

ORSTOM

Paris - France

11755  
SOGREAH

Grenoble - France

(A) ST 15.39

SYSTEME DE PREVISION ET D'ANNONCE  
DES DEBITS DU FLEUVE SENEGAL

Mission d'identification de Messieurs Roche et Morvant

Février 1979

FAC  
FONDS D'AIDE ET DE COOPERATION  
DE LA REPUBLIQUE FRANCAISE

OMVS  
ORGANISATION POUR LA MISE EN  
VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

## INTRODUCTION

L'OMVS a adressé au FAC une requête relative au financement de l'étude et la mise en place d'un système de prévision et d'annonce des débits du fleuve Sénégal. Cette requête demande, dans un premier temps, qu'une mission préliminaire se rende auprès du Haut Commissariat de l'OMVS afin de définir le contenu du projet et d'établir un devis, compte tenu des moyens complémentaires à mettre en place et de la durée probable d'intervention.

Le FAC a accédé à la demande de l'OMVS et a confié à une mission, composée de M. Roche de l'ORSTOM et de M. Morvant de SOGREAH, de procéder à l'identification de ce projet sans préjuger de la suite qui y sera réservée.

La mission, accompagnée de M. Konaré, Directeur du Projet Manantali à l'OMVS, a ainsi rencontré les responsables de l'OMVS et des Administrations des états se rendant successivement à Dakar, Nouakchott et Bamako.

Le présent rapport expose les termes techniques de l'étude. Le coût de l'opération sera chiffré par ailleurs, des comparaisons entre les différents systèmes de télétransmission étant encore à faire.

Avant d'entrer dans le corps du rapport, nous tenons à remercier toutes les personnalités qui ont bien voulu recevoir la mission et lui exposer leurs besoins, suggestions et contraintes.

#### 1.1.4. OMVS

- . M. Sakho, Directeur de l'Infrastructure,
- . M. Konaré, Directeur du Projet Manantali,
- . M. Hamdinou, Hydrologue, Représentant de l'OMVS à Saint-Louis,
- . M. Juton, Conseiller au Haut Commissariat,
- . M. Rohbäch, Conseiller au Projet Manantali.

#### 1.2 EMPLOI DU TEMPS

Le déroulement de la mission a été le suivant :

- Vendredi 26 janvier 1979
  - . Arrivée à Dakar
- Samedi 27 janvier 1979
  - . Passage à la MAC
  - . Réunions à l'OMVS avec MM. Sakho et N'Diaye  
MM. Konaré et Rohbäch.
- Dimanche 28 janvier 1979
  - . Séance de travail des experts avec M. Lérique, Chef du Service Hydrologie ORSTOM à Dakar
- Lundi 29 janvier 1979
  - . Réunions successives avec MM. Léger et Lérique  
MM. Juton et Lérique  
MM. Sakho, Konaré, Juton, Rohbäch  
et Lérique  
MM. Dieye, Toly et Lérique
- Mardi 30 janvier 1979
  - . Voyage Dakar - Saint-Louis
  - . Réunion avec MM. Cisse Abdalah et Hamdinou
- Mercredi 31 janvier 1979
  - . Voyage Saint-Louis - Nouakchott
  - . Séances de travail avec  
M. Ba Oumar, Ministre du Développement Rural  
MM. Diack et Lam  
M. Youba Ould Cheik Benani
  - . Entrevue avec MM. Fiorèse et Schirlé
- Jeudi 1er février 1979
  - . Voyage Nouakchott - Dakar
  - . Séance de travail avec MM. Debonnecorse et Léger
- Vendredi 2 février 1979
  - . Séance de travail avec MM. Ousmane Fall et Toly
  - . Voyage Dakar - Bamako

CHAPITRE - 1 -

PERSONNALITES RENCONTREES ET EMPLOI DU TEMPS.

1.1 PERSONNALITES RENCONTREES

Durant leur mission, les experts ont rencontré les personnalités suivantes :

1.1.1. République du Mali.

- . M. Lamine Keita, Ministre du Développement Industriel et du Tourisme,
- . M. Dembelé, Directeur de l'Hydraulique,
- . M. Abdouleye Ba, Chef du Service Hydrologie à la Direction de l'Hydraulique,
- . M. Mazeyrac, Ambassadeur de France,
- . M. Patriat, Chef de la mission d'Aide et de Coopération,
- . M. Lamagat, Chef du Centre ORSTOM au Mali.

1.1.2. République islamique de Mauritanie.

- . M. Ba Oumar, Ministre du Développement Rural,
- . M. Walin N'Dao, Secrétaire général du Ministère du Développement Rural,
- . M. Youba Ould Cheikh Benani, Directeur de la SONADER,
- . M. Diack, Directeur de l'Agriculture,
- . M. Lam, Pédologue à la Direction de l'Agriculture,
- . M. Fiorèse, Chef Adjoint de la mission d'Aide et de Coopération,
- . M. Schirlé, Ministère de la Coopération.

1.1.3. République du Sénégal.

- . M. Ousmane Fall, Conseiller Technique du Ministre de l'Equipement,
- . M. Dieye, Directeur des Etudes et de la programmation au Ministère de l'Equipement,
- . M. Cisse Abdalah, de la Direction de l'Hydraulique à Saint-Louis,
- . M. Debonnecorse, Chef de la mission d'Aide et de Coopération,
- . M. Léger, mission d'Aide et de Coopération,
- . M. Toly, Conseiller Hydrologue au Ministère de l'Equipement,
- . M. Lérique, Chef du Service Hydrologie du Centre ORSTOM de Dakar.

- Samedi 3 février 1979
  - . Séance de travail entre les experts et MM. Konaré et Lamagat
- Lundi 5 février 1979
  - . Séance de travail avec MM. Dembelé et Abdouleye Ba
- Mardi 6 février 1979
  - . Séances de travail des experts
  - . Réunion avec MM. Mazeyrac - Patriat et Lamagat
  - . Audience de M. Lamine Keita
- Mercredi 7 février 1979
  - . Séances de travail avec MM. Lamine Keita - Dembelé et Lamagat
- Jeudi 8 février 1979
  - . Réunions diverses et préparation de la réunion du 10 février 1979
- Vendredi 9 février 1979
  - . Voyage Bamako - Dakar
- Samedi 10 février 1979
  - . Séance de travail avec M. Juton
- Dimanche 11 février 1979
  - . Voyage Dakar - France.

CHAPITRE - 2 -

*ETAT DES PROJETS.*

2.1. RAPPEL DES OBJECTIFS

Le développement du bassin du fleuve Sénégal, en ce qui concerne l'utilisation des ressources en eau comprend trois volets essentiels :

- agriculture par l'irrigation dans la vallée et le delta de Bafoulabé à la mer ;
- navigation toute l'année de Saint-Louis à Kayes ;
- production d'énergie électrique dans le haut bassin.

Une agriculture traditionnelle vit au rythme naturel des crues au Sénégal. A la montée, l'eau inonde les dépressions (colladés) du lit majeur (Oualo) ou du delta, puis se retire à la décrue, laissant au sol une quantité d'humidité plus ou moins importante, permettant des cultures de sorgho, de maïs et de niébé dont les rendements ne dépassent généralement pas 500 kg/ha. Les résultats sont bien sûr liés à l'importance de la crue et au mode de remplissage et de vidange des dépressions, le paramètre essentiel du rendement global de chaque partie de la vallée étant la surface inondée pendant un temps donné dépendant du sol et du type de culture (généralement 30 à 60 jours).

Les surfaces ainsi cultivées oscillent en année moyenne de 80 000 à 100 000 ha mais ont été fortement réduites ces dernières années où plusieurs crues ont été très faibles ; elles ont été estimées comme suit, d'après observations aériennes :

1970-71	110 000 ha
1972-73	15 000 ha
1973-74	95 000 ha
1976-77	30 000 ha
1977-78	30 000 ha
1978-79	60 à 65 000 ha.

A ce stade de développement, la prévision des apports présente quelque intérêt puisqu'elle permet, au moins en théorie et avec un modèle hydrodynamique adéquat, de prévoir la production de la future récolte ; mais elle reste statique et ne permet pas d'améliorer cette production. Par ailleurs, si la mise en oeuvre est compliquée, les données nécessaires sont très simples et n'exigent pas d'être connues avec un pas de temps très court.

La mise en oeuvre des ouvrages de régularisation du fleuve, notamment le barrage de Manantali, va perturber le mécanisme de ces crues ; naturellement des dispositions ont été prises pour la création d'une "crue artificielle".

Il est admis qu'un véritable développement agricole de la vallée passe par l'irrigation des terres du lit majeur en maîtrise totale de l'eau, ce qui nécessite un endiguement des périmètres pour les protéger contre les inondations et le pompage des eaux tant d'irrigation que de drainage. A ce jour, on compte dans l'ensemble de la vallée et du delta près de 15 000 ha irrigués à partir du débit naturel du fleuve ou de stockages dans des dépressions voisines plus ou moins aménagées (lac de Guiers, Goron Lampasar, lac R'Kiz, Gorgol, etc.).

Pour permettre un développement en grand de l'irrigation, des ouvrages de régularisation du fleuve sont indispensables et programmés par l'OMVS : Diama, dans le delta, permettra l'irrigation de 75 000 ha et Manantali, dans le haut bassin, de près de 300 000 ha ; à très long terme, d'autres ouvrages de régularisation devront également être mis en place (Gourbassi, Galougo, etc.).

Une prévision des débits est indispensable pour la gestion tant des périmètres d'irrigation (protection contre les crues, satisfaction des besoins en eau, etc.) que de la navigation (passage des seuils) et de la gestion des ouvrages de régularisation à buts multiples tels que Manantali.

A mesure que le développement s'accroîtra, les exigences deviendront plus sévères et les gestionnaires du système devront disposer de davantage d'informations pour prendre les dispositions appropriées aux divers besoins ; par ailleurs, la multiplication des endiguements rendra la vallée plus sensible aux inondations et obligera à davantage de vigilance.

On peut estimer qu'un système de collecte de données et de traitement en prévision devrait, pour être pleinement efficace dans le bassin du Sénégal, pouvoir fournir des prévisions avec un délai de 24 h ou au plus de 48 h, après la production des données. C'est l'objectif que nous fixerons au projet.

