

DT 3.46

11706

S O G R E A H

F. A. O.

ETUDE HYDROAGRICOLE DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

Etude du barrage du delta

Contrat n° SE/AFR-REG61-10/AGL

Compte-rendu d'avancement des travaux
pour la période mai-juin-juillet 1971

Programme de travail trimestriel
pour la période août-septembre-octobre 1971

Août 1971

SOMMAIRE

-

A - COMPTE-RENDU D'AVANCEMENT DES TRAVAUX POUR LA PERIODE MAI-JUIN-JUILLET 1971	1
1. Préambule	2
2. Travail au Sénégal	2
3. Travail en France	5
 B - PROGRAMME DE TRAVAIL POUR LA PERIODE AOUT-SEPTEMBRE-OCTOBRE 1971	 6
1. Préambule	7
2. Choix final du site du barrage	7
3. Détermination des caractéristiques de l'avant-projet	8

- A -

COMPTE-RENDU D'AVANCEMENT DES TRAVAUX
POUR LA PERIODE MAI-JUIN-JUILLET 1971

-

1. PREAMBULE

Cette période, comprise entre l'ordre de démarrer l'étude et la saison des pluies et de la crue du Sénégal, a été utilisée pour la documentation sur place, les reconnaissances et les travaux d'investigations sur le terrain (géophysique, sondages, topographie, mécanique des sols) - ces travaux ayant été sous-traités.

Parallèlement, à Grenoble, le modèle mathématique fut exploité pour préciser les conditions d'écoulement du fleuve dans différentes hypothèses d'aménagement.

Le travail pendant ces trois mois a abouti essentiellement à restreindre le choix du site de barrage à deux emplacements, pour la comparaison desquels on a maintenant en main des éléments précis et à rassembler les données qui permettront :

- . de dresser un avant-projet des ouvrages,
- . d'évaluer les bénéfices techniques qu'ils pourront procurer.

2. TRAVAIL AU SENEGAL

2.1 MISSIONS D'INGENIEURS

- . Un ingénieur permanent, Monsieur CHABERT, basé à Saint-Louis, a assuré la logistique des missions et le contrôle du travail des sous-traitants,
- . Le responsable de l'étude, Monsieur LEMOINE, a effectué deux séjours de quatre semaines à Saint-Louis pour se documenter, coordonner les études, effectuer sur place le premier dégrossissage des caractéristiques du barrage suivant les emplacements possibles et orienter le choix du site.

- . Un économiste agricole, Monsieur MOREAU, a séjourné six semaines pour rassembler les matériaux et effectuer au Sénégal et en Mauritanie les reconnaissances nécessaires pour traiter la partie de son ressort dans le rapport intérimaire.

Les experts suivants ont effectué des missions plus courtes :

- . Monsieur BLANCHET, chef du service d'hydraulique fluviale SOGREAH, pour déterminer les emplacements de barrage favorables du point de vue de l'écoulement des eaux en crue et du point de vue de la navigation ;
- . Monsieur BAZIN, chef du service hydrogéologique, pour apprécier les répercussions possibles de la retenue sur la nappe phréatique, les moyens de pallier éventuellement ses conséquences nuisibles et faire le programme des investigations nécessaires pour préciser le problème ;

- . Monsieur BAJARD, géologue et mécanicien des sols, pour étudier les données géologiques existantes, donner le programme des sondages et puits de reconnaissance et des essais de mécanique des sols sur les échantillons recueillis, examiner les "carottes" de sondage.

Monsieur BAJARD a fait deux séjours sur place : le premier pendant la période du démarrage des sondages, le second au moment du choix des échantillons à envoyer au laboratoire.

2.2 TRAVAUX SOUS-TRAITES

2.21 Géophysique

La Compagnie Générale du Géophysique (C.G.G.), qui a été présente à Saint-Louis ou sur le fleuve du 10 au 21 mai, a utilisé le procédé "Sparkor" décrit dans le programme général de travail. Elle a effectué deux profils en long depuis l'île de Diankel, à l'aval, jusqu'à Keur Marsal, à l'amont, et retour, et de nombreux profils en travers aux quatre sites initialement envisagés (d'amont en aval : Keur Marsal, pointe Nord de l'île de N'Tieng, Maraye, Diama). En tout 120 km de profils ont été levés. A la date du 1er août, le rapport définitif C.G.G. est en cours d'élaboration, mais les principaux résultats ont été fournis sur place et début juin à Paris.

