

République Populaire
du BENIN

Ministère de l'Equipeement
et du Transport

Direction de l'Hydraulique

Institut Français
de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération
ORSTOM

PROPOSITIONS POUR L'AMELIORATION
DU RESEAU HYDROMETRIQUE NATIONAL
ET DE SON MODE D'EXPLOITATION

Etude financée par le
Fonds Aide et Coopération
de la République Française
(Conv. FAC N° 193/C/DPL/84/BEN)

L. LE BARBE

Octobre 1986

SOMMAIRE

	Page
Avant propos	4
Introduction	5
LA SITUATION ACTUELLE DU RESEAU HYDROMETRIQUE DE LA REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN	
I. L'architecture du réseau	7
II. Le mode d'exploitation	
1. Les travaux de terrain	9
2. Le traitement et la diffusion des données	10
3. L'archivage des données	10
4. Le coût d'exploitation	12
LES ACTIONS EN MATIERE D'HYDROLOGIE, ENTREPRISES EN REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN PAR LES PROGRAMMES HYDRONIGER et OCP	
I. Le Projet HYDRONIGER	18
II. Le Programme OCP	19
III. Conclusion	20
LA GENERALISATION DU SYSTEME ARGOS SUR LE RESEAU HYDROMETRIQUE BENINOIS	
I. Quelles stations équiper ?	21
II. Le choix du matériel	
1. Sur les sites	21
2. La SRD	24
III. Le fonctionnement du réseau automatisé	
1. Les tournées	25
2. Le traitement des données	26

IV. Le coût d'exploitation	
1. Personnel	27
2. Budget annuel	28
V. Les investissements à réaliser et rentabilité	33
VI. Propositions d'un calendrier pour la mise en place d'un tel réseau	34
LES AUTRES AMELIORATIONS POSSIBLES	
I. Dans l'architecture du réseau	
1. Les besoins	36
2. Les possibilités	37
II. Dans l'organisation du service	
1. Le renforcement de l'antenne de PARAKOU	38
2. Le mode de diffusion des données	39
3. Le développement d'un secteur "études au sein du service"	40
CONCLUSION	40
Annexes	
I. Estimation du budget annuel	
II. Le Système Argos	

AVANT PROPOS

La plus ancienne station du réseau hydrométrique béninois, l'OUEME au pont de SAVE, fut installée en 1942. Mais ce n'est qu'au cours des années cinquante que ce réseau fut installé par l'ORSTOM qui l'exploita jusqu'en 1976. De 1976 à 1983, la Direction de l'Hydraulique de la République Populaire du BENIN, par manque de crédits et de personnel, ne put assurer sa gestion. En 1983, la situation était donc la suivante : un réseau hydrométrique à l'abandon et aucune donnée récente publiée, puisque les dernières annales hydrologiques dataient de 1965.

Conscient que cet état de fait rendait difficile toute planification de l'exploitation des ressources en eaux superficielles, le Gouvernement de la République Populaire du BENIN créait au sein de la Direction de l'Hydraulique, un service de l'hydrologie chargé "de toutes les questions relatives aux eaux de surface" et demandait l'aide du FAC pour rendre ce service opérationnel, restaurer le réseau et traiter les données anciennes. En 1984, était signée la convention n° 193/C/DPL/84/BEN entre la République Populaire du BENIN et la FRANCE.

Dans le cadre de cette convention et autres tâches, la Direction de l'Hydraulique chargeait l'ORSTOM, par la convention de février 85, de faire l'inventaire des actions à entreprendre pour, à la fois, rendre le réseau hydrométrique national plus efficace et diminuer les coûts de son exploitation.

C'est l'objet de ce présent rapport.

INTRODUCTION

Tout projet d'aménagement hydraulique, qu'il soit destiné à l'alimentation en eau potable ou qu'il soit à fins agricoles ou énergétiques, nécessite pour sa conception la connaissance d'un certain nombre de paramètres hydrologiques : apports annuels ou interannuels (pour le dimensionnement d'une retenue), distribution des débits de pointe et des volumes des crues (pour la protection des ouvrages), distribution des étiages (pour l'évaluation de la fréquence d'éventuelles défaillances), etc.

En outre, pour exploiter de façon rationnelle la ressource en eaux superficielles, il est souvent nécessaire de connaître l'hydrologie non seulement aux niveaux des aménagements projetés, mais sur l'ensemble du bassin, soit pour évaluer leurs impacts, soit pour définir la meilleure façon de les gérer.

Ce travail de collecte de données est le principal objectif d'un réseau hydrométrique national qui est constitué d'un ensemble de stations où sont mesurées les hauteurs d'eau dans les rivières (ces hauteurs permettant le calcul des débits par l'intermédiaire des courbes de tarage). En plus des hauteurs d'eau, pourront être mesurées à certaines stations, la salinité ou la turbidité, si ces facteurs se révèlent être une contrainte supplémentaire pour la mise en valeur des ressources.

La ressource en eaux superficielles est très mal répartie à la fois dans le temps et dans l'espace.

Outre les variations saisonnières, l'hydraulicité d'une rivière peut varier considérablement d'une année sur l'autre.

Nous prendrons deux exemples qui se passent de commentaires :

- l'OUEME au pont de SAVE : débit moyen en 1957 : 134 m3/s
en 1958 : 2 m3/s
module interannuel calculé sur la décennie 60-69 : 110 m3/s
sur la décennie 70-79 : 76 m3/s
- l'OKPARA à KABOUA : débit moyen en 1957 : 84 m3/s
en 1958 : 0.6 m3/s
module interannuel calculé sur la décennie 60-69 : 44 m3/s
sur la décennie 70-79 : 14 m3/s

Cette grande variabilité dans le temps rend donc nécessaire une permanence des observations hydrologiques sur le réseau hydrométrique national et cela d'autant plus que l'évolution du climat que l'on semble constater actuellement, remet en cause l'évaluation des différents paramètres hydrologiques faite à partir des données collectées avant la période de sécheresse.

L'écoulement d'une rivière dépend de multiples facteurs : climatologie, végétation, pédologie, relief, etc. La ressource en eaux superficielles va donc être très variable dans l'espace. Il faudrait donc que le réseau

hydrométrie nationale puisse contrôler la ressource en des stations représentatives des "zones hydrologiques théoriquement homogènes" et que l'on définirait par superposition des cartes des facteurs conditionnels.

Mais l'exploitation d'un réseau hydrométrique coûte cher, il ne suffit pas en effet d'installer des stations hydrométriques mais il faut encore :

- s'assurer de leur bon fonctionnement et définir les courbes de tarages par des mesures de débits, ce qui implique des tournées onéreuses ;
- pouvoir mettre rapidement à la disposition des aménageurs les données collectées, ce qui implique une structure efficace de traitement et d'archivage des données.

Vu l'importance de ces coûts d'exploitation, il n'est pas possible, et cela quelque soit le degré de développement du Pays, de contrôler toute la ressource en eaux superficielles. Ainsi, en France, des études ont montré qu'il n'était pas envisageable d'installer une station pour chaque "zone hydrologique théoriquement homogène", cela conduirait en effet à un nombre prohibitif de stations.

La conception d'un réseau hydrométrique passe par un certain nombre de choix. Quels vont être les critères de ces choix ?

Le critère le plus important à prendre en compte va être évidemment le budget que peut réserver le Pays à la collecte de données hydrologiques : il serait illusoire d'envisager l'installation de cent stations si le service hydrologique ne peut assurer la maintenance que d'une vingtaine !

Le deuxième critère à prendre en compte sera la "rentabilité" des stations du réseau. Cette "rentabilité" n'est malheureusement pas chiffrable, car si l'on peut évaluer le prix de revient d'une mesure, comment peut-on estimer ce qu'elle rapporte économiquement ? Cependant, on conçoit qu'un réseau sera d'autant plus rentable que :

- 1°) Les stations qui le composent seront implantées sur des rivières où des aménagements hydrauliques seront à envisager : sites de barrages reconnus, rivières situées dans des zones soumises à des problèmes périodiques dus à la sécheresse, rivières situées dans les zones où des pénuries sont à terme prévisibles (zones à forte croissance démographique par exemple).
- 2°) Son coût d'exploitation sera plus faible : stations faciles d'accès, stations stables ne nécessitant que peu de jaugeages de contrôle, mode de programmation des tournées plus économique.

C'est la démarche que nous allons suivre dans ce rapport pour définir les améliorations qui pourraient être apportées au réseau hydrométrique de la République Populaire du BENIN et à son mode d'exploitation en tenant compte de ce qu'ont déjà réalisé en matière d'hydrologie les deux programmes, HYDRONIGER et OCP (Programme de Lutte contre l'Onchocercose).

Nous allons auparavant décrire le réseau dans son état actuel.

LA SITUATION ACTUELLE DU RESEAU HYDROMETRIQUE

DE LA REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN

I. L'ARCHITECTURE DU RESEAU : (cf. carte 1)

Dans le cadre de la convention FAC n° 193/C/DPL/84/BEN, toutes les stations qui existaient en 1980, sauf quatre, ont été restaurées et équipées pour la plupart de limnigraphes.

Les quatre stations qui ont été abandonnées sont les suivantes :

- la TANEKA à TANEKAKO (11 km²)
- la BINAHO à DOMPAGO (62 km²)
- l'OMINI à PIRA (88 km²)
- le MONO à ADJARALLA (20 600 km²)

L'exploitation de ces stations coûtait cher et les résultats obtenus étaient décevants : aux trois premières, la rapidité des crues et la mauvaise qualité des étalonnages rendaient très approximatives les estimations que l'on aurait pu faire des apports et des crues, la quatrième était inétalonnable et faisait double emploi avec celles encadrant ce site de barrage, TETETOU au TOGO (20 100 km²) et ATHIEME au BENIN (21 475 km²).

Une station, l'OUEME à SAGON, a été déplacée vers l'amont au niveau du pont de la route ZANGNANADO-KETOU, ce qui a rendu plus facile l'installation d'un limnigraphe. Ce site permettra une stabilité plus grande de la station et réduira de 30 km les tournées de jaugeages. Ces deux stations seront observées simultanément pendant au moins un an.

Actuellement, le réseau hydrométrique de base se compose donc de 31 stations dont 25 sont équipées de limnigraphes. Trois sont en outre dotées de balises Argos ; il s'agit des deux stations du Projet HYDRONIGER, le NIGER à MALANVILLE et l'ALIBORI au niveau de la route KANDI-BANIKOARA, et du MONO à ATHIEME dont la balise a été achetée dans le cadre de la Convention FAC de 1985.

Les principales caractéristiques de ces stations sont indiquées sur le tableau n° 1.