## 2.2. ETUDES ET DOCUMENTS DISPONIBLES

A notre connaissance, aucune étude d'ensemble d'un système intégré de prévision des débits du Sénégal n'a été exécutée à ce jour, ce qui ne veut pas dire qu'on ne faisait pas de prévision : celle-ci était limitée aux cotes critiques pour la navigation.

Les éléments hydrologiques de base ont été regroupés dans une monographie du bassin du fleuve Sénégal, publiée par l'ORSTOM (C. Rochette), mais les données s'arrêtent à l'année hydrologique 1964-65. Depuis, les étalonnages des stations ont été complétés ; c'est ainsi que celui de Bakel a subi d'importantes modifications. Les fichiers de hauteurs d'eau, et souvent de débits, sont disponibles à Dakar (Direction de l'Hydraulique du Sénégal) et à Bamako (Direction de l'Hydraulique du Mali), mais ne sont pas encore publiés.

Des études importantes concernant les modèles mathématiques d'écoulement de la vallée ont été conduites par SOGREAH. Un modèle complet de Kayes et Kidira (sur la Falémé) à la mer a été construit par cette société sur financement de la FAO. C'est un modèle hydrodynamique complet, permettant d'examiner dans le détail l'influence sur les niveaux des modifications apportées par les aménagements. Il est trop lourd pour être vraiment opérationnel en prévision des apports (coût de calcul élevé) ; par ailleurs, l'OMVS a demandé

à la SOGREAH d'étudier, sur financement FAC, un modèle simplifié de propagation entre Manantali et Bakel qui puisse par la suite être raccordé à un modèle simplifié de propagation dans la vallée.

Pour les études d'aménagement et autres études diverses, on pourra se référer à la bibliographie suivante :

- *"Etude hydroagricole du fleuve Sénégal - Rapport de synthèse des études et travaux (1977)"* - FAO.
- *"Etude d'exécution du barrage et de l'usine de Manantali, rapport final". Actualisation des données de base. Annexe 2. Hydrologie (3 volumes), 1978. Groupement Manantali - Ingénieurs conseils.*
- *"Etude projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du haut-Sénégal".* Volume 3A et 3B, Hydrologie. SENEGAL CONSULT, 1970 - sur financement des Nations Unies.
- *"Etude d'exécution du barrage de Diama".* Rapport sur l'exploitation du modèle mathématique SOGREAH. Janvier 1977.
- *"Amélioration et jonction des modèles mathématiques du fleuve Sénégal"* Construction et exploitation d'un modèle de propagation type MUSKINGUM entre Manantali et Bakel, SOGREAH, septembre 1972.
- *"Etude hydroagricole du bassin du fleuve Sénégal".* Etude du barrage du delta, rapport intérimaire. Volume II annexe 1, Etude des crues type du Sénégal à Bakel, SOGREAH, 1972.
- *"Etude de la navigabilité et des ports du fleuve Sénégal".* Etudes portuaires à Saint-Louis, Kayes et Ambidedi.  
2 volumes : rapport n° 1 - Travaux préliminaires :
  - . volume 1 : rapport principal,
  - . volume 2 : annexes.Surveyer, Henniger et Chennevert, en collaboration avec Chr. Ostenfeld et M. Jonson - Danish Institute of applied hydraulics Knud E. Hansen, 1972.
- *"Etude d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation".* Groupement d'Ingénieurs conseils - Lackner - Dorsch - Electrowatt, 1979.
- Ould Habdinou A., 1976 : *"Hydrologie du fleuve Sénégal de Bakel à Saint-Louis de 1965 à 1975"*. Note de présentation et graphiques. Saint-Louis, Sénégal, OMVS, 20 p. 22 gr.
- *"Evaluation globale du programme régional d'infrastructure".* Sir Alexander Gibbs and Partners - juillet 1978.



CHAPITRE - 3 -

DEFINITION DU SYSTEME DE PREVISION DES DEBITS

3.1 RAPPEL DES ETUDES EFFECTUEES SUR LES DEBITS ET LEUR PROPAGATION.

Les études réalisées à ce jour sont de différentes natures, leurs finalités étant générales ou particulières. Par ordre chronologique nous citerons :

- La construction, le réglage et l'exploitation d'un modèle hydrodynamique de propagation des crues du fleuve Sénégal depuis les chutes de Gouina jusqu'à Saint-Louis.
- La construction, le réglage et la mise au point d'un modèle du type Muskingum entre Manantali et Bakel, afin de définir une méthode de calcul en temps réel du débit à lâcher au barrage de Manantali à partir des observations faites aux stations de contrôle de Oualia sur le Bakoye, Gourbassi sur la Falémé et Bakel sur le Sénégal, de façon que la composition des débits fournisse l'hydrogramme désiré à Bakel.
- L'étude de la gestion du barrage de Diama qui donne l'évolution du niveau dans la retenue en fonction des différentes composantes (apports avec et sans le barrage de Manantali, prélèvements avec ou sans réalimentation partielle du lac de Guiers, pertes par évaporation).
- L'étude de la gestion du barrage de Manantali (cette étude est en voie d'achèvement et les résultats seront connus dans les prochains mois).

Ces études traitent donc, plus ou moins, du même problème, mais ne forment pas un tout homogène, car utilisant des méthodes différentes.

Ainsi, le modèle hydrodynamique de propagation des crues permet de connaître les conséquences des aménagements hydro-agricoles (débits niveaux), de même que l'influence des barrages amont sur les crues dans la vallée par leur modification des hydrogrammes. Mais c'est un outil lourd qui ne peut être utilisé en temps réel.

Le modèle Muskingum Manantali - Bakel est, lui, un outil adapté à la prévision, mais il est incomplet car ne s'étendant pas assez dans le bassin amont et dans la vallée, et il présente l'inconvénient de ne pouvoir intégrer directement les modifications ultérieures apportées par les aménagements.

Il faut donc créer un système homogène et fiable pouvant permettre de prévoir en temps réel les débits en un nombre de stations clés du réseau hydrographique du Sénégal. On trouvera quelques précisions sur ces modèles en annexe 1.

### 3.2 OBJET DE L'ETUDE

L'objet de l'étude est de :

- Améliorer la collecte des données.
- Mettre en place un système de transmission de ces données.
- Réaliser une étude en vue de mettre au point un système de prévision et d'annonce des débits du fleuve Sénégal.
- De prévoir un système de gestion de l'ensemble.

Dans ce chapitre nous nous intéressons essentiellement à l'étude du système de prévision, les autres points étant traités dans les chapitres suivants.

L'étude consiste à établir un système de prévision et d'annonce des crues du Sénégal et de ses affluents. La méthode sera, dans un premier temps, basée sur l'analyse des données limnimétriques et la simulation de la propagation des débits. Nous ne chercherons pas à utiliser les données pluviométriques existantes ni à établir un modèle du type "pluie-débit". En effet, les tentatives effectuées dans cette voie (Sénégal Consult, dans l'étude du Haut Bassin, et Sogreah lors de l'établissement du modèle de type Muskingum entre Manantali et Bakel) n'ont pas été couronnées de succès. Il n'est pas exclu, dans un stade ultérieur, qu'un tel modèle s'avère utile, mais il faudra bien définir le réseau pluviométrique et de nombreuses années seront nécessaires avant de pouvoir vraiment préciser les transformations pluie-débit permettant une prévision des débits principaux et des apports intermédiaires.

Il convient donc :

- D'étendre vers l'amont le modèle Muskingum Manantali - Bakel, afin de prévoir les débits avec une avance supérieure à celle obtenue actuellement (3, 5 jours, environ).
- D'aller au-delà de Bakel dans la Vallée, afin de donner aux Autorités intéressées des indications précises sur les débits et niveaux qui seront atteints.

La formulation du modèle Muskingum est assez souple pour conduire à un modèle de prévision léger pouvant être utilisé rapidement sur un ordinateur de faible capacité, et cependant assez précise, car elle constitue une bonne approximation des équations hydrodynamiques complètes. Mais elle sous-entend un certain nombre de problèmes liés aux aménagements. Si les barrages, et plus particulièrement celui de Manantali, qui contrôle le Bafing, peuvent être intégrés dans le modèle sans difficultés majeures, il n'en sera pas de même des aménagements hydro-agricoles projetés dans la vallée.

Un modèle type Muskingum ne peut, de par sa structure même, prendre en compte les modifications apportées aux écoulements par de nouveaux aménagements. Il est, en effet, réglé sur des observations du passé et ne peut que simuler ce qui se produirait dans des conditions analogues. Si l'on veut l'adapter à la situation nouvelle créée par une modification des aménagements, il faut qu'un autre outil lui fournisse les nouvelles données de réglage.

C'est ici que le modèle hydrodynamique de propagation de crue intervient, car lui est capable de prendre en compte les modifications apportées par les aménagements et donc de donner les conditions futures d'écoulement. Différents stades de développement des aménagements agricoles seront simulés sur le modèle hydrodynamique pour analyser leurs conséquences sur les conditions de propagation des débits et plusieurs réglages du modèle Muskingum pourront être réalisés et fourniront les modèles opérationnels de prévision adaptés à chacun de ces stades de développement en prenant en compte l'effet du barrage de Manantali.

### 3.3 CONTENU DE L'ETUDE DE PREVISION ET D'ANNONCE

Les différentes tâches qui seront à réaliser comprendront :

#### 3.3.1 L'analyse des données actuelles afin de définir les stations indispensables à la prévision et celles nécessaires pour le contrôle.

Un outil de prévision des débits en temps réel doit être simple, souple et d'accès facile. Il faut donc éviter de trop alourdir le système par un nombre de stations trop important. Cependant, il est nécessaire de conserver à l'outil sa fiabilité si certaines données sont manquantes, par suite de panne d'un appareil par exemple. Il faudra choisir le nombre de stations nécessaire et suffisant sans trop de redondance cependant. Par ailleurs, les apports intermédiaires entre stations du bassin amont n'étant pas négligeables, il faudra pouvoir les estimer et les stations de contrôle permettront d'effectuer certains recalages comme l'a déjà montré l'étude précédente entre Manantali et Bakel.

L'analyse constitue donc un préliminaire important car elle permet, même si certains changements de stations s'avèrent nécessaires en cours d'étude, de commencer sur de meilleures bases et de limiter les pertes de temps.