2.22 Sondages

La Société africaine de sondages, injections, forages (SASIF) a effectué 5 sondages dans le lit du fleuve et 13 à terre. En tout, 607 m ont été forés.

Les sondages dans l'eau, plus un au bord du fleuve, à Maraye, ont servi à étalonner les profils géophysiques.

Les sondages à terre, dans lesquels ont été effectués de nombreux essais d'eau et prélèvements d'échantillons intacts, se répartissent comme suit :

- . 5 au site du Diama (D0 à D4) ;
- . 4 à Maraye (M5 et $\Delta 1$) ;
- . 1 à la pointe Nord de l'île de N'Tieng (T0) ;
- . 4 au site de Keur Marsal (K0, K2, K3, K4) ;
- . le dernier, $\Delta 3,6$, 5 km en amont de l'ouvrage de l'île aux Caïmans, au pied de la digue de rive gauche, dans la zone où les communications entre la retenue et la nappe phréatique risquent d'être les plus importantes.

La SASIF a mis en chantier trois ateliers de sondage dont deux ont commencé leur travail sur portière (à Diama, le 19 mai et à Keur Marsal le 25 mai). Le troisième a commencé en M5 le 30 mai.

Le 7 juin, M5 et les sondages dans le lit étant terminés, il apparut que les sites de Maraye et probablement N'Tieng étaient peu intéressants. Il fut décidé que la première sondeuse, alors sur portière au droit de la pointe Nord de l'île de N'Tieng, ferait un sondage de contrôle sur l'île (T0) puis serait ramenée à Diama, que la deuxième sondeuse poursuivrait à terre l'exploration du site de Keur Marsal et que la troisième ferait un sondage complémentaire à Maraye pour un essai de pompage ($\Delta 1$) se déplacerait ensuite en 3 et reviendrait enfin, en renfort, à Diama. Le programme complet de sondages fut terminé le 19 juillet.

Les sondages M5 et $\Delta 3$ ont été équipés de piézomètres.

De plus, six puits de 2 m de profondeur ont été creusés dans des zones d'emprunt de terres possibles au voisinage de Maraye, Diama et Keur Marsal.

2.23 Topographie

Le cabinet MULLER, de Nouakchott, a effectué :

- . le positionnement du bateau à partir duquel opérait la C.G.G. (le travail a demandé la mise en place et le repérage en X et Y de 64 balises le long du fleuve),
- . le relevé de la marée en trois points du fleuve pendant la campagne C.G.G.,
- . le positionnement en X, Y, Z des sondages,
- . des profils en long de contrôle de la carte au 1/50 000 sur des alignements possibles de digues,
- . les levés des sites de Diama et Keur Marsal.

2.24 Mécanique des sols

- . 8 échantillons intacts extraits des sondages de Keur Marsal (site présentant de gros problèmes de fondation) ont été expédiés au laboratoire MECASOL de Paris pour des essais de consolidation et essais triaxiaux.

A la date du 1er août ces essais sont en cours.

- . 15 échantillons de terre extraits des six puits mentionnés plus haut ont été confiés au L.B.T.P. de Dakar pour essais d'identification et de compactage.

Les résultats font l'objet d'un rapport daté du 23 juillet.

3. TRAVAIL EN FRANCE

Le travail des services SOGREAH de Grenoble, à ce stade de l'étude, a consisté essentiellement à déterminer, à l'aide du modèle mathématique, les conditions hydrauliques de passage des crues exceptionnelles dans les différentes hypothèses d'aménagement.

Préalablement le service hydrologique a procédé à l'évaluation, sur documents, des crues centennale et millennale à Bakel. Les hydrogrammes-types obtenus ont été injectés dans le modèle qu'il a fallu d'ailleurs aménager, car il n'était réglé jusqu'alors que pour des débits plus faibles. Il a fallu extrapoler les lois de débitance du lit mineur et les lois niveaux-débits entre casiers.