Tableau n° 1

Etat Réseau hydrométrique de la République Populaire du BENIN fin 1986

Nom de la station	Rivière	Lat. N	Long. E	Sup.	Equipement limnigraphique
<u>Bassins du NIGER :</u>					
MALANVILLE	NIGER	11°52	3°23	1 000 000	SEBA + ARGOS
Route KANDI-BANIKOARA	ALIBORI	11°14	3°39	8 170	SEBA + ARGOS
KOMPONGOU	MEKROU	11°24	2°11	5 700	OTT X
KEROU	MEKROU	10°50	2°02	3 348	-
COUBERI	SOTA	11°45	3°20	13 410	OTT X
Route KANDI-SEGBANA	SOTA	10°59	3°15	8 298	OTT X
KOUTAKROUKROU	IRANE	11°03	3°03	1 250	OTT X
<u>Bassins de LA VOLTA</u>					
PORGA	PENDJARI	11°03	0°58	22 280	-
TIELE	MAGOU	10°43	1°12	836	-
<u>Bassin du KOUFFOU</u>					
LAHOUNTA	COUFFO	07°06	1°53	1 680	OTT X
PONT DE GUEZZIN	LAC AHEME	06°23	1°57	3 948	R 16
<u>Bassin du MONO</u>					
PONT D'AGBANAKEN	MONO	06°17	1°49	21 900	R 16
ATHIEME	MONO	06°55	1°40	21 475	CHLOE + ARGOS
<u>Bassin de l'OUEME</u>					
AFON	OUEME	09°45	2°06	1 165	OTT X
PONT DE BETEROU	OUEME	09°12	2°16	10 326	OTT X
BONOU	OUEME	06°54	2°27	46 990	-
HETIN SOTA	OUEME	06°36	2°30	-	-
SAGON	OUEME	07°11	2°26	37 980	OTT X
PONT DE SAVE	OUEME	08°00	2°25	23 600	OTT X
BANON	ADJIRO	08°34	1°56	1 408	OTT X
ATCHERIGBE	ZOU	07°32	2°02	6 950	OTT X
DOME	ZOU	07°07	2°20	8 210	OTT X
KABOUA	OKPARA	08°15	2°43	9 600	OTT X
VOSSA	BEFFA	08°30	2°21	1 670	OTT X
GOUROU	ALPOURO	09°45	2°26	1 607	OTT X
WEWE	WEWE	09°23	2°06	293	-
COTE 238	TEROU	09°05	2°05	3 133	OTT X
BAREROU	YEROU MARO	09°21	2°22	2 162	OTT X
SAVALOU	AGBADO	07°55	2°00	1 280	-
LOGOZOHE	KLOU	07°53	2°07	300	OTT X
<u>Lagune</u>					
PONT ROUTE LOME-COTONOU	SAZUE	06°19	1°51	-	R 16
PORTO-NOVO	LAGUNE PORTONOVO	06°28	2°38	-	OTT XX

La répartition des stations selon la superficie des bassins contrôlés se présente comme suit :

S KM ²	N
100	0
320	2
1 000	1
3 200	9
10 000	8
32 000	6
> 32 000	3

S = superficie du bassin contrôlé

N = nombre de stations contrôlant
un bassin de taille inférieure à S

Le réseau actuel ne permet donc pas d'évaluer la ressource en eaux superficielles provenant des petits bassins versants.

D'un point de vue strictement hydrologique, on peut faire les critiques suivantes :

Bassin de la PENDJARI :

- la haute PENDJARI est très mal contrôlée. A la première station, ARLY (au BURKINA FASO), le bassin est déjà de 10 260 km².
- aucune station ne contrôle les apports des rivières des hauts bassins de la KERAN et de LA KARA qui présentent pourtant de bonnes potentialités hydroélectriques.

Bassin du NIGER

- les hauts bassins de la SOTA et de l'ALIBORI, l'ALIBORI inférieure, sont mal contrôlés.
- aucune station n'est implantée sur le bassin de l'OLI.

Bassin du MONO : RAS

Bassin du COUFFO :

La seule station de LAHOUNTA permet difficilement d'évaluer les apports dans le Lac AHEME.

Bassin de l'OUEME :

- l'OKPARA est mal contrôlé dans sa partie supérieure et juste à l'amont de la confluence de l'OUEME.
- dans le reste du bassin de l'OUEME, la densité au réseau est à peu près satisfaisante. Cependant, la DONGA, la haute TEROU, et le ZOU supérieur sont mal contrôlés.

Le Système lagunaire :

Le réseau y est trop sommaire et ne comporte pas pour l'instant de contrôle continu de la salinité qui est pourtant un paramètre au moins aussi important que la hauteur d'eau.

II. LE MODE D'EXPLOITATION

La période 1985-1986 était une période transitoire : il fallait rattraper le retard accumulé depuis 1965 dans le traitement des données, restaurer le réseau, former le personnel du service hydrologique, mettre au point le logiciel de traitement. Aussi, le mode d'exploitation que nous allons décrire est celui qui sera suivi en 1987.

Le Réseau National a été divisé en deux :

- le secteur Nord, constitué des 15 stations au Nord du 9^e parallèle,
- le secteur Sud, constitué des 16 autres stations.

Chaque secteur est placé sous la responsabilité d'un ingénieur qui a sous ses ordres une brigade hydrologique chargée des travaux de terrain. Chaque brigade est composée d'un technicien supérieur, d'un aide hydrologue, d'un chauffeur. Celle du Nord est basée à PARAKOU, celle du Sud à COTONOU. Les données collectées sont centralisées et traitées à COTONOU.

1. Les travaux de terrain

Des visites régulières sont indispensables pour :

- contrôler le fonctionnement des appareils ou le travail des lecteurs,
- entretenir les installations,
- faire des mesures de débit afin de compléter et vérifier les étalonnages.

La plupart des limnigraphes installés étant à rotation mensuelle, c'est ce rythme qui a été choisi pour les tournées. L'expérience montre que si ce rythme est à peu près suffisant pour éviter d'importantes lacunes dans les relevés, il ne l'est pas pour étalonner rapidement une station en hautes eaux (la probabilité d'arriver sur la station en même temps que la crue est en effet très faible).

Chaque brigade effectue 21 000 km en une centaine de jours. Elle est donc sur le terrain un jour ouvrable sur deux. Occupés le reste du temps par l'entretien du matériel, la rédaction des comptes-rendus de tournée, la préparation de la tournée suivante, les chefs de brigade peuvent difficilement assurer le dépouillement des jaugeages et la première critique des relevés ; cela est regrettable car un certain nombre d'erreurs flagrantes pour l'homme de terrain pourraient être ainsi évitées.

2. Le traitement et la diffusion des données

Tous les mois, sont reçues au service hydrologique, les feuilles de jaugeages, les relevés de hauteurs d'eau et les limnigrammes.

Au fur et à mesure de leur arrivée, à l'aide du logiciel "HYDROM" livré lors de la Convention FAC de 1985, les données sont saisies sur micro ordinateur, traitées, et subissent une première critique : les résultats des jaugeages sont comparés aux courbes d'étalonnages, les limnigrammes sont représentés de façon graphique et comparés à ceux du mois précédent.

Si une anomalie est détectée, l'ingénieur responsable la signale à la brigade hydrologique concernée pour une intervention sur le terrain.

A la fin de chaque année sont mises à jour les courbes d'étalonnages, et calculés les débits écoulés à chacune des stations.

En ce qui concerne la dissémination des données hydrologiques, la solution qui est pour l'instant retenue est de publier chaque année, en 200 exemplaires environ, un annuaire hydrologique.

Les deux critiques que l'on pourrait faire au schéma présenté, sont les suivantes :

- le dépouillement des limnigrammes mensuels (une journée est représentée sur deux cm environ) est parfois délicat pour les rivières connaissant des crues rapides et peut être entaché d'erreurs. Il nécessite en outre pas mal de temps : environ deux mois de technicien par an pour 25 limnigrammes.
- le système choisi pour la diffusion des résultats représente une charge financière relativement lourde (700 000 CFA/an) et prend du temps.

3. L'archivage des données

L'archivage se fait sous trois formes :

- archivage de documents,
- archivage sous forme de microfiches,
- archivage sur support informatique.

3.1. L'archivage des documents :

L'expérience montre qu'il est souvent nécessaire de revenir aux documents originaux pour expliquer ou corriger des anomalies détectées lors des traitements des données.

L'archivage de ces documents est donc une tâche très importante pour un Service hydrologique national.

En outre, le Service hydrologique doit conserver les résultats des différents traitements et centraliser toutes les publications ayant trait à l'Hydrologie du BENIN.

Pour ces différentes actions, la procédure suivante a été adoptée :

- Pour chaque station sont constitués différents dossiers :

- . Dossier "Relevés de hauteurs d'eau" et "limnigrammes" où sont conservés après saisie les originaux,
- . Dossier "Historique" constitué de l'historique jusqu'en 1984 reconstitué lors de la Convention FAC de 1985 et enrichi après chaque tournée des fiches de visite remplies sur le terrain par les brigades hydrologiques,
- . Dossier "Courbe étalonnage",
- . Dossier "Résultats des traitements" où sont conservées les données issues des traitements informatiques.

- Une bibliothèque sera constituée à partir des différentes publications hydrologiques concernant la République Populaire du BENIN et qu'il faudra regrouper.

3.2. L'archivage sous forme de microfiche :

Dans le cadre de la Convention FAC de 1985, ont été microfichés tous les relevés de hauteurs d'eau faits de la création des stations jusqu'en 1985. Un lecteur de microfiches a été également acheté.

Cette solution permet aux responsables du réseau d'avoir à disposition très rapidement et sous une forme très peu volumineuse, tous les originaux.

Il faudra donc prévoir la mise à jour tous les dix ans environ cette collection de microfiches.

3.3. L'archivage sous forme de fichier informatique :

Le logiciel "HYDROM" permet de conserver sur les disques durs (40 MO) du micro ordinateur les fichiers suivants :

- Fichier "Identification des stations"
- Fichier des "Jaugeages"
- Fichier des "Etalonnages"
- Fichier des "Historiques des stations"
- Fichier des "Cotes instantanées"
- Fichier des "Débits instantanés"
- Fichier des "Débits journaliers"

La constitution de ces fichiers jusqu'en 1984 a été réalisée lors de la Convention FAC de 1985. Il seront complétés au fur et à mesure de la collecte des données.

La capacité des disques durs du système (40 MO) permettra de conserver toutes les données qui seront collectées au moins jusqu'à l'an 2000.

Des sauvegardes régulières sur des bandes magnétiques de 60 MO, seront effectuées (deux sauvegardes par fichier source). Entre deux procédures de sauvegarde seront conservées des traces sur papier des différentes opérations faites sur les données pour permettre une reconstitution des fichiers en cas de destruction accidentelle. A cet effet, le logiciel "HYDROM" peut éditer sur imprimante un fichier "JOURNAL" où sont consignées tous les traitements effectués sur les données depuis la date du dernier effacement de ce fichier Journal et qui est fait à la demande de l'utilisateur.

3.4. L'organisation matériel :

D'un point de vue pratique, les relevés de hauteurs d'eau déjà microfichés et les jaugeages de plus de dix ans sont rangés dans une pièce à part. Le lecteur de microfiches et les microfiches sont placés dans la même pièce que le micro ordinateur, les autres dossiers stations sont rangés dans le bureau de chaque responsable de secteur, enfin une bibliothèque hydrologique sera installée, où les utilisateurs éventuels pourront venir se documenter.