#### 3.3.2. Construction et réglage du modèle de prévision des débits :

Régler un modèle de type Muskingum consiste à ajuster pour chaque tronçon les paramètres de la formule de Muskingum c'est-à-dire :

- Le temps de propagation :  $K(Q)$
- Le coefficient d'amortissement :  $X$
- Le coefficient d'apport intermédiaire :  $A$ .

Pour cela on simule sur le modèle un certain nombre de crues du passé en introduisant, aux points amont, les hydrogrammes de crue observés et on détermine la valeur à attribuer aux paramètres pour reproduire au mieux la crue observée en chaque station de mesure intermédiaire jusqu'à l'aval du modèle.

Compte tenu des caractères différents de propagation entre le haut-bassin et la vallée, il s'avère que le passage par un intermédiaire, qui est le modèle hydrodynamique, est indispensable pour la partie aval. La propagation d'une crue dans la vallée dépend d'un certain nombre de paramètres parmi lesquels on peut citer : débit maximal, puissance de la crue, remplissage préalable ou non des parties basses des cuvettes naturelles, surfaces aménagées en cultures contrôlées ... Aussi, il faut parvenir à un système qui intègre ces phénomènes sans pour autant compliquer à l'extrême les équations.

Nous nous proposons alors d'utiliser les calculs déjà faits depuis le début de l'exploitation du modèle hydrodynamique et d'en réaliser un certain nombre d'autres afin de connaître l'évolution des conditions de propagation en fonction de l'aménagement progressif de la vallée. Nous chercherons les différents stades de développement agricole à partir desquels un réglage du modèle Muskingum devra être abandonné au profit d'un autre, et nous construirons plusieurs versions du modèle de prévision adaptées à chacun des stades successifs de développement.

### 3.3.3. La mise à disposition des modèles à l'OMVS.

Les choix des différents matériels seront faits ou confirmés en cours d'étude. Les programmes seront alors écrits en langage compatible avec l'ordinateur retenu.

Les programmes seront donc livrés avec leurs notices d'utilisation.

### 3.3.4. Système de diffusion des annonces.

La diffusion de la prévision et éventuellement des consignes d'exploitation pourrait se faire par l'intermédiaire du réseau de l'ASECNA. Il est difficile, à l'heure actuelle, de cerner exactement le nombre et la localisation des prévisions à diffuser. Au cours de l'étude nous serons donc amenés à revoir les Etats avec l'OMVS afin de préciser :

- Les centres intéressés,
- Les périodes pendant lesquelles la prévision est indispensable,
- Les moyens de transmission.

Afin de ne pas alourdir le système, on peut penser effectuer la prévision en un nombre limité d'organismes des Etats qui auront, eux, la charge de rediffuser les informations aux autres échelons.

CHAPITRE - 4 -

*ACQUISITION DES DONNEES HYDROLOGIQUES*

4.1. ETAT ACTUEL

Il n'existe pas actuellement, dans le bassin du Sénégal, de réseau hydrométrique spécialisé dans la prévision des débits. Le réseau classique est exploité par les services nationaux du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal.

Pour le premier, la brigade de Kayes et pour une moindre part celle de Bamako exploitent les stations suivantes :

- BAOULE à P. BAOULE
- " à MISSIRA
- " à SIRAMAKANA
- BAKOYE à DIANGOLA
- " à TOUKOTO
- BAFING à DAKA SEIDOU
- " à MAKANA
- " à SOUKOUTALI
- " à DIBIA
- " à MAHINA
- FALEME à MOUSSALA
- " à FADOUYOU
- " à GOURBASSI
- " à KABATE
- KARAKORO à BOKEDIANBI
- SENEGAL à GALOUGO
- " à GOUINA
- " à FELOU
- " à KAYES
- " à AMBIDEDI.

Le Service hydrologique de Mauritanie sur programme PNUD sous-traité à l'ORSTOM a remis en place les stations du Sénégal à Boghe et les stations des Gorgols, en particulier Foun Gleita.

La gestion du réseau hydrométrique sénégalais a été assurée jusqu'en juillet 1978 par l'ORSTOM.

La relève doit être assurée par la brigade hydrologique de Saint-Louis. Placée sous la direction d'un représentant de la Direction générale de l'Hydraulique (Ministère de l'Équipement), cette brigade comporte 4 hydrométristes plus un certain nombre d'employés de bureau et de chauffeurs. Elle est assez bien équipée en matériel de mesure et de navigation. Ses crédits de fonctionnement ne permettent pas encore à l'heure actuelle d'assurer le contrôle des stations du fleuve même si l'état du parc automobile s'est amélioré ces derniers temps. Il semblerait que la personnalité du représentant de la Direction de l'Hydraulique qui supervise la brigade de Saint-Louis affecte la bonne marche de ce dernier service. C'est l'ORSTOM qui, jusqu'à présent, s'est chargé de la surveillance des lecteurs et du changement des bandes-diagrammes des enregistreurs. Les dernières mesures de débits effectués par cette brigade l'ont été en collaboration avec les agents de l'ORSTOM en 1978 à Bakel et à Dagana.

Les lecteurs sont de qualité plus ou moins inégale.

La station clé de Bakel est lue par un observateur très sérieux. Il faut citer aussi Matam, Salde, Ngoui. Les enregistreurs pallient certaines carences, en particulier à Kidira.

Le réseau hydrométrique sénégalais comporte actuellement 18 stations de contrôle dont 7 sont équipées d'enregistreurs :

- SENEGAL à KOUNGANI (enregistreur)
- " à BAKEL
- " à MATAM
- " à KAEDI
- " à SALDE
- " à DIOUDE-DIABE
- " à PODOR (ancienne échelle)
- " à PODOR (limnigraphe)
- " à DAGANA
- " à KEUR MOUR (enregistreur moyennes et hautes eaux)
- " à RICHARD-TOLL (enregistreur)
- " à ROSSO
- " à SAINT-LOUIS (enregistreur)
- FALEME à KIDINA (enregistreur)
- DOUE à NGOUI
- " à GUEDE-CHANTIERS
- TAOUE à RICHARD-TOLL
- Lac de GUIERS à SANENTE (enregistreur).

#### 4.2. DEFINITION CONCERNANT LES SYSTEMES DE PREVISION

L'acquisition des données hydrologiques pour la prévision comporte, en fait, deux volets :

- la production de la donnée qui est le fait des capteurs (en l'occurrence des limnigraphes) et qui se traduit par la disposition de la donnée sur un support local (graphique d'enregistrement, bande perforée, bande magnétique, carnet d'observateur) destiné à être transmis "en différé" au centre de traitement,
- la transmission de la donnée en temps dit "réel", c'est-à-dire, en fait, dans un délai compatible avec la production de la prévision, sa diffusion et les mesures de tous ordres qui peuvent en découler (par exemple application d'un plan de protection civil en cas de crue dommageante).

On a signalé dans ce rapport que ce délai pouvait être de l'ordre d'une semaine en l'absence d'aménagement de stockage dans le bassin, et de l'ordre de la journée en cas d'aménagements si on veut vraiment tirer partie de ceux-ci.

L'objet de ce qui suit est d'examiner quelles sont les solutions envisageables et ce qu'elles permettent d'espérer notamment du point de vue de l'intégration du système. On dira qu'un système ou dispositif est intégré lorsqu'il comporte un degré de centralisation suffisant pour permettre une prévision efficace en regard des objectifs fixés. Au degré le plus élevé se situe le système complètement intégré et automatisé. Un tel système se composerait d'un centre de prévision

- disposant de la totalité du personnel, y compris les brigades hydrologiques,
- gérant totalement le réseau,
- collectant et traitant les données,
- diffusant les prévisions.

Il s'appuierait sur une chaîne entièrement automatique de transmission des données, qui pourrait aller jusqu'à une injection directe de ces données dans un modèle mathématique de prévision.

Une telle solution est techniquement possible avec un degré de fiabilité élevé. Elle est peut-être économique.

Au bas des gradins, on retrouve sensiblement la situation actuelle. Dans les sous-chapitres 4.3 et 4.4, on examinera les solutions du point de vue de la seule acquisition des données, tandis que dans le chapitre 5 on envisagera les possibilités concernant le mode de transmission et ses incidences éventuelles sur le traitement et la production de la prévision. On définira ainsi un ensemble de sous-systèmes qui seront chiffrés (détails en annexe) et permettront ainsi de dégager différentes solutions techniques assorties de leur coût et d'un commentaire sur leurs possibilités. Les éléments des coûts sont résumés dans le tableau 1.

#### 4.3. MAINTIEN DU DISPOSITIF ACTUEL

Nous rappelons qu'il s'agit, pour la production des données, de brigades hydrologiques dépendant uniquement, aussi bien du point de vue administratif que du point de vue opérationnel, de leurs services nationaux respectifs. L'échange des données se fait entre services nationaux et direction de l'OMVS.

Le degré d'intégration est nul et il n'y a pas à proprement parler élaboration de prévision.

Dans l'état actuel des besoins et en l'absence de toute régularisation, on pourrait peut-être se contenter d'un tel dispositif, à ceci près que la production elle-même des données n'est pas très brillante, malgré une certaine assistance technique au niveau des services nationaux.

Un pas supplémentaire pourrait être fait, sans toucher fondamentalement au système actuel, en organisant une coordination "opérationnelle", et non administrative, au niveau du terrain (entre brigades). Cela pourrait faire l'objet d'une assistance technique spéciale, assortie ou non d'une dotation en matériel.

#### 4.4. AMELIORATION DU DISPOSITIF

Elle comporte plusieurs points. Pour s'en tenir à l'objet de ce chapitre, une nouvelle forme de structure peut être trouvée, l'aide extérieure peut permettre d'améliorer l'encadrement et de parfaire la formation des personnels de différents niveaux. Enfin, des compléments en matériel peuvent être apportés. A chacun de ces volets correspond des unités de coopération qui, comme on l'a vu, ont fait l'objet d'estimations résumées au tableau I.

Le premier pas dans l'intégration du système souhaitée par la requête de l'OMVS devrait consister à regrouper l'action de production et de collecte des données sous une autorité responsable devant l'OMVS ; il pourrait s'agir d'un simple regroupement opérationnel, la responsabilité administrative des personnels restant aux services nationaux ; c'est une question à débattre entre les pas concernés.

Cette restructuration pourrait être facilitée par une aide technique qui aurait également pour objet la mise en place du dispositif de prévision, et notamment celle du système de transmission et de traitement.