Le modèle a donné la description complète de l'écoulement des crues centennale et millennale dans les conditions suivantes :

- . Etat actuel ;
- . Barrage à Keur Marsal, Sénégal endigué en rive droite jusqu'en face de Débi ;
- . Barrage à Diama, endiguement en rive droite prolongé jusqu'au Toundou Ziré et digue de fermeture entre le Toundou Hagui et le Toundou Bérêt.

On y a fait passer aussi des régimes permanents de 500, 1 000 5 000 m³/s en maintenant un niveau fixe au barrage.

La première série de calculs a donné en particulier le débit maximum prévisible au barrage (6 500 à 7 000 m³/s pour la crue millennale de 13 000 m³/s à Bakel) et l'enveloppe des lignes d'eau le long des endiguements.

La seconde série de calculs donne les courbes de remous dues au barrage si celui-ci fonctionne à niveau amont fixe et permet de les interpoler approximativement pour d'autres consignes d'exploitation.

- B -

PROGRAMME DE TRAVAIL
POUR LA PERIODE AOUT-SEPTEMBRE-OCTOBRE 1971

-

1. PREAMBULE

La plus grande partie de cette période sera consacrée au choix final du site de barrage et à la détermination des caractéristiques de l'avant-projet.

Il est prévu que la F.A.O. interviendra directement dans cette phase par sa présence à des séances de travail à Grenoble vers la fin du mois de septembre.

A partir du 15 octobre, environ, commencera le travail de dessin de l'avant-projet sur les bases fixées au cours de la phase précédente.

2. CHOIX FINAL DU SITE DU BARRAGE

Il est certain que le site de Keur Marsal présente des difficultés de fondation bien plus grandes que celles qu'on rencontre à Diama.

Pour une même capacité, il nécessite aussi une cote de retenue plus élevée.

Par contre, il conduit à un endiguement plus court et ne modifie ni les conditions d'écoulement du Djoudj et du Gorom, ni les submersions au Sud du parallèle 16°30.

Le premier travail à effectuer pour préciser la comparaison sera l'étude comparée des fondations des deux barrages qui sera entreprise dès que le rapport d'essai MECASOL sera disponible (le 1er septembre au plus tard).

Simultanément, on fera une estimation sommaire du supplément de digues et de dépenses de drainage qu'occasionnerait le site de Diama.

3. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE L'AVANT-PROJET

3.1 COTE DE RETENUE

La cote de retenue est conditionnée :

- par le remplissage du lac de Guier (tout à fait insuffisant actuellement, en cas de faible crue du Sénégal, pour les utilisations prévues) et l'alimentation de l'Aftout Es Sahel ;
- par l'utilisation de la réserve aux fins d'irrigation pendant la période d'étiage du Sénégal (février à juillet).

Des études d'exploitation du lac du Guier et de la retenue du barrage, compte-tenu d'un calendrier provisoire des besoins en eau, des apports du fleuve et de l'évaporation, ont déjà été faites, ainsi que des études de remplissage du lac de Guier et de l'Aftout Es Sahel.

Elles seront reprises de façon plus précise et plus systématique sur la base des besoins en eau indiqués au rapport agronomique. Deux hypothèses seront envisagées pour le lac de Guier : Taoué calibrée et Taoué non calibrée et deux hypothèses sur l'implantation des digues si le barrage à Diama est choisi :

- Retenue s'étendant en rive droite jusqu'aux Toundou Ziré, Hagui et Bérêt ;
- Endiguement rive droite proche de la rive.

Ces études d'exploitation permettront dans chaque cas de fixer une cote minimale de retenue (condition de remplissage du lac de Guier pour lequel l'utilisation minimale est fixée) et d'évaluer les bénéfices procurés par le choix d'une cote plus haute : gain de surface irrigable, éventuellement gain sur la dérivation vers l'Aftout Es Sahel, etc. On tiendra compte aussi des pertes occasionnées par les submersions plus importantes en amont de Rosso. Pour la comparaison des deux implantations possibles d'endiguement aval en rive droite, si le site de Diama est choisi, on évaluera la perte occasionnée par la submersion des terres situées entre les deux tracés.

En face de chacun de ces résultats, on placera une estimation sommaire des différences d'investissement et l'on aura tous les éléments pour faire un choix économique rationnel.