4. Le coût d'exploitation

4.1. Personnel

Actuellement, le Service de l'Hydrologie comprend trois ingénieurs dont le chef de service, quatre techniciens supérieurs, dont les deux chefs de brigades, deux techniciens et deux chauffeurs.

Par an, le temps que devra consacrer chaque catégorie de personnel à la gestion du réseau telle que nous venons de le décrire sera à peu près le suivant :

- chef de service (1) : 2 mois
- ingénieurs (2) : 8 mois
- techniciens supérieurs (- chefs de brigades) (2) : 11 mois
- brigades hydrologiques (2) : 22 mois

Seules les brigades hydrologiques seront entièrement prises par le réseau. Si on met à part le cas du chef de service à qui incombent les tâches administratives, le reste du personnel pourra dans un premier temps se consacrer à la mise en place du système et à l'installation du service dans les nouveaux locaux construits dans le cadre du projet HYDRONIGER.

Par la suite, il sera donc possible de développer, sans augmentation des effectifs, un secteur "études" pourvu que celles-ci n'exigent pas trop de travaux de terrain.

Par ailleurs, le service devant s'installer dans des locaux distincts de ceux de la Direction de l'Hydraulique (cf. CH 2), il sera nécessaire de recruter une secrétaire.

4.2. Le budget annuel :

Jusqu'en 1986, la plupart des travaux de terrain ont été effectués dans le cadre de la Convention FAC de 1985. Le budget que nous allons présenter n'est donc pas celui réellement engagé ces dernières années mais celui dont devrait disposer le S.H. pour gérer le réseau de la façon que nous avons décrite.

La façon dont nous avons établi ce budget est détaillée dans l'annexe n° I.

Ce budget est présenté dans les tableaux II, III, IV et résumé dans le tableau V.

Les amortissements représentent en fait le budget annuel d'investissement dont a besoin le S.H. pour renouveler son matériel (véhicules, matériel de terrain, matériel scientifique, etc.).

Le montant annuel du budget, 17.0 MF CFA, représente déjà une charge financière relativement importante pour la République Populaire du BENIN et il paraît difficile à l'heure actuelle d'envisager une extension du réseau si des solutions ne sont pas trouvées pour réduire les coûts de son exploitation.

C'est sur le poste "Frais de tournées", près de 56 % du budget, que des économies les plus importantes pourraient être réalisées en généralisant l'emploi du Système Argos de télétransmission de données, déjà introduit en République Populaire du BENIN par les projets HYDRONIGER et OCP *

* Programme de Lutte contre l'Onchocercose
(ONCHOCERCOSIS CONTROL PROJECT)

TABLEAU II

Gestion du réseau hydrométrique

Budget annuel (1)

A. Coût annuel des tournées (en CFA)

I. Amortissement

. Véhicules	3 643 200 CFA
. Matériel hydrométrique	639 250 CFA
. Matériels divers	222 000 CFA

TOTAL AMORTISSEMENT	4 504 450 CFA
---------------------	---------------

II. Fonctionnement

. Essence	1 530 144 CFA
. Entretien véhicules	1 275 120 CFA
. Entretien matériel	222 000 CFA
. Frais de déplacement	1 664 500 CFA
. Main-d'oeuvre temporaire	315 000 CFA

TOTAL FONCTIONNEMENT	5 006 764 CFA
----------------------	---------------

TOTAL COUT DES TOURNEES : 9 511 214 CFA

TABLEAU III

Gestion du réseau hydrométrique

Budget annuel (2)

Dépenses annuelles des bureaux de COTONOU et PARAKOU (en CFA)

B. Bureaux de COTONOU

BI. Amortissement matériel de bureau (photocopieuse) 300 000 CFA

BII. Fonctionnement :

. Eau et électricité	550 000 CFA
. Téléphone et frais postaux ..	300 000 CFA
. Fournitures informatiques ...	600 000 CFA
. Contrat de maintenance matériel informatique	500 000 CFA
. Essence	200 000 CFA
. Frais de mission (en RPB) ...	200 000 CFA

TOTAL BII. 2 800 000 CFA

C. Fonctionnement des bureaux de PARAKOU :

. Eau et électricité	150 000 CFA
. Téléphone et frais postaux ..	120 000 CFA
. Fournitures papeterie	120 000 CFA

TOTAL C 390 000 CFA

TOTAL B + C = 3 490 000 CFA

TABLEAU IV

Gestion du réseau hydrométrique

Budget annuel (3)

Autres coûts (en CFA)

D. Matériel implanté sur les stations (25 limnigraphes et 31 batteries d'échelles)

I. Amortissement

. Limnigraphes	875 000 CFA
. Echelles	250 000 CFA

TOTAL AMORTISSEMENT	1 025 000 CFA
---------------------	---------------

II. Fonctionnement

. Consommable (diagrammes, plumes, etc) ..	300 000 CFA
---	-------------

TOTAL D. : 1 325 000 CFA

E. <u>Lecteur d'échelles</u> (sur 15 stations)	900 000 CFA
--	-------------

F. <u>Edition de l'annuaire</u>	700 000 CFA
---------------------------------------	-------------

TABLEAU V

Budget annuel du réseau - Récapitulatif (en CFA)

	Amortissement	Fonctionnement
A. Frais de tournées	4 504 450	5 006 764
B. Bureaux de COTONOU	300 000	2 800 000
C. Bureaux de PARAKOU	-	5 390 000
D. Matériel implanté sur les stations ..	1 025 000	300 000
E. Lecteur d'échelles	-	900 000
F. Edition des annuaires	-	700 000
G. Imprévus	-	1 000 000
	5 829 450	11 096 764

TOTAL : 16 926 217 CFA

ARRONDI à 17 000 000 CFA

LES ACTIONS EN MATIERE D'HYDROLOGIE, ENTREPRISES EN
REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN PAR LES PROGRAMMES HYDRONIGER ET OCP

I. LE PROJET HYDRONIGER :

Pour faire les prévisions des crues du NIGER, le Programme HYDRONIGER a besoin de connaître dans de courts délais, les écoulements le long du NIGER et de ces principaux affluents. Dans le cadre de ce projet, a donc été installé un réseau d'une soixantaine de balises Argos sur l'ensemble du bassin du NIGER qui s'étend sur 9 Etats dont la République Populaire du BENIN.

Les prévisions sont faites à NIAMEY (au Centre International de Prévision) et il est prévu que les résultats obtenus soient transmis aux 9 Pays, également par le Système Argos. Chacun des Etats a donc été doté d'une station de réception directe (SRD) et a reçu un financement pour la construction d'un Centre National de Prévision (CNP) où sera basée la SRD et qui servira de local au Service hydrologique chargé de l'entretien des stations et du contrôle de leur étalonnage. Dans le cadre de ce projet, les différents services hydrologiques nationaux ont reçu du matériel hydrométrique et de terrain et des stages ont été organisés pour former à la maintenance du matériel Argos (Balise et SRD), des techniciens des SHN.

En République Populaire du BENIN, deux stations au réseau ont été équipées de balise Argos, le NIGER à MALANVILLE et l'ALIBORI au niveau du pont de la route KANDI BANI KOARA. Une SRD a été mise en place à COTONOU. Le CNP a été construit et un technicien a été formé.

Le matériel implanté sur les stations est constitué d'un limnigraphe pneumatique SEBBA, d'un pluviographe et d'une balise Argos type "HYDRONIGER" de CEIS-Espace. La balise n'émet que les valeurs instantanées qui sont mesurées aux différents capteurs. Ce système permet d'avoir quatre à six fois par jour un relevé de hauteur d'eau. Si cette fréquence est suffisante pour reconstituer les limnigrammes sur les rivières importantes, elle risque de ne pas l'être pour celles connaissant des crues brutales.

La station de réception est une station CEIS-Espace dite de première génération qui ne peut pas avoir actuellement de liaison directe avec un micro ordinateur ni de sorties sur support informatique.

II. LE PROGRAMME OCP

Pour lutter contre l'onchocercose, la stratégie suivie par l'OCP consiste à maintenir la densité de population du vecteur, une simule, à une valeur suffisamment basse pour que soit rompue la transmission de la maladie. Pour cela, l'OCP procède à des épandages aériens d'insecticide sur les gîtes larvaires de simules, localisés dans les zones à courant rapide des

rivières. Ainsi, chaque semaine, c'est près de 18 000 km de rivière qui sont traités, dans les sept Etats où intervient le programme.

La détermination de la quantité d'insecticide à épandre doit être précise : il faut en effet à la fois éviter les sur-dosages onéreux et présentant des risques écologiques, et les sous-dosages, inefficaces et qui pourraient isoler à terme les souches de similies résistantes. La dose de larvicide étant directement liée au débit, l'OCP a été conduit à entreprendre un certain nombre d'actions en matière d'hydrologie dont les plus importantes sont les suivantes :

- 1°) Installation, dès 1987, d'un réseau d'une centaine de balises Argos et de deux SRD à chacune des bases aériennes du Programme, KARA (TOGO) et ODIENNE (COTE-D'IVOIRE). Une étude expérimentale menée au TOGO ces deux dernières années a montré que la qualité des dosages serait alors grandement améliorée puisque les débits seraient connus au moment du traitement.
- 2°) Dès 1987, à KARA et à ODIENNE, sera basée une brigade hydrologique OCP qui sera surtout chargée d'établir les courbes d'étalonnage des stations inaccessibles en hivernage (leur transport sur les sites se fera en hélicoptère).
- 3°) Les équipes d'évaluation entomologique qui se rendent toutes les semaines près des rivières, seront formées aux jaugeages à gué, ce qui permettra de contrôler les courbes d'étalonnage de basses eaux et qui sont celles qui fluctuent le plus d'une année sur l'autre.
- 4°) Une collaboration étroite avec les SHN sera instaurée pour harmoniser l'action de leurs équipes avec celles d'OCP.

Le matériel de ce réseau sera différent de celui utilisé par le Projet HYDRONIGER :

- les limnigraphes seront à sonde piézorésistive et à mémoire statique. Ils seront extrêmement faciles à mettre en place. Les balises CEIS-Espace intégrées avec les limnigraphes, seront à mémorisation. Chaque message portera 1/2 par 1/2 heure l'intégralité des limnigrammes observés au cours des 7 heures précédentes.
- les SRD CEIS-Espace seront de "2ème génération". La station est développée autour d'un micro ordinateur compatible IBM ~~XT~~ ou AT ce qui permet de compléter automatiquement les banques de données sans aucune phase de saisie. Il sera cependant toujours possible de corriger à partir du clavier du micro-ordinateur, d'éventuelles erreurs.

Les SRD de 1ère génération peuvent être transformés, à un moindre coût, en station de 2ème génération.