Une telle assistance pourrait être mise en place dans le cadre d'un "Projet de prévision des apports du fleuve Sénégal". Elle aurait également pour mission d'assurer l'encadrement des brigades et l'entraînement des personnels de maîtrise et d'exécution, les cadres supérieurs recevant par ailleurs des compléments de formation.

Pendant la phase initiale, qu'on pourrait appeler la "phase projet", et dont on pourrait fixer la durée à deux ans, l'assistance serait importante, faisant intervenir des experts de divers niveaux et comportant des dotations en matériel ; un renforcement des effectifs locaux, dont une partie serait à la charge du projet, permettrait une mise en place plus rapide du système.

Suivrait une période de "confortation" avec un effectif d'assistance beaucoup plus léger d'une durée d'environ deux ans au bout desquels on pourrait essayer d'adopter un régime de croisière entièrement basé sur des effectifs locaux avec peut-être une assistance technique sous la forme habituelle.

#### 4.5. DESCRIPTION DU DISPOSITIF AMELIORE ET CONSISTANCE DE L'ASSISTANCE TECHNIQUE

##### 4.5.1. Réseau de prévision.

Les premiers essais de modélisation effectués par la SOGREAH montrent que le réseau nécessaire et suffisant pour assurer la prévision devra comporter les stations suivantes :

4.5.1.1. Haut bassin : on entend par là le bassin du Sénégal à l'amont de ce qu'il est coutumier d'appeler "la vallée", c'est-à-dire pratiquement en amont du confluent de la Falémé et du Sénégal.

##### *4.5.1.1.1. Sur le Baoulé :*

- Boucle du Baoulé : nouvelle station à installer le long de la piste.  
Emplacement à choisir - elle n'est possible qu'entièrement automatique : l'accessibilité est acceptable mais la région est déserte.
- Baoulé à Siramakana : étalonnée par 45 jaugeages de 0,37 à 470 m<sup>3</sup>/s.  
Accès aisé : train à Toukoto + 20 km de piste.

##### *4.5.1.1.2. Sur le Bakoye :*

- Bakoye à Diangola : non étalonnée.  
Accès moyen : train à Kita + 20 km de piste.
- Bakoye à Toukoto : (pont du Dakar-Niger) - étalonnée par 52 jaugeages de 0,7 à 768 m<sup>3</sup>/s.  
Accès facile : train à Toukoto.
- Bakoye à Walia : étalonnée par 72 jaugeages de 0,8 à 1 700 m<sup>3</sup>/s.  
Accès facile par le train.

##### *4.5.1.1.3. Sur le Bafing :*

- Bafing à Daka-Saïdou : étalonnage par 47 jaugeages de 8,9 à 2 120 m<sup>3</sup>/s.  
Accès difficile : route depuis Kayes par Keniéba.
- Bafing à Soukoutali : (barrage de Manantali) - étalonnée par 30 jaugeages de 18,2 à 1 350 m<sup>3</sup>/s.  
Accès facile : train à Mahina + 80 km de bonne route.
- Bafing à Dibia : étalonnée par 62 jaugeages de 17 à 3 040 m<sup>3</sup>/s.  
Accès moyen : train à Mahina + 80 km de piste.



4.5.1.1.4. *Sur le Sénégal :*

- Sénégal à Kayes : étalonnée par 25 jaugeages de 9,5 à 4 220 m<sup>3</sup>/s (étalonnage à reprendre).  
Accès : siège des brigades du Haut-bassin.

4.5.1.1.5. *Sur la Falémé :*

- Falémé à Fadougou : étalonnée par 174 jaugeages de 0,98 à 1 175 m<sup>3</sup>/s.  
Accès difficile : piste depuis Kayes par Keniéba.
- Falémé à Gourbassi : étalonnée par 136 jaugeages de 0,34 à 1 300 m<sup>3</sup>/s.  
Accès moyen : piste depuis Kayes.
- Falémé à Kidira : étalonnée par 73 jaugeages de 2,2 à 2 085 m<sup>3</sup>/s. Cet étalonnage serait à revoir.  
Accès facile par le train à partir de Kayes.

Donc, pour le Haut-bassin, la plupart des stations sélectionnées existent déjà. Seule, celle de la boucle du Baoulé devrait être créée. Elles sont toutes situées au Mali, sauf celle de Kidira, et pourraient toutes être exploitées à partir de Kayes (même Kidira) sauf celle de la boucle du Baoulé qui serait en charge de la brigade hydrologique de Bamako.

4.5.1.2. Vallée du Sénégal : on peut considérer qu'à partir du confluent Sénégal-Falémé, la loi hauteur-débit pour un point du fleuve ne peut plus être considérée comme univoque.

- Sénégal à Bakel : c'est la station-clé de la vallée. Elle est étalonnée actuellement à partir de 154 jaugeages effectués pour des débits compris entre 0 et 6 440 m<sup>3</sup>/s. Il faudra malgré cela continuer l'effort de mesure, compte tenu de l'importance de la station pour les prévisions dans la basse vallée et du caractère non univoque de la loi hauteur-débit.
- Sénégal à Matam ou Sénégal à Kaédi : ces deux stations ont toutes deux une loi hauteur-débit non univoque.  
A Matam, le lit mineur est assez bien étalonné au moyen de 84 jaugeages pour des débits variant de 0 à 3 750 m<sup>3</sup>/s. Par contre, le tarage du lit majeur pose des problèmes délicats : des courbes d'étalonnage provisoires ont cependant été établies.  
La station de Kaédi a été étalonnée uniquement pour le lit mineur au moyen de 47 jaugeages pour des débits compris entre 3 et 2 500 m<sup>3</sup>/s. Elle est d'accès malaisé alors que Matam est facilement accessible en saison de hautes eaux.

Il apparaît donc que cette dernière station soit à retenir.

- Sénégal à Dagana : la loi hauteur-débit est bien entendue non univoque ; un étalonnage au moins provisoire peut être déduit des 82 jaugeages effectués à ce jour pour des débits compris entre 375 et 3 540 m<sup>3</sup>/s.

Il faudra sans doute ajouter une station sur le Sénégal à Diama.

4.5.2. Organisation, tâches et personnel.

4.5.2.1. Organisation d'ensemble de la partie hydrologie-transmission.

La partie "terrain-installation-suivi hydrologique et opération" devrait comporter, pendant la phase "projet" dont la durée peut être évaluée à deux ans :

- 1 superviseur non résident à temps partiel agissant notamment comme conseil auprès de l'OMVS.  
Il serait assisté d'un ingénieur à temps partiel pour les problèmes concernant le matériel et sa mise en place (ingénieur non résident).
- 1 responsable résident à temps partiel (ingénieur résident).
- 1 technicien hydrologue expatrié à temps partiel dirigeant la section de Kayes composée de :
  - . 2 brigades hydrologiques
  - . 1 secrétaire
  - . 2 manoeuvres permanents.
- 1 technicien hydrologue expatrié à temps partiel coordonnant les opérations de terrain et dirigeant la section de Saint-Louis composée de :
  - . 1 brigade hydrologique + 1 brigade en formation
  - . 1 secrétaire
  - . 2 manoeuvres permanents.
- 1 électronicien expatrié dans le cas d'une solution comportant la télé-transmission.

4.5.2.2. Section de Kayes : elle doit comporter deux brigades, compte tenu de l'étendue du réseau à contrôler et surtout du fait qu'une des brigades sera appelée à être bloquée pendant un temps assez long (1 ou 2 mois) à telle station difficile d'accès. On rappelle que la station de la boucle du Baoulé pourrait être surveillée et étalonnée par la brigade malienne de Bamako.

Une des brigade de Kayes pourrait être la brigade actuelle du Service hydrologique du Mali mise à disposition du projet. Les traitements du personnel correspondant pourraient continuer à être assurés par le gouvernement malien.

La formation et le financement d'une seconde brigade pourraient être assurés par le projet qui prendrait en charge également la totalité du fonctionnement des brigades.

La tâche de la section de Kayes peut se résumer ainsi :

- implanter puis surveiller et assurer l'entretien courant du dispositif de mesure et de transmission, éventuellement en faisant appel au concours de l'électronicien ;
- effectuer des jaugeages de contrôle avec le maximum de précision, à toutes les stations du réseau. Etalonner les stations nouvelles ou non encore étalonnées et compléter l'étalonnage des autres ;
- faire systématiquement, à toutes les stations, un profil en travers au droit de la section de jaugeage choisie pour les hautes eaux. Les cotes verticales de ce profil seront rapportées au zéro de l'échelle et son emprise devra dépasser largement la cote la plus haute connue. Il devra comporter des indications précises sur la nature du lit et sa variation suivant la largeur (état et nature du sol, végétation, etc.). Ces opérations sont destinées à assurer l'extrapolation des courbes d'étalonnage dans de bonnes conditions ;
- archiver, transmettre et faire le dépouillement primaire des mesures et des observations ;
- établir chaque année les courbes d'étalonnage en basses eaux aux stations.

4.5.2.3. Section de Saint-Louis : à part le rôle de coordinateur du chef de section, ses tâches sont analogues à celles de la section de Kayes. La brigade hydrologique pourrait être la brigade actuelle du service hydrologique national que la Direction de l'Hydraulique mettrait à disposition de l'OMVS pour la durée du projet. On pourrait profiter du projet pour former une brigade supplémentaire.

4.5.2.4. Composition d'une brigade : une brigade se compose de :

- 1 hydrométriste chef de brigade
- 1 aide hydrométriste
- 1 chauffeur.

4.5.2.5. Observateurs : le projet devrait prendre en charge les observateurs et les gardiens de stations pendant la durée du projet.

#### 4.5.3. Evaluation des coûts.

Les frais incombant au projet pour les différents postes sont donnés par les rubriques PCH1, PCH2, PEHP du tableau I. Il faut y ajouter les rubriques FCH1 et FCH2 pour le fonctionnement des brigades et du personnel expatrié.

#### 4.6. DOTATION EN MATERIEL

Elle sera fonction de l'équipement actuel. On peut admettre a priori que le projet approvisionnerait le matériel relatif à l'équipement de 2 brigades.