3.2 COTE DU SEUIL ET LARGEUR DU DEBOUCHE DU BARRAGE

Pour ces caractéristiques l'incertitude est moins grande que ne le laissait entendre le programme général de travail. Il y a certainement intérêt,

étant donné la cherté du béton et des enrochements de protection, à prévoir un seuil très bas qui pourra être relativement court. Le débouché en largeur s'en déduira par la condition que la vitesse moyenne à la sortie de l'ouvrage reste assez faible, au débit maximal, pour ne pas provoquer d'érosions dangereuses. Cette vitesse sera déterminée en fonction de la nature du fond et de l'expérience antérieure de SOGREAH en cette matière.

3.3 COTES DES DIGUES LATÉRALES

Cette question est déjà presque entièrement résolue par les calculs sur le modèle mathématique effectués pendant la période mai-juin-juillet.

Il ne reste que deux essais nouveaux à faire : le passage des crues centennale et millennale, avec barrage à Diama et endiguement rive droite proche du fleuve ; peut-être aussi quelques retouches aux essais précédents pour prendre en compte des débits dérivés vers l'Aftout Es Sahel et le lac de Guier plus exacts (si l'interpolation paraît hasardeuse).

Le fait que les caractéristiques du barrage seront telles que la dénivellée qu'il produira en crue ne dépassera pas quelques dm permettra d'éviter de compliquer le programme comme il avait été prévu pour en tenir compte.

Enfin, la différence de niveau relativement faible entre les crues centennale et millennale (0,80 m à Richard Toll) ne paraît pas justifier l'étude de déversoir ou digues fusibles.

HYDROAGRICULTURAL SURVEY OF THE SENEGAL RIVER VALLEY

Delta-dam study

Contract No SF/AFR/REG61-10/AGL

Works Progress Report

May-July 1971

Quarterly Work Programme for the period
August-October 1971

August 1971

SUMMARY

-

A -	PROGRESS REPORT FOR PERIOD MAY-JULY 1971	1
1.	Introduction	2
2.	Work in Senegal	2
3.	Work in France	5
B -	WORK PROGRAMME FOR THE PERIOD AUGUST-OCTOBER 1971	6
1.	Introduction	7
2.	Final selection of dam site	7
3.	Determining preliminary design characteristics	8

oOo

- A -

PROGRESS REPORT FOR PERIOD MAY-JULY 1971

-

1. INTRODUCTION

During this period, between receipt of the order to commence work and the arrival of the rain season and the Senegal flood possible to complete on-site documentation, field surveys and investigatory work (geophysics, exploratory drilling, topography, soil mechanics) - this work having been sub-contracted.

Simultaneously at Grenoble, a mathematical model was used to determine river flow conditions adopting various hypothetical development designs.

The essential results of this three month work period are the elimination of several a priori possible dam positions and the collation of accurate data for comparison of the two remaining feasible sites which will permit :

- . Preparation of preliminary structural design ;
- . Evaluation of the technical advantages associated with the said structures.

2. WORK IN SENEGAL

2.1 ENGINEERS' MISSIONS

- . A permanent mission engineer, Mr. CHABERT, based at Saint-Louis, was responsible for mission logistics and for the control of the sub-contracted work ;
- . Mr. LEMOINE, the study manager, spent two periods, each of four weeks, at Saint-Louis to acquire background knowledge, to coordinate surveys to prepare the preliminary dam characteristics dependent upon potential sites and to manage the selection of the same site;

- . Mr. MOREAU, an agricultural economist, spent six weeks on site to carry out surveys and to obtain the material which he required to prepare the corresponding section of the interim report.

The following experts undertook shorter missions :

- . Mr. BLANCHET, head of SOGREAH's river hydraulics department, so as to determine suitable dam sites with special regard to navigation and river behaviour during floods ;
- . Mr. BAZIN, head of the hydrogeological department, to examine possible repercussions of the reservoir on the aquifer and to consider methods of combatting undesirable consequences, if any, and of drawing up the investigatory programmes necessary for defining the problems ;
- . Mr. BAJARD, geologist and soil mechanics expert, examined existing geological data, prepared the programme for exploratory boreholes and soil mechanics tests on collected samples, examined the drilling cores.
Mr. BAJARD visited the site twice : when drilling commenced and later, to select cores for onward transmission to the laboratory.