En République Populaire du BENIN, il est prévu d'équiper en 87 les 11 sites suivants :

- ✓ - la SOTA au Pont de la KANDI-SEGBANA (GBASSE)
- ✓ - 1'OUEME à AFFON
- ✓ - 1'OUEME à BETEROU
- 1'ADJIRO à BANON
- ✓ - le ZOU à ATCHERIGBE
- ✓ - 1'OKPARA à KABOUA
- 1'ALPOUROU à KOUROU
- le YEROU-MARO à BAREROU
- la PENDJARI à BATIA

Les 10 premiers sites sont des stations du réseau, le onzième, sur la Haute PENDJARI, sera créé pour traiter cette rivière très productive de similies.

Dès 1987, les équipes d'évaluation entomologique de PARAKOU, NATTINGOU et KANDI, actuellement en cours de formation au TOGO, seront opérationnelles pour les jaugeages de basses eaux.

La proximité de la base aérienne de KARA, facilitera l'étalonnage par la brigade hydrologique de l'OCP des stations inaccessibles sur la MEKROU, la TEROU et la Haute PENDJARI.

III. CONCLUSION

D'ici mi-1987, il y aura donc 14 stations qui seront équipées de balise Argos, une station de réception sera en place à COTONOU et le SH sera aidé dans sa tâche par les équipes de l'OCP.

Il nous semble donc très souhaitable que soit généralisé ce système de télétransmission à l'ensemble du réseau et que soit modifiée la SRD puisqu'alors :

- les visites de contrôle mensuelles ne seraient plus obligatoires. Les anomalies de fonctionnement des stations apparaîtront en effet à la SRD dès qu'elles surviendront ;
- le contrôle des étalonnages ne se ferait plus au cours de tournées de routine souvent décevantes quant aux résultats, mais à chaque station dès qu'une cote non encore jaugee sera détectée ;
- tout le travail de dépouillement et de saisie des limnigrammes sera évité
- la qualité des données sera améliorée ;
- la mise à disposition des données aux utilisateurs sera aussi plus rapide.

Nous allons, dans le chapitre suivant, voir comment pourrait fonctionner un tel réseau, quelles seraient les économies annuelles qui seraient réalisées et les investissements à faire.

LA GENERALISATION DU SYSTEME ARGOS SUR RESEAU HYDROMETRIQUE BENINOIS

I. QUELLES STATIONS EQUIPER ?

Un des principaux avantages d'un système de télétransmission des données hydrologiques est de permettre aux équipes de terrain d'aller sur les stations uniquement quand cela est nécessaire. Pour qu'il soit rentable en coût, un tel système doit donc être généralisé à l'ensemble du réseau. Cependant, pour ce qui est des jaugeages, l'argument évoqué plus haut perd de son poids si les crues sont trop brèves comparées aux délais d'intervention des brigades hydrologiques.

C'est pourquoi il nous paraît inutile de doter d'émetteur Argos, les trois stations, WEWE sur la WEWE, TIELE sur le MAGOU et LOGOZOHE sur le KLOU, qui contrôlent un bassin inférieur à 1 000 km². Ces stations ont d'ailleurs été maintenues dans le réseau uniquement parce qu'étant sur le chemin d'autres sites, leurs coûts d'exploitation étaient négligeables.

En définitive, c'est donc 15 stations qu'il reste à équiper de balises Argos.

II. LE CHOIX DU MATERIEL

1. Sur les sites :

Il faut distinguer :

- les "capteurs" de l'information "hauteur d'eau",
- les balises Argos,
- les systèmes d'alimentation,
- les appareils de contrôle in situ du fonctionnement des balises.

1.1. Les capteurs :

Compte-tenu du matériel déjà en place sur le réseau du BENIN, le choix doit se faire entre trois types de matériel :

- les limnigraphes à flotteurs (22 sur le réseau).

Peu chers à l'achat (700 000 CFA environ), ces appareils présentent l'inconvénient de nécessiter des travaux de génie civil parfois onéreux (2 M CFA s'il n'y a pas de supports, arbres ou ponts, pour fixer la gaine du flotteur) et surtout de ne pas pouvoir mesurer toujours les basses eaux : il n'est pas toujours possible de placer la gaine jusqu'au point le plus bas du lit de la rivière et il se produit fréquemment des phénomènes d'envasement. Pour ces raisons, il ne nous semble pas recommandé d'utiliser ces appareils sauf si ceux-ci sont déjà en place.

- les limnigraphes pneumatiques (2 sur le réseau).

C'est ce type de matériel qui équipe les stations du projet "HYDRONIGER". Ces appareils sont plus chers à l'achat (environ 3.5 M CFA), mais sont faciles à installer et permettent de mesurer les basses eaux. Ces appareils ont l'inconvénient de comporter un circuit d'air comprimé qui est une cause de panne.

- les limnigraphes à sonde piézorésistive (1 sur le réseau).

La hauteur est déduite d'une mesure de pression faite sur une sonde piézorésistive (sonde SPI d'ELSYDE) placée au fond de la rivière. La mesure est transmise sous forme d'un signal électrique à une centrale d'acquisition par l'intermédiaire d'un câble. Le stockage des données ne se fait plus sur une feuille de papier comme pour les appareils précédents, mais sur une cartouche de mémoires "EPROM". Les données sont donc tout de suite disponibles sous une forme informatique. Ces sondes sont extrêmement faciles à installer et fiables. Leur coût est d'environ 2 M CFA.

1.2. Les balises Argos :

Elles sont constituées de deux cartes électroniques : une carte interface et une carte émettrice reliée à une antenne.

- la carte interface reçoit l'information du capteur (par l'intermédiaire d'un codeur pour les limnigraphes à flotteur ou pneumatiques) et met en forme le message qu'elle doit émettre la balise. Sur les stations du réseau HYDRONIGER, seule la dernière hauteur d'eau mesurée est introduite dans le message. Sur les balises construites pour le Programme OCP, la carte interface (CHLOE C) intègre dans le message le limnigramme des sept dernières heures (un point toutes les 1/2 heures) ;
- la carte émettrice Argos émet toutes les 125 secondes le message constitué par la carte interface. C'est ce message qui sera retransmis lors des passages des satellites, vers la SRD.

1.3. Le système d'alimentation :

Deux possibilités sont possibles : l'alimentation par batteries ou piles et celle par panneaux solaires. L'expérience a montré que cette dernière solution est préférable car elle permet une plus grande autonomie et est plus fiable.

1.4. Les appareils de contrôle "in situ" des balises :

Les équipes sur le terrain doivent pouvoir contrôler le bon fonctionnement des balises et la nature des messages émis. Pour cela, deux types d'appareils sont disponibles :

- les bancs de test : il s'agit d'un récepteur se présentant sous la forme d'une petite mallette et qui capte jusqu'à 5 km de distance environ, les

émissions des balises (sur 401,65 MHz) et les affiche sur une fenêtre soit en clair soit sous forme hexadécimale. Ce matériel permet donc "in situ" de vérifier le bon fonctionnement de l'émetteur et de vérifier que les valeurs des paramètres émis correspondent bien à celles observées. Son seul inconvénient est son coût : environ 2.0 M F CFA.

Actuellement, le SH dispose déjà d'un banc de test acheté dans le cadre du Projet HYDRONIGER. La modification de ce banc de test pour pouvoir traduire en clair les messages captés par les différents types de balises, reviendrait à 0.9 M F CFA. Sans modification, il serait possible de l'utiliser en décodant les messages affichés à l'aide d'une calculatrice manipulant aisément les bases hexadécimales et binaires, comme l'HP 16 C, et qui ne coûte que 75 000 CFA.

- les décodeurs : les appareils permettent de vérifier, mais pour certains paramètres uniquement, que les valeurs transmises à la balise sont bien celles mesurées. D'un coût modique, ils facilitent le "calage" des capteurs puisque l'information est tout de suite disponible et non pas uniquement quand la balise émet (toutes les 125 secondes environ). Ces appareils peuvent être intégrés au limnigraphe (station HYDRONIGER) ou amovibles.

Dans le cas de sondes SPI, le décodeur est aussi un terminal d'initialisation de l'appareil.

1.5. Conclusions :

1.5.1. l'équipement des stations :

L'idéal est donc la solution : sonde SPI + plus balise Argos à mémorisation (carte CHLOE C) + alimentation par panneau solaire. Les avantages sont multiples : facilité d'installation, mesure des basses eaux, télétransmission des limnigrammes dans leur totalité, grande autonomie, enregistrement sur support informatique. Les Sociétés ELSYDE et CEIS-Espace se sont associées pour intégrer dans un même ensemble ces différents composants. C'est ce matériel qui sera utilisé pour le programme OCP (d'où son nom : plateforme hydrologique type OMS 86).

Pour le BENIN, nous préconiserons donc l'installation de ce matériel pour :

- 1°) Les stations non encore équipées de limnigraphes (PENDJARI à PORGA, l'OUEME à BONOU, l'OUEME à HETIN SOTA, l'AGBADO à SAVALOU, la MEKROU à KEROU).
- 2°) Les stations où les hydrogrammes ne pourraient pas être fidèlement reconstitués par les quatre à six relevés par jour que permettent les balises Argos type "HYDRONIGER". C'est le cas des stations qui connaissent des crues brutales : l'IRANE à KOUTAKROUKROU, le COUFFO à LAHOUNTA, et des stations influencées par la marée : MONO à AGBANAKEN, SAZUE à SAZUE, Lac AHEME à GUEZZIN.

3°) Les stations non permanentes du réseau.

Pour les autres stations, sera choisie parce que moins onéreuse, la solution codeur + balise type "HYDRONIGER". Il faudra cependant se réserver la possibilité de transformer, sans retour en usine, le matériel qui sera mis en place, en plateformes hydrologiques type OMS 86. Sur la poulie de chacun de ces limnigraphes sera donc fixé un codeur qui digitalisera l'information hauteur d'eau. Cette information sera ensuite transmise par l'intermédiaire d'un câble à une balise Argos conditionné de la même façon que les "plateformes hydrologiques OMS 86". Il sera donc, dans le futur, très facile de changer la carte interface et d'adapter une SONDE SPI. CEIS-Espace peut fournir l'ensemble de ce matériel.

Pour les stations situées sur les lagunes, l'information "salinité" est aussi importante que l'information "hauteur d'eau". Il paraît donc souhaitable d'y mesurer la conductivité et la température. Deux solutions sont envisageables : adjoindre au limnigraphe des capteurs pour ces variables et faire modifier la programmation de la carte interface pour qu'elle puisse être intégrée aux messages émis, ou équiper ces stations de plateformes ELSYDE CHLOE A qui permet ces mesures. C'est ce type de matériel qui a été acheté dans le cadre de la Convention FAC de 1985 et installé sur le MONO à ATHIEME.

1.5.2. les appareils de contrôle :

Chacune des brigades devra être équipée d'un banc de test. Il ne nous paraît pas indispensable que soient affichés en "clair" les différents messages, mais suffisant de pouvoir connaître les 256 bits du message. La traduction "en clair" pourra se faire assez facilement avec une calculatrice multibase type HP 16 C.