##### 4.6.1. Equipement des brigades hydrométriques (en deux exemplaires).

###### 4.6.1.1. Matériel de jaugeage :

- un lot de matériel pour jaugeage au saumon
- un lot de matériel pour jaugeage à la perche
- un cercle hydrographique
- un canot pneumatique (Mark 2 pour Kayes, Mark 3 pour Saint-Louis)
- un moteur hors bord de 25 CV
- accessoires divers.

###### 4.6.1.2. Matériel de tournée :

- 1 lot de campement pour 3 personnes,
- matériel divers (tire-fort, plaques d'envol, pelles, barres à mine, etc.).

##### 4.6.2. Equipement complémentaire des sections (2 exemplaires).

- matériel de bureau
- matériel de tournée
- matériel de secours et divers.

##### 4.6.3. Equipement des stations (15 exemplaires).

Chaque station limnimétrique comportera :

- 1 échelle de contrôle
- 1 capteur - limnigraphe pneumatique
- 1 abri.

En réalité, les échelles de contrôle existent pour presque toutes les stations. Il s'agira d'une remise en état et d'un entretien pour lesquels on peut prévoir 150 éléments de 1 m répartis de 1 à 10 m.

##### 4.6.4. Evaluation des coûts.

Les charges incombant au projet sont fournies par les rubriques MHYP, MNS1, MNS2, TRAL du tableau I.

TABLEAU I

ELEMENTS D'EVALUATION  
(Coûts 1979)

Code	Définition	Montant
PCH1	Personnel pour le contrôle hydrologique - phase projet - 1ère année -	375 600
PCH2	Personnel pour le contrôle hydrologique - phase projet 2ème année -	262 400
PEHP	Personnel d'exécution hydrologie - phase projet (par an)	94 000
MBLU	Matériel de télétransmission au sol	1 020 000
MTSE	Matériel de télétransmission par satellite (émission)	502 500
MTSR	Matériel de télétransmission par satellite (réception)	552 350
SYST	Mise au point et transfert du système de prévision (par an)	700 000
FCH1	Frais de fonctionnement du contrôle et de l'exécution hydrologie - phase projet - 1ère année -	185 000
FCH2	Frais de fonctionnement du contrôle et de l'exécution hydrologie - phase projet - 2ème année -	244 000
MNS1	Matériel non spécialisé à acquérir la première année	89 000
MNS2	Matériel non spécialisé à acquérir la deuxième année	90 000
TRAL	Travaux d'installation ou de rénovation des stations limnigraphiques	30 000
PCHC	Personnel d'assistance en phase de confortation (par an)	76 500
FCHC	Frais de fonctionnement de l'assistance en phase de confortation (par an)	17 330
PCHR	Personnel d'assistance en croisière (par an)	19 300
FCHR	Frais de fonctionnement de l'assistance en croisière (par an)	4 000
FEHR	Frais de fonctionnement du système en phase de confortation ou en croisière (par an)	154 000
MHYR	Renouvellement du matériel hydro (par an)	33 000
RBLU	Renouvellement du matériel BLU (par an)	75 500
RTSE	Renouvellement du matériel satellite émission (par an)	22 500
RTSE	Renouvellement du matériel satellite réception (par an)	25 000
MNSR	Renouvellement du matériel non spécialisé (par an)	30 000

CHAPITRE - 5 -

*TRANSMISSION ET TRAITEMENT DES DONNEES*

5.1. TRANSMISSION EXTERIEURE AU SYSTEME

On désigne ainsi tout mode de transmission utilisant les moyens mis normalement à disposition du public ou de l'administration générale. Ce sont essentiellement la poste (courrier), le téléphone public, les télécommunications de l'administration. C'est certainement le moyen le moins onéreux mais il peut être très lent et sa fiabilité dépend de nombreux paramètres généralement peu favorables dans les pays en voie de développement. S'il pourrait à la rigueur convenir lorsque l'aménagement est peu développé (pas de réservoirs), il semble exclu dès qu'on doit faire une véritable gestion.

Les principaux inconvénients sont :

- l'absence de réseau public de téléphone dès qu'on se trouve en dehors des centres urbains ou villageois importants ;
- la lenteur et l'incertitude du courrier ;
- l'encombrement lors d'événement hydrologiques majeurs, lorsqu'on aurait le plus besoin de prévisions.

5.2. TELETRANSMISSION AU SOL

C'est une amélioration du système téléphonique public. Il existe actuellement des dispositifs suffisamment fiables pour assurer un service de prévision. Si on laisse de côté les transmissions par fil qui semblent totalement hors de question pour le bassin du Sénégal, le principal inconvénient de ces dispositifs est le passage obligatoire par la phonie et l'impossibilité d'automatiser le réseau. Si on peut en effet techniquement construire un réseau de radio-transmission de données entièrement automatique, on est rapidement arrêté par le prix. La fiabilité des transmissions, qui de toute manière reste assez faible, exige en effet d'émettre en UHF, ce qui oblige à installer de nombreux relais qui coûtent fort cher.

Par ailleurs, le système en phonie, non automatique, est lourd, obligeant à assurer des vacations avec un personnel beaucoup plus qualifié qu'un simple gardien ou observateur. L'ensemble d'une station d'émission-réception coûte cher et si l'on veut un réseau d'information homogène, on est obligé d'en installer à chaque station de mesure, avec le personnel chargé de l'utiliser.

Pour les 15 stations limnigraphiques du bassin du Sénégal, en comptant en supplément un émetteur-récepteur à Bamako et un à Saint-Louis nécessaires pour la coordination et la centralisation des données, il faudrait (système BLU)

- 6 postes E/R Thomson TRC 493 de 400 W (dont 3 sur secteur et 3 en alimentation autonome)
- 11 postes E/R TRC 492 de 70 W.

Le détail de calcul présenté en annexe sous le code MBLU fait ressortir, frais d'infrastructure compris, un coût total de 1 020 000 F.

Parmi les inconvénients du système, on peut citer :

- nécessité d'établir des vacations,
- difficultés éventuelles d'obtenir des autorisations d'émission (bandes encombrées),
- système de phonie pouvant être détourné de sa destination (réquisition en cas d'inondation par exemple),
- absence d'automatisme, erreurs de transmissions, délai important dans la mise sur support d'informatique et le traitement, alourdissement du bureau de traitement,
- fiabilité très moyenne,
- frais d'exploitation élevés.

### 5.3. TELETRANSMISSION PAR SATELLITE

Actuellement, deux systèmes sont utilisables pour ce projet :

- système METEOSAT, géostationnaire européen géré par Darmstadt (Agence spatiale européenne),
- système ARGOS, satellite à défilement (orbite polaire) franco-américain géré par Toulouse (Centre national d'études spatiales).

Chaque système présente des avantages et des inconvénients. A priori, il semble que METEOSAT, de par sa qualité de géostationnaire, soit plus apte à remplir une mission de télétransmission, étant en principe disponible à tout moment. En fait, les essais conduits par l'ORSTOM au Sénégal, sous le parrainage de la Direction de la météorologie, ont montré une parfaite fiabilité du système ARGOS, alors que METEOSAT laissait à désirer (il s'agit de l'ensemble du circuit, le satellite n'étant nullement en cause). Par ailleurs :

- les balises pour METEOSAT sont plus chères,
- la station de réception actuellement en service est hors de prix.

Or, le système de télétransmission par satellite ne peut s'intégrer au projet que si celui-ci dispose d'au moins une station de réception.

Le séminaire ORSTOM-CEFIGRE qui s'est déroulé sur ce sujet à Sophia-Antipolis, fin mai 1979, a permis des échanges de vue avec les constructeurs et les agences spatiales. Il semble hors de doute que, pour le moment, ARGOS permette seul de répondre dans de bonnes conditions techniques et économiques au problème de la prévision des apports du Sénégal. Le seul handicap du satellite à défilement (ARGOS) est la limitation de la cadence des mesures : entre 2 et 7 par jour ; mais ces limites, qui pourraient être prohibitives pour de petits bassins à débit rapidement variable, conviennent très bien pour le fleuve Sénégal.

C'est pourquoi nous n'avons chiffré complètement que l'utilisation du système ARGOS.

Pour équiper les 15 stations du réseau de prévision, il convient de les équiper d'autant de balises ARGOS, plus deux balises de rechange pour la maintenance. Chaque limnigraphe doit être équipé d'un codeur et un banc de test servira à régler et vérifier l'ensemble des balises.

La station de réception sera équipée en supplément d'un compilateur FORTRAN qui devrait permettre de traiter directement l'information reçue jusque peut-être à la mise en oeuvre du modèle mathématique et à la production de la prévision. Un banc de test et de simulation accompagne la station.

D'après le détail qui figure en annexe, on obtient :

MTSE, matériel d'émission : 502 500 F

MTSR, matériel de réception : 572 500 F.

CHAPITRE - 6 -

*L'APRES - PROJET*

**6.1. ABOUTISSEMENT DU PROJET**

On a estimé la durée du projet à 2 ans. Il faut entendre par là la période pendant laquelle on effectue les opérations décrites dans les chapitres précédents et qui doivent aboutir au bout de 2 ans à une ou plusieurs ou l'ensemble des réalisations suivantes :

- Service de prévision intégré (brigade et bureau)
  - . produisant des données
  - . les collectant
  - . les traitant
  - . produisant la prévision et éventuellement la diffusant.
- Remise à neuf du réseau limnigraphique.
- Dotation en matériel permettant d'équiper deux brigades hydrométriques en plus des deux des services nationaux.
- Installation d'un réseau de télétransmission au sol (BLU).
- Installation d'un réseau de télétransmission par satellite.

L'organisation du dispositif permanent auquel on devrait aboutir est consignée sur le tableau II.

Pendant toute cette période, dite "phase projet", le projet prendrait à sa charge

- le personnel expatrié,
- le fonctionnement,
- le matériel complémentaire ou nouveau.
- le personnel local de 2 brigades
- les observateurs.

L'OMVS fournirait :

- le reste du personnel local (homologues ingénieurs et techniciens, personnel pour deux brigades, secrétaires de section, etc.)
- les locaux,
- la base existante du réseau hydrométrique.

A l'issue du projet, il sera nécessaire d'accompagner le rodage du dispositif et sa mise en place définitive, d'abord au cours d'une période, dite de confortation, qu'on peut estimer à environ deux ans, puis en croisière pendant une durée qu'il n'est pas possible à ce stade d'évaluer. Il est nécessaire également que les Etats et l'OMVS connaissent les dépenses et les besoins en personnel auxquels ils auront à faire face. Il faut noter qu'une partie de ces obligations sont actuellement remplies par les Etats (financement des brigades nationales, paye des observateurs).