2.2 SUB-CONTRACTED WORK

2.21 Geophysics

La Compagnie Générale du Géophysique (C.G.G.), at Saint-Louis or on the river Senegal from 10th to 21st May, adopted the "Sparker" process described in the general works programme.

The Compagnie prepared two longitudinal sections between the island of Diankel, (downstream) and Keur Marsal, (upstream) and vice versa, as well as numerous transversal sections at the four sites initially considered (travelling downstream : Keur Marsal, northern tip of N'Tieng island, Maraye, Diama). A total length of 120 km of section was prospected. As at 1st August, the C.G.G. final report under preparation but the principal results were given in situ and in Paris at the beginning of June.

2.22 Drilling

La Société Africaine de Sondages, Injections, Forages (SASIF) drilled 5 boreholes in the river bed and 13 on dry land : 607 m in tote.

Boreholes in the river bed and one on the river bank at Maraye have served to calibrate the geophysical profiles.

The land boreholes, in which numerous water tests were carried out and from which numerous undisturbed samples were extracted are listed below :

- . 5 at the Diama site (D0 to D4) ;
- . 2 at Maraye (M5 and Δ1)
- . 1 at the northern tip of N'Tieng island (T0) ;
- . 4 at the Keur Marsal site (K0, K2, K3, K4) ;
- . and, finally Δ3, 6.5 km upstream of the Caimans Island structure, at the foot of the left embankment in that area where reservoir-aquifer interconnection is likely to be greatest.

SASIF provided three drilling rigs, two of which were mounted on rafts when they commenced work (at Diama, May 19 and at Keur Marsal, May 25). The third rig commenced work at M5 on 30th May.

Boreholes at M5 and in the river bed were completed on 7th June and it was apparent that the Maraye and, probably, the N'Tieng sites were of little interest. It was decided that the first raft-mounted drilling rig then lying off the northern tip of N'Tieng island, would be used to drill a control borehole on the island (T0), subsequently this rig would be returned to Diama ; that the second rig was to be used on land in the continue exploration of the Keur Marsal site and that the third rig would be used to drill an additional borehole at Maraye for a pumping test (Δ 1), subsequently being moved to (Δ 3) and finally returning to Diama where it would serve as a reinforcement. The drilling programme was finally completed on 19th July.

Boreholes M5 and Δ 3 were fitted with piezometres.

Moreover, 6 borrow-pits each 2 m deep, were dug in the possible borrow areas around Maraye, Diama and Keur Marsal.

2.23 Topography

Cabinet MULLER, of Nouakchott, carried out the following work :

- . Positioning of the ship from which C.G.G. operated (the work requiring placing and X, Y referencing of 64 markers along the course of the river) ;
- . Tidal recording at three points of the river during the C.G.G. campaign ;
- . X, Y, Z positioning of boreholes ;
- . Longitudinal control sections of the 1/50,000 map along possible embankment routes ;
- . Surveys of the Diama and Keur Marsal sites.

2.24 Soil mechanics

- . 8 undisturbed samples were extracted from the Keur Marsal boreholes (this site suffers from serious foundation problems) and were sent to the MECASOL laboratory in Paris for consolidation and triaxial tests. The tests were in progress on 1st August.
- . 15 soil samples, taken from the previously mentioned 6 borrow pits, were submitted to L.B.T.P. of Dakar for identification and compaction tests.

The test results form the subject of a report dated 23rd July.

3. WORK IN FRANCE

At this stage of the survey, SOGREAH's work in Grenoble, consists essentially of determining, with the aid of a mathematical model, hydraulic conditions of exceptional flood passage under various hypothetical development designs.

Prior to undertaking this work, the hydrological department carried out a documentary evaluation of hundred year and thousand year floods at Bakel. The typical hydrographs obtained were fed into the mathematical model, which had to be modified since it had been set for lower discharges. It was necessary to extrapolate the flow laws of the low water bed and the level-discharge laws between the embankments.

The model provided a complete description of hundred year and thousand year flood discharge under the following conditions :

- . Present condition ;
- . Dam built at Keur Marsal and an embankment built on the right bank of the Senegal, as far as Debi ;
- . Dam built at Diama, embankment on the right bank extended as far as Toundou Zire with a flood bank between Toundou Hagui and Toundou Bérêt.