Un terminal d'initialisation sera acheté pour les stations type OMS 86.

Pour les stations à limnigraphe à flotteurs, les décodeurs sont intégrés au matériel que propose CEIS-Espace.

2. La SRD :

La station de réception directe dont dispose le Service de l'Hydrologie est une station dite de première génération : elle n'est programmée que pour traiter les messages type "HYDRONIGER", ne garde en mémoire que les messages des deux derniers passages et ne sort les résultats que sur imprimante. Dans le cadre de l'automatisation du réseau, il est donc nécessaire de la modifier pour que d'une part elle puisse traiter n'importe quel type de message et alimenter sans phase de saisie les banques de données.

La SRD sera donc transformée en SRD de "deuxième génération" (SRD 86). Pour ces stations :

- la traduction des messages se fait à partir d'un fichier FORMAT que l'utilisateur peut mettre à jour ou compléter. La station peut donc traiter n'importe quelle balise ;

- la station garde en mémoire chaque message durant 20 jours ;
- les hauteurs d'eau sont conservées sur des fichiers à part (20 jours de données) et peuvent être transférées, soit automatiquement, soit par l'intermédiaire de disquette vers la banque de données.

Par ailleurs, ces SRD présentent d'autres avantages : prédiction des éphémérides des satellites, procédures d'alarme, disponibilités du calculateur de la station en dehors des périodes de réception des messages, etc., ce qui peut faciliter la gestion du réseau.

III. LE FONCTIONNEMENT DU RESEAU AUTOMATISE

1. Les tournées

Les tournées ne seront plus faites systématiquement selon le rythme imposé par l'autonomie des enregistreurs. On peut distinguer dans le cas d'un réseau automatisé, deux types de tournées :

a) les tournées "préventives"

Il y en aurait deux par an, en début et fin de saison des pluies. Au cours de ces visites, il serait procédé aux tâches suivantes :

- vérification des appareils : remplacement des pièces à bout de potentiels (piles internes des cartes interface tous les 5 ans environ par exemple), nettoyage des panneaux solaires ;
- remplacement du support des enregistrements (feuille ou cartouche EPROM)
- contrôle de l'état des échelles (un nivellement par an au minimum) ;
- jaugeages ;
- nettoyage des abords de la station (à cause des feux de brousse) et des sections de jaugeages.

b) des visites "curatives"

Elles auront lieu à une station quand sera détectée une anomalie de fonctionnement ou une cote à jauge. Si on se base sur l'étude pilote menée durant 3 ans au TOGO pour le compte de l'OMS, le risque de panne des balises est très faible (1/18 stations années) ; la fréquence des visites curatives va donc dépendre surtout de la qualité des étalonnages (cf. tableau VI). La plupart des stations (27/31) ont des tarages qui sont stables en moyennes et hautes eaux. Les jaugeages de basses eaux pouvant être assurés au cours des tournées "préventives" et sur certaines rivières par l'OCP, il ne sera nécessaire d'aller sur les sites que lorsque la plus

haute cote jaugée sera dépassée. Or actuellement pour la plupart des stations, le débit maximum jaugé a une période de retour de plus de 2 ans. En conséquence, il nous paraît raisonnable de tabler sur une fréquence moyenne de 1,5 visites/an/station.

La prise de décision d'envoyer sur une station la brigade hydrologique concernée que ce soit au cours d'une tournée curative ou préventive sera du ressort de l'ingénieur responsable du secteur qui devra suivre au jour le jour le fonctionnement des stations et l'évolution des hauteurs d'eau et des tarages.

Dans ce système, les visites à chaque station seront plus rares, il importe donc d'en tirer le maximum. C'est pourquoi nous proposerons les actions suivantes :

- le Chef de brigade devra remplir à chaque visite une fiche qui aura le double avantage d'être un "Check List" et un document archivable ;
- toutes les interventions faites sur les appareils devront être consignées dans un cahier qui restera dans l'abri de la balise ;
- les jaugeages seront dépouillés dès qu'ils seront terminés. Les résultats seront comparés à la courbe d'étalonnage en vigueur. En cas de grosse différence, la mesure sera recommencée. Ce travail de dépouillement peut se faire en moins d'une demi heure avec une calculatrice programmable (type HP 11C) ;
- le Chef de brigade devra donc avoir avec lui pour chaque station un dossier comportant un historique, une description avec éventuellement un profil en travers, les courbes d'étalonnages, la liste des jaugeages classés par cote (les 2 derniers types de document sont des sorties de routine du logiciel "HYDROM").

Ce que nous venons de présenter suppose un fonctionnement correct de la SRD. En cas de panne, il faudrait que la surveillance des stations puisse se faire à partir de la SRD de l'OCP à KARA. Ce qui est à notre avis possible et sera facilité par le réseau radio de l'OCP qui permettra à l'Hydrologue de l'OCP de contacter la brigade de PARAKOU.

2. Le traitement des données

Le logiciel "HYDROM" prévoit la possibilité d'avoir pour chaque station différents capteurs. Pour chaque station, il y aura donc au moins trois fichiers de hauteurs d'eau correspondant à trois capteurs : un pour les données télétransmises, un autre pour les données provenant des enregistrements, un autre pour l'agglomération des deux fichiers précédents.

RESEAU HYDROMETRIQUE DE LA REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN

QUALITE DES ETALONNAGES

Tableau VI

NOM DE LA STATION	STABILITE DE L'ETALONNAGE			MAX. JAUGE		PERIODE DE RETOUR (APPROX.) DU MAX. JAUGE
	BE	ME	HE	H (cm)	Q (m ³ /s)	
NIGER à MALANVILLE	v	b	b	512	2320	> 10 ans
ALIBORI						
Route KANDI-BANIKOARA	b	b	b	557	268	2 ans
MEKROU à KOMPOUGOU	b	b	b	802	274	> 10 ans
SOTA à KOUBERI	v	v	b	798	339	> 10 ans
IRANE à KOUTAKROUKROU	b	b	?	96	4.65	2 ans (?)
PENDJARI à PORGA	b	b	b	381	809	3 ans
MAGOU à TIELE	b	b	?	41	3.05	2 ans (?)
OUEME à AFFON	b	b	b	3.75	39.4	?
OUEME à BETEROU	b	b	b	536	792	5 ans
ALPOURO à GOUROU	b	b	b	6.85	40.1	> 5 ans
WEWE à WEWE	v	v	v	2.00	14,8	1 an
TEROU Cote 238	b	b	?	274	74.1	?
YEROUMARO à BAREROU	b	b	?	3.93	49.6	?
COUFFO à LAHOUNTA	v	v	b	6.05	82	2 ans
LAC AHAME à GUEZZIN	-	-	-	-	-	-
MONO à AGBANAKEN	-	-	-	-	-	-
MONO à ATHIEME	b	b	b	749	790	5 ans
OUEME à BONOU	v	b	b	744	994	7 ans
OUEME à HETIN SOTA	-	-	-	-	-	-
OUEME à SAGON	v	b	v	7.87	798	3 ans
OUEME au Pont de SAVE	b	b	b	562	829	1,5 ans
ADJIRO à BANON	b	b	b	200	17.6	?
ZOU à ATCHERIGBE	b	b	b	770	426	3 ans
ZOU à DOME	v	v	v	582	103	1 an
OKPARA à KABOUA	b	b	b	4.01	288	3 ans
BEFFA à VOSSA	b	b	b	3.00	443	?
AGBADO à SAVALOU	N	N	N	?	?	?
KLOU à LOGOZOHE	b	b	b	102	97	1 an
SAZUE						
Route LOME COTONOU	-	-	-	-	-	-

v : variable

b : stable

N : à étalonner

- : stations limnimétriques uniquement

En routine, la mise à jour de ces fichiers pourra se faire de la façon suivante : toutes les semaines le fichier "Base de données" stockées sur le disque dur de la SRD 86 sera transféré vers le micro ordinateur de la banque de données. Il nous paraît plus simple, vu la rapidité de ce travail, que ce transfert se fasse à l'aide de disquettes et non par l'intermédiaire d'une connexion directe entre les deux micro ordinateurs de la SRD et de la banque de données. Les différents enregistrements graphiques collectés au cours des tournées (curatives ou préventives) seront rapidement comparés au limnigramme télétransmis et ne seront entièrement dépouillés, et saisis, qu'en cas de défaillance des télétransmissions. Les cartouches EPROM seront, elles, transférées sur les fichiers hauteurs d'eau à l'aide du logiciel "HYDROM". La comparaison entre les limnigrammes télétransmis et enregistrés se fera graphiquement à l'aide du logiciel "HYDROM".

A la fin de chaque année, une fois précisées les courbes d'étalonnages, sera constitué automatiquement le fichier résultant de l'agglomération des fichiers "Télétransmission" et "enregistrement". C'est à partir de ce fichier que seront calculés les débits. Le travail de saisie sera donc réduit au strict minimum.

En cas de défaillance de la station de réception, deux solutions sont envisageables :

- avertir la base aérienne de l'OCP de KARA (ou d'ODIENNE) où une SRD identique sera en place, pour que soient sauvegardées les données en provenance de la République Populaire du BENIN.
- si pour une raison ou une autre, cela n'est pas possible, demander par Telex au Service Argos d'activer la procédure "BACKUP". Le Service Argos stockera alors les messages reçus en provenance des stations du BENIN et pourra les transmettre, sous forme de listings ou de bandes magnétiques au Service hydrologique. Il faut compter un délai de trois jours entre la demande et le démarrage de la procédure. Ce moyen ne sera qu'un pis aller, il coûte en effet plus cher (4600 FF/an/station contre 1439 FF/an/station) et surtout les données qui seront reçues ne pourront pas, sans traitement informatique préalable, être intégrées à la banque de données.

Dans le système que nous venons de décrire, le risque de lacune dans les données devient alors extrêmement faible, il faudrait soit que tombent en panne simultanément l'enregistreur et la balise, soit que les trois SRD 86 existant dans la région soient simultanément défaillantes.

IV. LE COUT D'EXPLOITATION DU RESEAU AUTOMATISE

1. Personnel :

Le temps que devront passer en tournée les brigades hydrologiques sera considérablement réduit : 84 jours par an pour l'ensemble des deux brigades contre 222 jours dans l'ancien système. Si on considère qu'à un jour de

tournée correspond une journée consacrée à la préparation ou à l'entretien du matériel, chacune des brigades hydrologiques n'aura à consacrer que moins de la moitié de son temps à la gestion du réseau et sera donc disponible pour d'autres tâches (travaux en régie par exemple).

Au niveau de la saisie, c'est environ quatre mois de technicien qui seront économisés.

Les tâches qui incombent aux ingénieurs ne seront que très légèrement réduites mais mieux réparties dans le temps.

Enfin, nous pensons qu'il serait inutile de conserver les lecteurs d'échelles, vu la grande fiabilité du système. Nous ne pensons pas également qu'il soit efficace de rémunérer pour chaque station un gardien qui ne pourra pas, de toute façon, être sur le site en permanence. Il nous paraît préférable et plus économique, lors de l'installation, d'expliquer aux populations des villages voisins, l'intérêt des appareils.