TABLEAU II

*Dispositif permanent après le projet  
(sans l'assistance technique)*

1 - BUREAU CENTRAL

- 1 ingénieur responsable du dispositif
- 1 ingénieur adjoint chargé plus spécialement de la production et de la dissémination des prévisions
- 1 technicien en électronique
- 2 calculateurs-dessinateurs
- 1 secrétaire
- 1 chauffeur
- 1 manoeuvre.

2 - SECTION DE KAYES

- 1 chef de section
- 1 secrétaire
- 2 chefs de brigade
- 2 aides hydrométristes
- 2 chauffeurs
- 2 manoeuvres

3 - SECTION DE SAINT-LOUIS

- 1 chef de brigade
- 1 aide-hydrométriste
- 1 chauffeur
- 1 manoeuvre

4 - RESEAU

- 15 observateurs

SUPPLEMENT POUR SYSTEME BLU :

- 16 techniciens pour vacation
- 2 employés pour mise sur support d'informatique.



6.2. PHASE DE CONFORTATION (par an)

6.2.1. A la charge du projet :

- une assistance technique allégée détaillée en annexe sous la rubrique PCHC pour la prise en charge du personnel et FCHC pour les voyages et frais de fonctionnement.

6.2.2. A la charge directe du Projet (par an) :

- 4 mois d'assistant technique de coopération.

6.2.3. A la charge de l'OMVS (par an) :

- |   |              |
|---|--------------|
| - la solde du personnel défini au tableau II          | pour mémoire |
| - les frais de fonctionnement FEHR                    | 154 000 F    |
| - le renouvellement du matériel hydro MHYR            | 33 000 F     |
| - renouvellement du matériel BLU.RBLU                 | 75 500 F     |
| - renouvellement du matériel satellite émission RTSE  | 22 500 F     |
| - renouvellement du matériel satellite réception RTSR | 25 000 F     |
| - renouvellement du matériel non spécialisé MNSR      | 30 000 F     |

6.3. REGIME DE CROISIERE

6.3.1. A la charge de la coopération :

- |   |              |
|---|--------------|
| - personnel extérieur d'assistance en phase de croisière PCHR | 19 300 F     |
| et son fonctionnement FCHR (détail en annexe)                 | 4 000 F      |
| - 6 mois d'assistant technique                                | pour mémoire |

6.3.2. A la charge de l'OMVS :

- la même chose qu'en 6.2.3.

- CHAPITRE - 7 -  
-----

CONDUITE GENERALE DE L'OPERATION ET FORMATION DU PERSONNEL

Le projet ne sera profitable pour les états membres de l'OMVS que si l'on forme, pendant la durée du projet, les personnels africains de différents niveaux pour assurer par la suite le fonctionnement du dispositif. Nous avons proposé un délai de 2 ans ; du point de vue formation, il ne sera peut-être pas suffisant à tous les niveaux. Il conviendrait, au terme de cette phase, de faire une évaluation des acquis et de prévoir éventuellement une prolongation du soutien technique dans les domaines qui laisseraient à désirer.

Tout au cours de l'exécution du projet, il sera nécessaire d'organiser des réunions (périodiques ou à la demande) entre les membres de l'OMVS ou leurs représentants et les responsables de l'exécution du projet, dans le but de :

- réaliser pleinement les besoins des utilisateurs ;
- informer l'OMVS de l'avancement des travaux, des techniques, de leurs possibilités et de leur mise en oeuvre ;
- se concerter sur la formation aux différents niveaux.

La technologie proposée est relativement nouvelle. Même à la base (personnel d'exécution, brigades hydrologiques), elle demande une réadaptation ; la meilleure méthode nous semble être la formation sur le tas par incorporation au projet des brigades hydrologiques existant au sein des services nationaux. Pour que l'action de ces brigades soit efficace et qu'elle bénéficie au maximum de leur période de formation, il est nécessaire qu'elle soit sous la dépendance "opérationnelle" effective des responsables de l'exécution du projet, tout en conservant leurs attaches administratives avec les services nationaux.

Au niveau des techniciens supérieurs (chefs de section), il faudrait que soient associés à chaque chef de section un ou plusieurs homologues proposés par les pays membres. Ces techniciens supérieurs pourraient, en plus de l'expérience acquise dans le cadre du projet, bénéficier de stages à l'étranger dans des organismes spécialisés.

Le personnel qui sera chargé de la prévision et de l'annonce devra acquérir les connaissances nécessaires pour exploiter le système. Le personnel compétent devra être affecté au projet pendant l'étude et nous proposons qu'en complément à la formation prévue pour le personnel de terrain, il soit prévu, au cours des séminaires envisagés, un volet initiation aux méthodes de prévision des débits et aux programmes correspondants.

Le personnel devra avoir une formation préalable en informatique.

Une fois l'étude achevée et les différents matériels installés, les modèles seront transférés et leur utilisation expliquée au cours de séances d'applications faisant référence à l'état du moment des débits et à des états types qui auront été préparés.

Pour les cadres supérieurs, notamment pour le futur gestionnaire du système de prévision, une formation spéciale devrait être assurée aussi bien dans le cadre du projet qu'à l'étranger.

CHAPITRE - 8 -

EVALUATION DE QUELQUES SCENARIOS

A partir des éléments décrits dans les chapitres précédents, on peut envisager plusieurs scénarios, suivant le degré d'intégration et d'automaticité auquel on veut aboutir, compte tenu des implications financières. Toutefois, tous ces scénarios ne conviennent pas à tous les objectifs. On a signalé par exemple qu'un système de transmission extérieur (téléphone public, courrier postal, radio administrative) ne saurait convenir pour la mise en oeuvre d'un modèle mathématique de prévision. Il faudrait alors établir des règles de calcul simple, se contenter de prévisions très approximatives et ... ne pas être pressé. Un tel système paraît notamment presque exclu pour la gestion d'ouvrages.

8.1. SCENARIO ZERO -

Etat actuel intégral, pas de prévision.

Coût nul pour le projet. Coût de croisière assuré par les services nationaux, nul pour OMVS.

8.2. SCENARIO 1 -

Etat actuel amélioré par une assistance technique et une dotation en matériel.

Réseau de transmission extérieure.

Pas de modèle mathématique mais quelques règles simples.

Coût du projet :

1ère année PCH1 sans électronicien	335 600
sous total 1	335 600
FCH1	185 000
PEHP	94 000
MHYP	552 350
MNS1	89 000
TRAL	30 000
	-----
Frais généraux 10 %	950 350
	95 035
sous-total 2	-----
TOTAL :	1 045 385
	=====
2ème année PCH2	262 400
sous-total 1	262 400
FCH2	244 000
PEHP	94 000
MNS2	99 000
	-----
Frais généraux 10 %	437 000
	43 700
sous-total 2	-----
TOTAL :	480 700
	=====
	743 100
	=====

Charges récurrentes :

Par année de confortation (compter 2 années)

- à charge OMVS :	FEHR	154 000
	MHYR	33 000
	MNSR	30 000

-----  
217 000

+ paye du personnel.

- à charge du Projet

PCHC	76 500
------	--------

sous-total 1	76 500
--------------	--------

FCHC	17 330
------	--------

Frais généraux 10 %	1 733
---------------------	-------

-----

sous-total 2	19 063
--------------	--------

TOTAL :	95 563
---------	--------

=====

+ 4 mois d'assistant technique

Année de croisière :

- à charge OMVS :	217 000
-------------------	---------

+ paye du personnel.

- à charge du Projet

PCHR	19 300
------	--------

sous-total 1	19 300
--------------	--------

FCHR	4 000
------	-------

Frais généraux 10 %	400
---------------------	-----

-----

sous-total 2	4 400
--------------	-------

TOTAL :	23 700
---------	--------

=====

+ 6 mois d'assistant de Coopération.

8.3. SCENARIO 2 -

Amélioration de la production des données par une assistance technique et une dotation en matériel.

Réseau de télétransmission au sol, en phonie (BLU).

Modèle mathématique de prévision (SYST).

Coût du projet :

1ère année

PCH1	375 000
------	---------

SYST	700 000
------	---------

-----

sous-total 1	1 075 600
--------------	-----------

1ère année	report sous-total 1	1 075 600
	PEHP	94 000
	MBLU	1 020 000
	MHYP	552 350
	FCH1	185 000
	MNS1	89 000
	TRAL	30 000
		-----
	Frais généraux 10 %	1 970 350
		197 035
		-----
	sous-total 2	2 167 385
	TOTAL :	3 242 985
		=====
2ème année	PCH2	262 400
	SYST	700 000
		-----
	sous-total 1	962 400
	PEHP	94 000
	FCH2	244 000
	MNS2	90 000
		-----
	Frais généraux 10 %	428 000
		42 800
		-----
	sous-total 2	470 800
	TOTAL :	1 433 200
		=====

Charges récurrentes :

Par année de confortation (compter 2 années)

- à charge OMVS	FEHR	154 000
	MHYR	33 000
	MNSR	30 000
	RBLU	75 500
		-----
		292 500

+ paye du personnel.

- à charge du Projet	95 563
+ 4 mois d'assistant Technique	

Par année de croisière

- à charge OMVS :	292 500
+ paye du personnel.	
- à charge du Projet	23 700
+ 6 mois d'assistant Technique	

8.4. SCENARIO 3 -

Amélioration de la production des données par une assistance technique et une dotation en matériel.

Réseau de télétransmission par satellite.  
Modèle mathématique de prévision (SYST).

Coût du projet :

1ère année	PCH1	375 600
	SYST	700 000
	sous-total 1	1 075 600
	PEHP	94 000
	MTSE	502 500
	MHYP	552 350
	FCH1	185 000
	MNS1	89 000
	TRAL	30 000
	Frais généraux 10 %	1 452 850
	sous-total 2	1 598 135
	TOTAL :	2 673 735
		=====
2ème année	PCH2	262 400
	SYST	700 000
	sous-total 1	962 400
	PEHP	94 000
	MTSR	572 500
	FCH2	244 000
	MNS2	90 000
	Frais généraux 10 %	1 000 500
	sous-total 2	1 100 550
	TOTAL	2 062 950
		=====

Charges récurrentes :

Par année de confortation (compter 2 années)

- à charge OMVS	FEHR	154 000
	MHYR	33 000
	MNSR	30 000
	RTSE	22 500
	RTSR	25 000
		264 500
	+ paye du personnel.	
- à charge du Projet		95 563
	+ 4 mois d'assistant technique.	

