues, on est conduit à des conclusions semblables sur la HAUTE-BÉNOUÉ et l'OUBANGUI.

Par ailleurs, l'utilisation du canal de MACINA pour court-circuiter le seuil de NAKRY serait particulièrement souhaitable.

Ces études permettent également de donner une première idée du programme d'exploitation du réservoir du NIANDAN.

Les résultats exposés devront être précisés dans l'avenir ; d'autre part, des aménagements locaux, en amont de MOPTI, seront peut-être tentés. Il apparaît donc nécessaire de poursuivre activement les études hydrologiques du cours moyen du NIGER.

Nous avons vu que la régularisation artificielle actuellement envisagée n'aura guère de conséquences bénéfiques à l'aval de la région des lacs ; néanmoins, le problème de l'amélioration de la navigation se posera nécessairement dans ces régions un jour ou l'autre et, là encore, sa résolution sera grandement facilitée si les études hydrologiques, qui exigent toujours un certain recul dans le temps, sont suffisamment avancées.

En Afrique, comme dans les pays neufs, le développement de nos connaissances en matière d'hydrologie apportera entre les mains des techniciens un outil qui, nous en sommes sûrs, rendra de grands services.