2. Budget annuel :

Le budget annuel du réseau automatisé est présenté dans les tableaux VII, VIII, IX et résumé dans le tableau X. (cf. annexe 1 pour le coût des tournées).

Dans ce budget, ne sont pris en compte que les dépenses que devra supporter la Direction de l'Hydraulique. Ainsi, nous n'avons pas comptabilisé les abonnements des balises HYDRONIGER et ONCHOCERCOSE.

Pour évaluer le coût de l'entretien des balises Argos, nous nous sommes basés sur l'expérience que nous avons eu au TOGO : 200 000 CFA pour 24 balises années. Nous avons majoré ce chiffre par souci de sécurité.

Dans ces conditions, le budget annuel s'élèverait à 13.4 MF CFA.

Le système Argos permettrait de réduire de plus de la moitié le chapitre frais de tournée et de supprimer celui des lecteurs d'échelles.

En revanche, il entraînerait quelques frais supplémentaires : abonnement obligatoire au système Argos (71 875 CFA/station/an), contrat de maintenance pour le micro ordinateur de la station (300 000 CFA/an), majoration des frais de téléphone (100 000 CFA/an).

Budget annuel (1)

A. Coût des tournées en CFA

A.I. Amortissement :

- véhicules	2 013 800
- matériel hydrométrique	207 750
- matériel divers	85 000

Total amortissement : 2 306 550

A.II. Fonctionnement :

- Essence	845 796
- Entretien véhicules	694 830
- Entretien matériel	85 000
- Frais de déplacement	637 500
- Main-d'oeuvre temporaire	118 000

Total fonctionnement : 2 381 126

Total coût des tournées : 4 687 676

Budget annuel (8)

Dépenses annuelles des bureaux de COTONOU et PARAKOU (en CFA)

B. Bureaux de COTONOU

B.I. Amortissement matériel de bureau 300 000

B.II. Fonctionnement :

- Eau et électricité	550 000
- Frais postaux	400 000
- Fourniture informatique	800 000
- Contrat de maintenance matériel informatique	800 000
- Essence	200 000
- Frais de mission (en RPB)	200 000

Total B.II. : 3 400 000

C. Fonctionnement des bureaux de PARAKOU

- Eau et électricité	750 000
- Téléphone et frais postaux	120 000
- Fourniture papeterie	120 000

Total C. : 390 000

Total B + C = 4 090 000

Budget annuel (3)

Autres coûts en CFA

D. Matériel implanté sur les stations (stations du SHN)

I. Amortissement (hors matériel Argos)

- Limnigraphe	875 000
- Echelles	250 000
	<hr/>
	1 025 000

II. Fonctionnement :

- Consommables (diagrammes, etc.)	300 000
- Entretien et réparation balise	500 000
- Abonnement Argos (15 balises)	1 078 125
	<hr/>
	1 878 125

E. Lecteur d'échelles 0

F. Edition de l'annuaire 700 000

Budget annuel du réseau (avec Argos)

Récapitulatif en CFA

	Amortissement	Fonctionnement
A. Frais de tournées	2 306 550	2 381 126
B. Bureaux COTONOU	300 000	3 400 000
C. Bureaux de PARAKOU	-	390 000
D. Matériel implanté sur les stations	1 025 000	1 878 125
E. Lecteur d'échelles	-	0
F. Edition des annuaires	-	700 000
G. Imprévus	-	1 000 000
	<hr/>	<hr/>
	3 631 550	9 749 251

TOTAL : 12 380 801

ARRONDI à 13 400 000 CFA

V. LES INVESTISSEMENTS A REALISER ET RENTABILITE

Pour mettre en place un tel réseau, les investissements à réaliser sont les suivants (en CFA) :

- 11 plateformes hydrologiques type OMS (86)	42 900 000
- 4 équipements pour limnigraphes à flotteurs (balise + codeur + guérites)	11 000 000
- 1 terminal d'initialisation pour les plateformes hydrologiques type OMS 86	2 200 000
- 1 banc de test	2 400 000
- Modification de la SRD	5 500 000
- 20 mouvements d'horlogerie OTT (réf. 950 001) permettant une autonomie d'un an des limnigraphes à flotteurs	1 200 000

Soit un total de 61 300 000 F CFA

Pour évaluer la rentabilité de ces investissements, il faut tenir compte à la fois :

- des économies réalisées dans le budget annuel (3,6 M CFA). Il faut cependant souligner les nombreuses incertitudes qu'il comporte ; notamment la fréquence des visites curatives et les coûts réels d'entretien des balises. Il semblerait que nous aurions plutôt surestimé ces postes ;
- de la plus grande disponibilité du personnel qui pourra alors se consacrer à d'autres tâches. Cela devrait, par exemple, faciliter au sein du Service Hydrologie le développement d'un secteur "étude". On peut chiffrer ce gain à 3 M CFA ;
- de l'amélioration de la qualité des données (plus de lacunes, étalonnages corrects) et du raccourcissement entre la collecte et la diffusion de ces données. Ce gain n'est pas chiffrable.

La généralisation du système Argos à l'ensemble du réseau serait donc amorti en moins de 9 ans.

VI. PROPOSITION D'UN CALENDRIER POUR LA MISE EN PLACE D'UN TEL RESEAU

Ne seront équipées dans un premier temps que les stations pour lesquelles le système Argos est le plus rentable, c'est-à-dire celles où des mesures de débits sont nécessaires. Durant un an sera exploité ce réseau, seront mises au point les différentes procédures et sera évalué de façon plus précise que nous avons pu le faire, le budget annuel. Le système Argos sera ensuite éventuellement étendu aux stations situées sur les plans d'eau (AGBANAKEN, SAZUE, HETIN SOTA, PORTO-NOVO, LAC AHEME).

Pratiquement, nous proposons pour la réalisation des travaux le calendrier suivant :

les six premiers mois :

- commande du matériel détaillé dans le tableau XI,
- prise de contact avec OCP et HYDRONIGER pour définir la collaboration à instaurer entre ces projets d'une part et le SH d'autre part : travail des jaugeurs, interventions en cas de panne, utilisation éventuelle des SRD par l'autre partenaire, etc.,
- au cours du sixième mois, installation du matériel (en moins de trois semaines).

du septième mois au dix huitième mois :

Le mode d'exploitation que nous avons décrit plus haut n'est qu'un canevas qui devra être complété pour répondre aux différentes contraintes qui apparaîtront à l'usage. Cette première année d'exploitation du réseau automatisé devra donc permettre la mise au point des différentes procédures.

Il faudrait également qu'au cours de cette première année, soient levées les incertitudes rencontrées dans l'établissement du budget. Une comptabilité analytique devra donc être tenue pour définir les coûts réels de l'exploitation du réseau. Cela permettra d'évaluer la rentabilité du système, et surtout de définir les limites des extensions possibles de ce réseau.

A l'issue de ces dix huit mois, seront éventuellement installés des équipements Argos sur les stations situées sur les lagunes.

Tableau XI

Détail du matériel à commander

Matériel	Fournisseur	Coût approximatif (CFA)
6 plateformes hydrologiques type OMS 86 (MEKROU à KEROU, IRANE à KOUTAKROUKROU, PENDJARI à PORGA, KOUFFO à LAHOUNTA, OUEME à BONOU, AGBADO à SAVALOU)	CEIS-Espace	23 400 000
4 adaptations de limnigraphe à flotteurs au système Argos	CEIS-Espace	11 000 000
1 modification de la SRD. Le micro ordinateur de la SRD devra être identique à celui de la banque de données. La SRD devra pouvoir aussi traduire les messages type CHLOE A.	CEIS-Espace	5 500 000
20 mouvements d'horlogerie longue durée (réf. OTT 950.001)	OTT (ou WILD) FRANCE)	1 200 000
	<hr/>	<hr/>
	Total	41 100 000

LES AUTRES AMELIORATIONS POSSIBLES

Dans les chapitres précédents, nous avons détaillé l'intérêt que présenterait le système Argos pour l'exploitation du réseau et essayé de préciser sa rentabilité. Nous allons maintenant voir s'il n'est pas possible d'envisager des améliorations et dans l'architecture du réseau et dans l'organisation du service.

I. DANS L'ARCHITECTURE DU RESEAU

Le réseau dans sa forme actuelle représente le réseau minimum : il ne permet le contrôle que des principales rivières de la République Populaire du BENIN et il n'y a pas de redondance entre les données observées aux diverses stations.

Faut-il le compléter en équipant d'autres sites ? et dans ce cas quels sont ces sites ?

Pour répondre à ces questions, il est nécessaire, en dehors des considérations hydrologiques, de connaître à la fois les régions où à terme des aménagements hydrauliques seront nécessaires et, le budget du SH étant limité, le prix de revient annuel des stations qu'il faudrait créer.

1. Les besoins

La définition des régions à aménager est assez délicate puisqu'il faudrait pour cela connaître les besoins prévisibles en eau, que ce soit pour l'alimentation en eau potable, pour l'agriculture ou pour la fourniture d'énergie. Ce travail dépasse le cadre de cette étude ; nous n'avons d'ailleurs pas à notre disposition les données démographiques nécessaires. Nous disposons cependant de quelques éléments de réponses :

- en ce qui concerne l'alimentation en eau potable. Jusqu'à présent il a été largement fait appel aux eaux souterraines. Les modes de réalimentation des nappes étant mal connus en milieux fissurés, il paraît raisonnable de se donner les moyens d'étudier près de chaque centre urbain les possibilités qu'offrent les eaux de surface ;
- en ce qui concerne les besoins en eau pour la production d'énergie. Un inventaire de tous les sites de barrages du BENIN a été réalisé pour la CEB (1) par le bureau d'étude GIBB & PARTNERS (2). Parmi tous ces sites, 21 ont été sélectionnés comme présentant une potentialité hydroélectrique importante et 5 de ceux-ci ont été classés comme prioritaires compte tenu de leurs coûts de production. L'ensemble de ces sites est représenté sur la carte n° 1.

(1) Communauté électrique du BENIN

(2) "Etude d'inventaires des ressources hydroélectriques potentielles du TOGO et du BENIN et Plan directeur de développement de la Production et du Transport" SIR A. GIBB & PARTNERS - C.E.B Mars 1984.

- en ce qui concerne l'agriculture. Il n'y a pas à notre connaissance de plan directeur des aménagements hydroagricoles. Si on écarte les éventuels grands paramètres irrigués à proximité des sites de barrages définis plus haut et ceux situés près des lagunes, il semblerait que la priorité soit actuellement donnée aux petits aménagements. Par ailleurs, vu l'importance de la population dans la zone cotière, une mise en valeur des lagunes sera peut-être nécessaire.

Il n'est à notre avis pas possible, vu les moyens dont dispose le SH, que soient contrôlés les écoulements sur tous les petits bassins versants. L'objectif du réseau hydrométrique national sera donc la fourniture de données hydrologiques pour les sites de barrages reconnus et pour les lagunes.