Par année de croisière

- à charge OMVS 264 500

+ paye du personnel.

- à charge du Projet 23 700

+ 6 mois d'assistant Technique

Ces estimations sont résumées dans le tableau III.

TABLEAU III

Résumé des prix (en francs français)

(Evaluation totale du projet)

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Phase projet (Coopération)	{ 1ère année	1 380 385	3 242 985	2 673 735
	{ 2ème année	743 100	1 433 200	2 062 950
Année de confortation (2 années)	{ Projet (1)	95 563	95 563	95 563
	{ OMVS (2)	217 000	292 500	264 500
Année de croisière	{ Projet (3)	23 700	23 700	23 700
	{ OMVS (2)	217 000	292 500	264 500

(1) plus 4 mois d'assistant Technique

(2) plus paye du personnel

(3) plus 6 mois d'assistant Technique

NOTE : durant la phase du projet, l'OMVS a la charge du personnel de deux brigades hydrologiques.



CHAPITRE - 9 -

---

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS DES EXPERTS

Le projet consiste finalement à mettre en place :

- les moyens d'acquisition des données, de contrôle des barèmes hauteur débit et de maintenance,
- les systèmes de télétransmission et de réception des observations,
- les programmes d'analyse et de traitement conduisant à la prévision,
- le schéma de transmission et de diffusion de l'annonce.

Cela constitue un ensemble homogène qui doit fonctionner avec l'efficacité maximale et correspond à deux alinéas de la requête de l'OMVS au FAC que nous croyons utile de rappeler :

- . "La nécessité de mettre sur pied un système intégré de mesure et d'annonce des crues et des étiages sur le fleuve et ses affluents".
- . "Mise en place d'une structure opérationnelle dotée de moyens techniques et du personnel pour le traitement et la diffusion rapide des données".

Il est donc insisté sur les notions de "système intégré" et de "structure opérationnelle" et, en effet, un système de prévision et d'annonce des débits ne peut vraiment fonctionner efficacement que si l'ensemble forme un tout oeuvrant pour le même but.

Les propositions de structure correspondant à ces impératifs ont été faites au cours du présent rapport.

Quant au choix de la solution technique, elle nous paraît se dégager d'elle-même des chiffres du tableau III et des différents commentaires figurant dans le texte. Il apparaît assez clairement que :

- ou bien on ne fait rien de plus que ce qui existe, et c'est probablement la meilleure attitude en cas de non régularisation du Sénégal,
- ou bien on adopte un système de prévision intégré qui seul peut garantir la meilleure gestion de l'ensemble des aménagements.

Ce dernier système n'est possible qu'avec une transmission des données en temps réel qui ne peut être assurée que par une transmission radio au sol (lourde, pas très fiable, chère d'exploitation et demandant un personnel qualifié abondant) ou un système de transmission par satellite ne présentant aucun de ces inconvénients. Nous ne pouvons que recommander ce dernier système.

Même en cas de non régularisation ou de régularisation partielle temporaire (par exemple Diama construit quelques années avant Manantali) une prévision des crues et des étiages serait intéressante pour la gestion des périmètres.

## ANNEXE 1

### NOTES SUR LES MODELES MATHEMATIQUES.

#### A.1.1. Note sur le modèle hydrodynamique de propagation de crues.

Le modèle hydrodynamique permet le calcul de la propagation des crues du Sénégal entre Gouina et Saint-Louis. Les lits mineur et majeur du Fleuve sont schématisés en un certain nombre de casiers (250 environ) liés entre eux par des lois d'échange de débits de type fluviales ou singulières (seuils).

Une fois le modèle réglé sur des crues naturelles, il permet de calculer les conséquences sur les crues des aménagements futurs (modifications sur les débits et les niveaux). C'est donc un outil précieux en ce sens qu'il donne aux Maîtres d'Ouvrage des renseignements sur les cotes d'endiguement de périmètres et sur des débits de projet (barrage de Diama, par exemple).

Ce n'est cependant pas un modèle d'étiage. Aussi n'est-il pas adapté au problème de la prévision des décrues et des étiages qui les suivent (Précisons qu'au moment de sa construction les données bathymétriques n'étaient pas suffisantes pour permettre la construction d'un modèle de calcul de lignes d'eau d'étiage).

Enfin, ajoutons que s'agissant d'un modèle de propagation de crues du type bidimensionnel, il est nécessaire de disposer d'un ordinateur puissant.

#### A.1.2. Note sur la méthode Muskingum.

##### A.1.2.1 *Formules Muskingum*

La formule Muskingum peut être considérée comme une approximation valable des équations complètes de Saint Venant en négligeant les termes d'inertie. Elle conduit à des modèles simples et rapides utilisés pour la prévision des crues.

Considérons un tronçon de rivière et à l'instant  $t$ ,  $Q_E$  le débit amont,  $Q_S$  le débit sortant à l'aval, et  $W$  le volume accumulé dans le tronçon.

L'équation de continuité s'écrit  $Q_E - Q_S = dW/dt$ .

La méthode Muskingum introduit la relation :

$$W = K [x.Q_E + (1 - x) Q_S]$$

Ces équations exprimées en différences finies entre les temps  $t_1$  et  $t_2$  conduisent à la relation :

$$Q_{S_{t_2}} = C_1 Q_{E_{t_1}} + C_2 Q_{E_{t_2}} + C_3 Q_{S_{t_1}}$$

qui permet de calculer l'hydrogramme sortant du tronçon à partir de l'hydrogramme entrant. Les coefficients  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  sont fonction de 2 paramètres :

- .  $x$  est un coefficient d'amortissement qui doit être choisi de façon que l'amortissement introduit par la méthode numérique corresponde à l'amortissement physique du tronçon.
- .  $K$  est le temps de propagation du débit  $Q$  à travers le tronçon, en général variable en fonction de  $QE$ .

#### A.1.2.2 *Modèle Muskingum.*

Pour simuler la propagation des crues dans une rivière, on découpe celle-ci en un certain nombre de tronçon. Le modèle peut être ramifié pour représenter aussi les principaux affluents.

Le réglage du modèle consiste à déterminer la valeur de  $x$  et  $K$  pour chaque tronçon. Cela est réalisé par la comparaison de la simulation de quelques crues sur le modèle, soit avec les hydrogrammes de crues réellement observés, soit avec les hydrogrammes de crues reconstitués par un modèle hydrodynamique complet lorsque celui-ci existe. Cette seconde procédure est indispensable quand des modifications (endiguements) sont créés dans le lit majeur. L'exploitation du modèle permet de prévoir des crues en tout point du modèle, connaissant les hydrogrammes en amont.

*ANNEXES 2 et 3*

---

*ELEMENTS D'EVALUATION DES COÛTS*

*Les prix sont donnés en francs français et s'entendent pour l'année 1979. Le taux d'augmentation annuel peut être fixé à 10 % dans les conditions économiques actuelles.*

*\* \* \**

PREVISION DES APPORTS DU SENEGAL

Proposition ORSTOM

---

1 - HYDROLOGIE ET TELETRANSMISSION

DETAIL DES ELEMENTS D'EVALUATION POUR  
L'HYDROLOGIE ET LA TELETRANSMISSION

---

PCH1 - *Personnel pour le contrôle hydrologique -*  
*Phase projet - 1ère année*

1. Personnel non résident travaillant au siège		
Expert de haut niveau	1/4 mois	7 500
Ingénieur senior	1/2 mois	10 000
Technicien	1/4 mois	2 500
Employé	1/2 mois	4 500
2. Personnel non résident en mission		
Expert de haut niveau	1/4 mois	10 500
Ingénieur senior	1/2 mois	15 000
3. Personnel expatrié		
Ingénieur senior	1 mois	30 000
Frais de déplacement	20 jours	3 600
Technicien supérieur hydro (2)	10 mois	220 000
Frais de déplacement	200 jours	26 000
Technicien en électronique	2 mois	40 000
Frais de déplacement	50 jours	6 000
		375 600

PCH2 - *Personnel pour le contrôle hydrologique -*  
*Phase projet - 2ème année*

1. Personnel non résident travaillant au siège		
Expert de haut niveau	1/4 mois	7 500
Ingénieur senior	1/4 mois	5 000
2. Personnel non résident en mission		
Expert de haut niveau	1/4 mois	10 500
Ingénieur senior	1/2 mois	15 000
3. Personnel expatrié		
Ingénieur senior	1/3 mois	10 000
Frais de déplacement	10 jours	1 800
Technicien supérieur hydro (2)	8 mois	176 000
Frais de déplacement	100 jours	13 000
Technicien électronique	1 mois	20 000
Frais de déplacement	30 jours	3 600
		262 400

PEHP - *Personnel d'exécution Hydrologie -*  
*Phase projet (par an)*  
*(Personnel local)*

Au compte de l'administration (contrepartie)

Secrétaire de section (2)	24 hommes/mois
Chef de brigade (2)	24 hommes/mois
Aide-hydrométriste (2)	24 hommes/mois
Chauffeur (2)	24 hommes/mois
Manoeuvres permanents (2)	24 hommes/mois

Au compte du projet

Chef de brigade (2)	24 mois	19 200
Aide-hydrométriste (2)	24 mois	14 400
Chauffeur (2)	24 mois	14 400
Manoeuvres permanents (2)	24 mois	9 600
Observateurs (15)	180 mois	14 400
Frais de déplacement pour l'ensemble du personnel		14 000
Main-d'oeuvre occasionnelle		8 000
		<hr/> 94 000

MBLU - *Matériel de télétransmission au sol*  
*(Matériel THOMSON-CSF)*

3 stations de 400 W en alimentation secteur

Par station :

Emetteur/récepteur TRC 493	40 000
Antenne	5 000
Groupe de secours 3 KVA	15 000
Transport, infrastructure et divers	10 000
	<hr/>

Total pour une station	70 000	210 000
------------------------	--------	---------

3 stations de 400 W en alimentation autonome

Il faut ajouter au prix précédent 1 groupe de secours et 5 000 F d'infrastructure, transport et divers, soit	90 000	270 000
---	--------	---------