The following were also fed through the computer : permanent conditions at 500, 1,000... 5,000 cumecs with a constant level being maintained at the dam.

The first series of calculations principally provided the maximum foreseeable discharge at the dam (6,500 to 7,000 cumec for the 13,000 cumec thousand year flood at Bakel) and a set of water curves over the length of the levees.

The second set of calculations gives the backwater curves resulting from constant upstream level operation of the dam and permits approximate interpolation for other operating conditions.

- B -

WORK PROGRAMME FOR THE PERIOD AUGUST-OCTOBER 1971

-

1. INTRODUCTION

Most of this period will be taken up with the selection of the definitive dam site and determination of preliminary design characteristics. It is expected that the F.A.O. will act directly in this phase and that it will be represented during the working sessions at Grenoble to be convened towards the end of September.

On 15th October, approximately, work will begin on preliminary design drawings, on the basis determined during the phase and sessions mentioned above.

2. FINAL SELECTION OF DAM SITE

It is certain that the foundation problems at Keur Marsal are far more serious than those met at Diama.

For a given capacity, the reservoir height would also be higher.

However, shorter embankments would be required, flow conditions of the Djoudj and Gorom would not be affected and there would be no submersion south of parallel 16°30.

The first task in this comparative study will be the comparison between the foundations at the two dam sites and this will be effected as soon as the MECASOL test programme is available (not later than 1st September).

Simultaneously, an estimate will be prepared concerning the additional expenditure on embankments and drainage inherent in the selection of the Diama site.

3. DETERMINING PRELIMINARY DESIGN CHARACTERISTICS

3.1 RESERVOIR HEIGHT

Reservoir height depends upon :

- . Filling of Guier lake (at present quite insufficient for planned usage if the Senegal floods are minimal) and supplies to Aftout Es Sahel ;
- . Use of reserve for irrigation during the low water period on the river Senegal (February to July).

Studies of the filling of lake Guier and Aftout Es Sahel have been carried out as have operating studies of lake Guier and the dam reservoir, adopting a provisional calendar of water requirements, river input and evaporation.

These studies will be re-examined more closely and systematically on the basis of the water requirements given in the agronomy report. Two hypotheses will be considered concerning lake Guier : Taoué calibrated and Taoué noncalibrated and two hypotheses concerning levee position if the Diama site is selected :

- . Reservoir extending beyond the right bank as far as Toundou Ziré, Hagui and Bérêt ;
- . Right embankment constructed near the river bank.

In every case these operating studies will serve to determine a minimum reservoir height (filling conditions of lake Guier for which minimum utilization has been determined) and evaluation of the advantages consequent upon the selection of a higher reservoir level : gain in irrigable area, possible gain in the diversion to Aftout Es Sahel, etc. Allowance will be made for the losses resulting from land submersion upstream of Rosso.

If the Diama site is selected, the loss due to submersion of land between the two alternative routes will be evaluated when comparing the two alternative downstream embankment positions. With these results at hand, a summary estimate of differences in required investment will be prepared so that all data required for a rational economic decision will be available.

3.2 SILL HEIGHT AND WIDTH OF DAM ESCAPE

Uncertainty concerning these characteristics is less than that indicated in the general work programme. Certainly, it is of interest, in view of the cost of concrete and protective rockfill, to design a very low sill which could also be relatively short. The width of the escape is dependent upon the mean flow speed from the structure remaining relatively low at maximum river discharge so as to avoid excessive erosion. This limit speed will be determined from the nature of the river bed and the experience which SOGREAH has acquired in this field.

3.3 LEVEL OF LATERAL EMBANKMENTS

This problem was practically solved by the calculations effected on the mathematical model during period May-July. Only two further tests are required : passage of hundred year and thousand year floods if a dam is built at Diama and if an embankment is constructed near the right bank of the river with, perhaps, a few modifications to the earlier tests to allow more exactly for the discharge diverted to the Aftout Es Sahel and lake Guier (if interpolation appears to be of doubtful accurate).

Since the dam characteristics are such that the fall of the water level during flood will be not more than a few decimetres, complication of the programme planned to allow for level differences may be avoided.

Finally, the relatively low difference in level between hundred year and thousand year floods (0.80 m at Richard Toll) does not seem to justify close examination of a spillway or fuse plug levees.