A trois des cinq sites prioritaires (ADJARALLA sur le MONO, ASSANTE et KETOU sur l'OUEME), on dispose déjà de bonnes données hydrologiques (TETETOU et ATHIEME, Pont de SAVE, SAGON). Au site d'OLOUGBE, les apports pourraient être estimés à partir de ceux observés à BETEROU et à la station sur la TEROU, il faudrait pour estimer les crues connaître leur mode de propagation entre la confluence avec la TEROU et OLOUGBE. Sur le site de BATCHANGA aucune donnée n'est disponible, mais la création de la station de BATIA par le programme OCP complètera cette lacune.

Pour les autres sites retenus, le réseau actuel permettrait la fourniture de données satisfaisantes, excepté pour les sites 38 et 39 près de NATTINGOU et le site 17 sur l'AGBADO.

En ce qui concerne le système lagunaire, le Lac NOKOUE est insuffisamment contrôlé, et on peut difficilement évaluer les apports rentrant dans le Lac AHAME. Il faudrait également mesurer en continu la conductivité et la température de l'eau.

2. Possibilités

Nous sommes partis du principe que, sauf exception, toutes les stations devaient être facilement accessibles. Nous avons donc fait l'inventaire des sites possibles, c'est-à-dire des intersections des rivières un peu importantes avec les routes ou les pistes. Outre les stations du réseau, nous en avons retenu 15 qui sont représentés sur la carte n°1 et analysés dans les tableaux XII à XIV. 5 de ces sites nous paraissent sans intérêt. Pour les 10 restant, compte tenu de ce qui précède, nous proposons le classement suivant par ordre de priorité :

<u>Priorité 1 :</u>	V2	Stations permettant de préciser des paramètres hydrologiques pour les sites de barrages reconnus.
	V1	
	K1	
	02	
	05	
	03	

Tableau XII

Intérêt des sites de stations hydrométriques reconnus
comme facilement accessibles

1. BASSIN de L'OTI

N° du site	Rivière	B.V. contrôlé km ²	Coût* annuel d'exploit- ation	Intérêt hydrologique	Intérêt économique
V1	KOUMAGOU	338	15 000	Contrôle des écoulements en provenance de l'ATACORA	Proximité d'un site de barrage hydroélectrique pouvant desservir MANTA, BOUKOMBE, NATITINGOU
V2	TIATIKO	256	62 000	Contrôle des écoulements en provenance de l'ATACORA	Proximité d'un site de barrage hydroélectrique pouvant alimenter NATITINGOU
V	TEMA	238	62 000	Contrôle des écoulements en provenance de l'ATACORA	RAS
V4	INA ISSIRE	644	62 000	Contrôle des écoulements en provenance de l'ATAGORA. Exploitation plus aisée que V1, V2 et V3	RAS

* Coût annuel (en CFA) approximatif établi en supposant la station étalon-
née. La rapidité des crues des rivières ne rend pas souhaitable l'utili-
sation du système Argos. Nous avons donc supposé que ces stations
seraient visitées lors des tournées vers PORGA. Le coût indiqué repré-
sente donc les frais supplémentaires. Les frais de traitement des don-
nées ne sont pas inclus.

Intérêt des sites de stations hydrométriques reconnus
comme facilement accessibles

2. BASSIN du NIGER

N° du site	Rivière	B.V. contrôlé km ²	Coût annuel d'explo- tation	Intérêt hydrologique	Intérêt économique
N1	MEKROU	418	160 000*	Contrôle des écoulements de la haute MEKROU (intérêt limité)	RAS
N2	ALIBORI	202	225 000*	Contrôle des écoulements du haut ALIBORI (intérêt limité)	RAS
N3	BOULI	2 088	170 000	Contrôle de cet impor- tant affluent de la SOTA	RAS, mais limité vu la faible den- sité de popula- tion de la zone
N4	TASSINT	637	136 000*	Contrôle du haut bassin de la SOTA	Idem que N3
N5	OLI	972	175 000	Contrôle de cette rivière	Idem que N4

Les coûts annuels ont été établis en supposant les stations étalonnées et sans compter les frais de traitement des données.

* Pour ces stations, l'utilisation du système Argos ne paraît pas souhaitable. Nous avons donc supposé qu'elles étaient visitées au cours de tournées vers d'autres sites.

Intérêt des sites de stations hydrométriques reconnus
comme facilement accessibles

3. BASSIN de l'OUEME et du KOUFFO
(non compris les zones deltaïques)

N° du site	Rivière	B.V. contrôlé km ²	Coût annuel d'exploit- tation	Intérêt hydrologique	Intérêt économique
01	DONGA	652	62 000*	Avec les stations d'AFON et de GOUROU, permet de bien connaître les écoulements du haut bassin	RAS
02	OKPARA	2 293	80 000	Cette station existait jusqu'en 69. Elle permet de contrôler les écoulements de l'OKPARA dans sa partie amont	Proximité de PARAKOU Aménagement agricole
03	OUEME	20 000 env.	238 000	L'observation durant quelques années permettrait l'évaluation des apports en cet endroit de l'OUEME et de préciser le mode de propagation des crues	Sites de barrages "prioritaires" d'ASSANTE et d'OLOUGBE
04	OKPARA	10 000 env.	225 000	Contrôlerait les apports de l'OKPARA juste à l'amont de la confluence avec l'OUEME	Sites de barrages à proximité. Mais région très peu peuplée.
05	ZOU	2 020	210 000	Cette station existait en 58. Permettrait de compléter la connaissance du ZOU	Estimation des apports au site 17 compte tenu de la station d'ATCHERIGBE
K1	KOUFFO	3 060	130 000	Permettrait le contrôle des apports dans le Lac AHEME et l'évaluation de l'écoulement entre LANTA et le Lac	Eventuelle mise en valeur du Lac AHEME. Région très peuplée

Les coûts annuels ont été établis en supposant les stations étalonnées et sans compter les frais de traitement des données.

* Pour cette station, l'utilisation du système Argos ne paraît pas souhaitable. Nous avons donc supposé qu'elle serait visitée au cours de trajets vers d'autres sites.

Priorité 2 : 01 Station dont l'exploitation serait peu onéreuse et permettrait de compléter le réseau de l'OUEME supérieur.

Priorité 3 : N3 Stations dont l'exploitation reviendrait relativement
N4 chère mais intéressante d'un point de vue hydrologique.
04

Toutes ces stations ne seraient pas nécessairement permanentes : la station V1 pourrait être abandonnée après avoir défini les relations entre les apports à cette station et à V2. 03 ne serait observée que le temps nécessaire à la précision des phénomènes de propagation de crue entre BETEROU et SAVE. Une fois établies les corrélations entre 04 et KABOUA, une de ces deux stations serait abandonnée.

Sur le Lac NOKOUE, 3 stations pourraient être installées : une au Nord Ouest près de GANVIE, une au niveau du chenal reliant le Lac à la mer et une à l'entrée du bras en provenance de la lagune de PORTO-NOVO. Pour cette dernière station, il serait souhaitable d'installer un courantomètre pour préciser les échanges entre ces lagunes. Du fait de la proximité de COTONOU, l'exploitation de ces 3 stations serait peu onéreuse, environ 60 000 CFA/an/station.

II. DANS L'ORGANISATION DU SERVICE

Plusieurs améliorations peuvent être envisagées :

- le renforcement de l'antenne de PARAKOU,
- le mode de diffusion des données,
- le développement d'un secteur "études".

1. Le renforcement de l'antenne de PARAKOU

Actuellement, l'antenne de PARAKOU ne sert que de base arrière à la brigade hydrologique du secteur Nord. Jusqu'à présent, cela se justifiait dans la mesure où les brigades étaient presque exclusivement employées aux tournées.

Grâce au Système Argos, le plan de charge de ce personnel va être allégé, il est donc disponible pour d'autres tâches.

D'autre part, d'un point de vue purement technique, il semble souhaitable que la SRD soit implantée à PARAKOU et non pas à COTONOU : PARAKOU est au centre du réseau de balises, la réception sera donc meilleure et il sera également plus facile de coordonner les activités des brigades hydrologiques du Service et de l'OCP puisque le secteur OCP de PARAKOU est relié par radio à la base de KARA.

La SRD étant développée autour d'un micro ordinateur identique à celui de la banque de données, il serait possible d'y transférer HYDROM et une partie des fichiers.

Nous proposons donc qu'un ingénieur soit affecté à PARAKOU et qu'il soit chargé de coordonner le travail des brigades hydrologiques, des contacts avec l'OCP et d'être pour le Nord du Pays le représentant du SH à la fois pour la diffusion des données, des études éventuelles et des conseils aux aménageurs.

2. Le mode de diffusion des données

Le mode de diffusion des données (les annales hydrologiques) choisi actuellement et qui se justifiait quand le SH ne disposait pas de moyens informatiques, présente au moins trois inconvénients : il revient cher, les données ne sont pas toujours fournies aux utilisateurs sous la forme désirée, il retarde la mise à disposition de ces données.

Nous proposons donc qu'à la place de ces annales, soit publié chaque année et très rapidement, un catalogue des données disponibles, les observations faites et les différentes sorties possibles d'HYDROM. L'utilisateur pourra alors contacter le SH pour recevoir celles qu'il aura choisies, sous la forme souhaitée. Il est envisageable alors de demander à l'utilisateur de participer aux frais.

A côté de ce catalogue, tous les 5 ans environ, le SH pourrait publier un recueil présentant pour chacune des stations les principales caractéristiques hydrologiques : apports, étiages, crues, etc.

3. Le développement d'un secteur "études" au sein du SH

Le personnel actuel du SH ne sera pas occupé à temps complet par la gestion du réseau, il sera donc possible de développer un secteur "études" au sein de ce service. Les études pourront être de deux types :

- des études ponctuelles faites en vue d'aménagements particuliers. Les travaux seront soit l'objet de contrat, soit réalisés pour le compte d'organisations nationales. Il serait souhaitable en outre que tout ce qui est réalisé en hydrologie au BENIN fasse l'objet d'un contrôle du SH qui pourra ainsi acquérir des données qu'il n'est pas possible de collecter par le réseau ;
- des études de plus longue haleine et qui pourraient faire accessoirement l'objet de thèse pour les ingénieurs du service : modélisation du bassin de l'OUEME, synthèse régionale, étude du système lagunaire, etc.

Toutefois, ce genre d'activité ne pourra vraiment commencer qu'une fois mis en place et rodé le nouveau système d'exploitation du réseau.

CONCLUSION

Des propositions contenues dans ce rapport, la plus importante est celle préconisant la généralisation du système Argos sur le réseau hydrométrique national. C'est une chose relativement nouvelle en Afrique. Le mode d'exploitation que nous avons proposé n'est donc qu'un schéma qu'il faudra modifier suivant les contraintes qui apparaîtront à l'usage.

Nous avons toutes les raisons de penser que l'emploi du système Argos, en diminuant les coûts d'exploitation du réseau et en allégeant le plan de charge du personnel permettra au SH d'exécuter les tâches dont il est, par décret, chargé.