11 stations de 70 W

Par station

Emetteur/récepteur TRC 492	10 000
Antenne	5 000
Bloc d'alimentation	3 000
Groupe de 0,8 KVA	7 000
Accumulateurs, câbles, transports et divers	5 000
	<hr/>

Total pour une station	30 000	330 000
------------------------	--------	---------

Construction de 15 locaux à 500 000 CFA l'un	150 000
--	---------

Pièces de rechange, outillage et imprévus	<hr/> 60 000
---	--------------

MTSE - Matériel de télétransmission par satellite (émission)

17 balises ARGOS complètement équipées à 20 000 F	340 000
1 banc de test	90 000
15 codeurs à 4 500 F	67 500
Transport	5 000
	<hr/>
	502 500

MTSR - Matériel de télétransmission par satellite (réception)

1 station de réception	350 000
1 compilateur FORTRAN	30 000
1 banc de test et de simulation	68 500
Cartes de circuits imprimés pour entretien (station et émetteurs)	20 000
Matériel d'entretien divers	50 000
Installation et mise en route	48 000
Transport	6 000
	<hr/>
	572 500

MHYP - Matériel hydrométrique à approvisionner pendant le projet

2 lots de matériel pour jaugeage au saumon, à 32 000 F	64 000
2 lots de matériel pour jaugeage à la perche, à 12 000 F	24 000
2 cercles hydrographiques à 4 000 F	8 000
2 moulinets de rechange à 8 000 F	16 000
1 canot pneumatique Mark 2	7 500
1 canot pneumatique Mark 3	11 000
2 moteurs hors bord de 25 CV	14 000
1 niveau avec mire et trépied	12 000
Echelles limnimétriques, 150 éléments de 1 m à 71 F	10 650
Câblerie et matériel divers	10 000
15 limnigraphes NEYRTEC LAG 3 complets avec 2 bouteilles d'air mais sans abri à 20 000 F	300 000
2 groupes motocompresseurs à 200 bars pour recharge des bouteilles à 7 600 F	15 200
Divers pour limnigraphes (papier, pièces de rechange, encre, etc.)	30 000
Transport du matériel en importation directe	30 000
	<hr/>
	552 350

FCH1 - Frais de fonctionnement du contrôle et de  
l'exécution Hydrologie - phase projet 1ère année -

2 voyages AR France-Afrique	10 000
Voyages avion en Afrique	8 000
Amortissement de 2 véhicules tous terrains	50 000
Amortissement de 2 véhicules légers, à 6 mois chacun	15 000
Frais kilométriques pour les tous terrains (carburant, huile, entretien, réparation) 40 000 km à 1,2 F	48 000
Frais kilométriques pour véhicules légers 30 000 km à 0,8 F	24 000
Matière consommable autres qu' huiles et carburants	30 000
	<hr/>
	185 000



FCH2 - *Frais de fonctionnement du contrôle et de l'exécution Hydrologie - phase projet - 2ème année*

2 voyages AR France-Afrique	10 000
Voyages avion en Afrique	6 000
Amortissement de véhicules tous terrains	50 000
Amortissement de 2 véhicules légers	30 000
Frais kilométriques pour les tous terrains 40 000 km à 1,2 F	48 000
Frais kilométriques pour les véhicules légers 50 000 km à 0,8 F	40 000
Matières consommables autres qu'huile et carburants	20 000
Réparations et entretien divers, fournitures diverses	40 000
	<hr/>
	244 000

MNS1 - *Matériel non spécialisé à acquérir la 1ère année*

1 groupe électrogène pour Kayes	3 000
Matériel de campement	16 000
Outillage de brousse (barres à mine, tireforts, plaques d'envol, etc.)	50 000
Outillage divers	20 000
	<hr/>
	89 000

MNS2 - *Matériel non spécialisé à acquérir la 2ème année*

Renouvellement de matériel	20 000
Achat de mobilier de bureau	40 000
Matériel de dactylo, photocopie, machine à calculer, etc.	30 000
	<hr/>
	90 000

TRAL - *Travaux d'installation ou de rénovation des stations limnimétriques  
(y compris l'achat des matériaux et le prix de la main-d'oeuvre)*

15 stations à 2 000 F	30 000
-----------------------	--------

PCHC - *Personnel d'assistance en phase de confortation (par an)*

1. *Personnel non résident en mission (concertation)*

Expert de haut niveau	1/4 mois	10 500
-----------------------	----------	--------

2. *Personnel expatrié*

Ingénieur senior	1/2 mois	15 000
Frais de déplacement	10 jours	1 800
Technicien supérieur hydro	1 mois	22 000
Frais de déplacement	30 jours	3 600
Technicien électronicien	1 mois	20 000
Frais de déplacement	30 jours	3 600
Assistant technique de coopération	4 mois	pour mémoire

FCHC - *Frais de fonctionnement de l'assistance en phase de confortation (par an)*

1 voyage AR France-Afrique	5 000
Voyages avion en Afrique	5 000
Amortissement 1 véhicule tous terrains (1 mois)	2 080
Amortissement 1 véhicule léger (1 mois)	1 250
Frais kilométriques pour tous terrains	
2 000 km à 1,2 F	2 400
Frais kilométriques pour véhicule léger	
2 000 km à 0,8 F	1 600
	<hr/>
	17 330

PCHR - *Personnel d'assistance en croisière*

Personnel expatrié (assistance et conseil)

Ingénieur senior	1/4 mois	7 500
Technicien électronicien	1/2 mois	10 000
Frais de déplacement	15 jours	1 800
Assistant technique de coopération	6 mois	pour mémoire
		<hr/>
		19 300

FCHR - *Frais de fonctionnement de l'assistance en croisière (par an)*

Voyages avion en Afrique	2 000
Frais de véhicule	2 000
	<hr/>
	4 000

FEHR - *Frais de fonctionnement du système en phase de confortation ou en croisière (par an)*

Amortissement de 2 véhicules tous terrains	50 000
Frais kilométriques	
20 000 km à 1,20 F	24 000
Matières consommables autres qu'huile et carburant	20 000
Réparation du matériel et entretien divers	20 000
Fournitures de bureau et hydrométriques (papiers, diagrammes)	20 000
Fournitures diverses	20 000
	<hr/>
	154 000

MHYR - *Renouvellement du matériel hydro (par an)*

5 % du matériel limnimétrique, de jaugeage, topographie, etc.	21 000
20 % des canots, moteurs, câblerie, etc.	12 000
	<hr/>
	33 000

RBLU - *Renouvellement du matériel BLU (par an)*

Estimation basée sur un amortissement de 5 % pour l'électronique et de 30 % pour les groupes, y compris l'achat de pièces détachées, soit :

pour les postes de 400 W : 8 000 F x 6	48 000
pour les postes de 70 W : 2 500 F x 11	27 500
	<hr/>
	75 500

RTSE - *Renouvellement du matériel satellite-émission*  
( par an)

Pour chacune des balises :

5 % sur le prix de la balise	1 000 F
5 % sur le codeur	250 F
Achat de piles	250 F
	<hr/>
	1 500 F

soit pour 15 balises 22 500

RTSR - *Renouvellement du matériel satellite-réception*  
(par an)

5 % du matériel électronique, soit : 25 000

MSPR - *Renouvellement du matériel non spécialisé*  
(par an)

10 % du total engagé, soit 30 000

PREVISION DES APPORTS DU SENEGAL

Eléments d'évaluation des coûts

Proposition SOGREAH

---

2 - MISE AU POINT ET TRANSFERT DU SYSTEME  
DE PREVISION ET D'ANNONCE

# SOGREAH

## Ingénieurs Conseils

PREVISION DES DEBITS DU SENEGAL



TABLEAU I

### DEFINITION DES CATEGORIES

Compte tenu de la répartition des personnels ORSTOM et SOGREAH en différentes catégories, il semble que les équivalences peuvent être les suivantes

ORSTOM	SOGREAH
Expert de Haut Niveau	Ingénieur Principal I1
Ingénieur Senior	Ingénieur Spécialiste I2
Ingénieur Junior	Ingénieur d'Etude I3
Technicien Supérieur	Ingénieur d'Exécution I4
Technicien	Technicien T1
Employé	Employé T2

TABLEAU II

### ESTIMATION DES TEMPS D'INTERVENTION

CATEGORIES	Afrique	France	Total
Ingénieur Principal I1	1	2	3
Ingénieur Senior I2	2	9	11
Ingénieur d'Exécution I4		8	8
Technicien T1		10	10

TABLEAU III

ESTIMATION DES AUTRES FRAIS

NATURE	NOMBRE
Voyages Grenoble - Afrique	6
Voyages Grenoble - Paris	6
Heures ordinateur + table traçante	35 heures
Location véhicules	2 mois

TABLEAU IV

PRIX UNITAIRES HORS TAXES ET IMPOTS

valables jusqu'au 31 décembre 1979 (Base : annexe 2  
du contrat modèle mathématique du fleuve Niger)

CATEGORIES		TARIFS MENSUELS	
		France	Afrique
Ingénieur Principal	I1	52 250	71 000
Ingénieur Spécialiste	I2	41 560	58 900
Ingénieur d'Etude	I3	33 730	50 600
Ingénieur d'Exécution	I4	28 320	43 360
Technicien	T1	24 200	37 510
Voyage Grenoble - Afrique AR			6 000 F
Voyage Grenoble - Paris AR			800 F
Ordinateur IBM 370-155 (1'heure)			5 500 F
Table traçante Benson (1'heure)			550 F
Véhicule (1e kilomètre)			2,20 F

# TABLEAU V

## RECAPITULATIF ET TOTAL GENERAL HORS TAXES ET IMPOTS

NATURE	MONTANT
Main d'oeuvre	1 135 900
Voyages	40 800
Location de véhicules	15 000
Ordinateur - table traçante Benson	192 500
Edition	25 000
TOTAL	1 409 200
Arrondi à	1 400 000 F =====

# TABLEAU VI

## MONTANT ESTIMATIF SUR LA BASE D'UNE ACUTALISATION DE 10% PAR AN

ANNEE	MONTANT A ACTUALISER	ACTUALISATION	TOTAL
1980	700 000	70 000	770 000
1981	700 000	147 000	847 000
TOTAL	1 400 000	217 000	1 617 000
Total arrondi à		1 620 000 F HT =====	