ANNEXES

ANNEXE 1 : l'estimation du budget annuel

1a : les frais de tournée

1b : les autres frais

- description des tournées et leurs coûts

ANNEXE 2 :

2a : description sommaire du système Argos

2b : les messages émis par les balises

ANNEXE 1 : Estimation du budget annuel (en CFA)

1. Les frais de tournée :

1.1. Estimation de la durée des tournées

Nous avons évalué la durée de toutes les durées possibles en supposant :

1°) que les vitesses moyennes sur route, sur bonnes pistes et mauvaises pistes étaient respectivement de 70, 50 et 30 km/h.

2°) que la durée des jaugeages était de 1 h en basses eaux et 2 h en hautes eaux pour les petites rivières, de 2 h et 4 h pour les rivières plus importantes, de 6 h en hautes eaux pour MALANVILLE.

3°) qu'il fallait majorer les temps calculés de la façon précédente, de 20 % pour tenir compte des impondérables.

1.2. Frais de déplacement : prix égaux à ceux qui étaient en vigueur lors de la convention précédente
(7 500 F/j/brigade hydrologique)

1.3. Amortissement matériel :

- amortissement véhicule	: 100 F/km
- amortissement matériel de jaugeage basses eaux	: 1 000 F/jaugeage
- amortissement matériel hydrométrique hautes eaux	: 1 750 F/jaugeage
- amortissement zodiac et moteur HB	: 1 500 F/jaugeage
- amortissement matériel divers	: 1 000 F/jour

Soit un amortissement en 2 000 jaugeages du matériel hydrométrique et en 1 000 jaugeages du matériel navigant.

La rubrique matériel divers correspond à l'outillage (environ 300 000 CFA) et au matériel de campement (environ 200 000 F), etc.

1.4. Main-d'oeuvre temporaire :

2 jours de main-d'oeuvre par jour de tournée de hautes eaux (2 000 F/j)
1/2 journée de main-d'oeuvre par jour de tournée de basses eaux (500 F/j)

1.5. Essence et lubrifiants : 4 200 F/100 km

1.6. Entretien véhicules : 35 F/km

1.7. Entretien matériel : 1 000 F/jour de tournée

Avec les chiffres précédents, nous avons calculé le prix de revient de toutes les tournées possibles et choisi la solution la plus économique pour assurer une visite mensuelle 11 mois par an, à chaque station : (3 visites de hautes eaux, 8 visites de basses eaux). La description des tournées et leur prix de revient sont indiqués dans les tableaux des pages suivantes :

2. Autres frais

- l'amortissement des limnigraphes a été calculé sur 20 ans, des échelles limnimétriques sur 5 ans ;
- les coûts de fonctionnement correspondent à l'achat des consommables (diagrammes, plumes, etc.) soit environ 12 000 F par an et par station ;
- le contrat de maintenance du matériel informatique a été calculé sur la base de 12 % du prix du matériel couvert par le contrat ;
- dans l'amortissement du matériel de bureau, nous n'avons pris en compte que la photocopieuse (amortissement en 5 ans).

COUT DE LA TOURNÉE N° 1

PARAKOU MALANVILLE KEROU HAUTES EAUX

Nb de km parcourus : 1 052
Nb de jours de tournées .. : 7

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 105 200
Materiel hydrometrique..... : 29 250
Materiel divers..... : 7 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 141 450

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 44 184
Entretien vehicules..... : 36 820
Entretien materiel..... : 7 000
Frais de deplacement..... : 52 500
Main d'oeuvre temporaire... : 14 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 154 504

COUT TOTAL : 295 954 Cfa

COUT DE LA TOURNEE N° 2

PARAKOU MALANVILLE KEROU BASSES EAUX

Nb de km parcourus 1 052
Nb de iours de tournées .. 5

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules.....	:	105 200
Materiel hydrometrique.....	:	11 250
Materiel divers.....	:	5 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 121 450

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence.....	:	44 184
Entretien vehicules.....	:	36 820
Entretien materiel.....	:	5 000
Frais de deplacement.....	:	37 500
Main d'oeuvre temporaire...	:	5 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 128 504

COUT TOTAL : 249 954 Cfa

COUT DE LA TOURNÉE N° 3

PARAKOU PORGA HAUTES EAUX

Nb de km parcourus : 858
Nb de jours de tournées .. : 8

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 85 800
Matériel hydrometrique..... : 35 750
Matériel divers..... : 8 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 129 550

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 36 036
Entretien vehicules..... : 30 030
Entretien materiel..... : 8 000
Frais de deplacement..... : 60 000
Main d'oeuvre temporaire... : 16 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 150 066

COUT TOTAL : 279 616 Cfa

COUT DE LA TOURNEE N° 4

PARAKOU PORGA BASSES EAUX

Nb de km parcourus 858
Nb de jours de tournées .. 5

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 85 800
Materiel hvdrometrique..... : 11 000
Materiel divers..... : 5 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 101 800

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 36 036
Entretien vehicules..... : 30 030
Entretien materiel..... : 5 000
Frais de deplacement..... : 37 500
Main d'oeuvre temporaire... : 5 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 113 566

COUT TOTAL : 215 366 Cfa

COÛT DE LA TOURNÉE N° 5

PARAKOU OUEST ARGOS VISITES CURATIVES

Nb de km parcourus: 2 400
Nb de jours de tournées ..: 13

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 240 000
Matériel hydrometrique..... : 39 000
Matériel divers..... : 13 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 292 000

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 100 800
Entretien vehicules..... : 84 000
Entretien materiel..... : 13 000
Frais de deplacement..... : 97 500
Main d'oeuvre temporaire... : 26 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 321 300

COÛT TOTAL : 613 300 cfa

COUT DE LA TOURNEE N° 7

PARAKOU EST ARGOS VISITES CURATIVES

Nb de km parcourus: 3 851
Nb de jours de tournées ..: 14

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 385 100
Materiel hydrometrique..... : 35 750
Materiel divers..... : 14 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 434 850

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 161 742
Entretien vehicules..... : 134 785
Entretien materiel..... : 14 000
Frais de deplacement..... : 105 000
Main d'oeuvre temporaire... : 0

TOTAL FONCTIONNEMENT : 415 527

COUT TOTAL : 850 377 Cfa

COUT DE LA TOURNEE N° 25

COTONOU AGBANAKEN BANON BEFFA SAGON DOME H. EAUX

Nb de km parcourus : 1 174
Nb de jours de tournées .. : 10

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 117 400
Materiel hydrometrique..... : 45 500
Materiel divers..... : 10 000

TOTAL AMORTISSEMENT : ----- 172 900

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 49 308
Entretien vehicules..... : 41 090
Entretien materiel..... : 1 000
Frais de deplacement..... : 75 000
Main d'oeuvre temporaire... : 10 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : ----- 176 398

COUT TOTAL : 349 298 Cfa

COUT DE LA TOURNEE N° 26

COTONOU AGBANAKEN BANON BEFFA SAGON DOME B EAUX

Nb de km parcourus : 1 174
Nb de jours de tournées .. : 7

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 117 400
Materiel hydrometrique..... : 14 000
Materiel divers..... : 7 000

TOTAL AMORTISSEMENT : -----
138 400

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 49 308
Entretien vehicules..... : 41 090
Entretien materiel..... : 700
Frais de deplacement..... : 52 500
Main d'oeuvre temporaire... : 14 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : -----
157 598

COUT TOTAL : 295 998 Cfa

COUT DE LA TOURNÉE N° 27

COTONOU HETIN SOTA BONOU

HAUTES EAUX

Nb de km parcourus: 228
Nb de jours de tournées ..: 1

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 22 800
Materiel hydrometrique..... : 3 250
Materiel divers..... : 1 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 27 050

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 9 576
Entretien vehicules..... : 7 980
Entretien materiel..... : 100
Frais de deplacement..... : 7 500
Main d'oeuvre temporaire... : 1 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 26 156

COUT TOTAL : 53 206 Cfa

COUT DE LA TOURNEE N° 28

COTONOU HETINSOTA BONOU

BASSES EAUX

Nb de km parcourus: 228
Nb de jours de tournées ..: 1

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 22 800
Materiel hydrometrique..... : 1 000
Materiel divers..... : 1 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 24 800

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 9 576
Entretien vehicules..... : 7 980
Entretien materiel..... : 100
Frais de deplacement..... : 7 500
Main d'oeuvre temporaire... : 0

TOTAL FONCTIONNEMENT : 25 156

COUT TOTAL : 49 956 Cfa

COUT DE LA TOURNÉE N° 43

B.H A COTONOU VISITE CURATIVE ARGOS HE

Nb de km parcourus: 7 263
Nb de jours de tournées ..: 22

AMORTISSEMENTS (en cfa) :

Vehicules..... : 726 300
Materiel hydrometrique..... : 58 500
Materiel divers..... : 22 000

TOTAL AMORTISSEMENT : 806 800

FONCTIONNEMENT (en cfa) :

Essence..... : 305 046
Entretien vehicules..... : 254 205
Entretien materiel..... : 2 200
Frais de deplacement..... : 165 000
Main d'oeuvre temporaire... : 44 000

TOTAL FONCTIONNEMENT : 770 451

COUT TOTAL : 1 577 251 Cfa

Description des tournées

Les n° impairs correspondent aux tournées de hautes eaux, les n° pairs à celles de basses eaux.

1. PARAKOU - GOUROU - KOUTAKROUKROU - SOTA Route KANDI-SEGBANA - MALANVILLE - ALIBORI - KOMPONGOU - KEROU et retour.
2. Idem que 1. Basses eaux
3. PARAKOU - WEWE - DJOUGOU - AFON, TIELE - PORGA - BAREROU - TEROU
4. Idem que 3. Basses eaux
5. Visites curatives Argos (1,5 fois/an) aux stations de PORGA, AFFON, BETEROU (1,5 aller retour pour chaque station)
7. Visites curatives Argos (1,5 fois/an) aux stations de MALANVILLE - GOUROU - SOTA - ALIBORI - KOMPONGOU - KEROU
- 25 COTONOU - ATHIEME - LAHOUNTA - ACHERIGBE - LOGOZOHE - SAVALOU - BANON - SAVE - KABOUA - SAGON - DOME - COTONOU
- 26 Idem que 25 en Basses eaux
- 27 COTONOU - PORTO-NOVO - HETIN SOTA - BONOU
- 28 Idem que 27 en Basses eaux
- 43 Visites curatives Argos (1,5 fois/an) secteur Sud

NOTA : Nous avons envisagé également une décentralisation plus poussée du service : 4 brigades hydrologiques basées à KANDI, DJOUGOU, DASSA et COTONOU. Le gain annuel sur les frais de tournée que procurerait cette solution s'élèverait à environ 1,5 M F CFA. Ce qui est insuffisant pour l'adopter compte tenu des frais que créerait le recrutement de 2 brigades supplémentaires, et l'installation de 2 nouvelles bases. Par ailleurs, il serait difficile d'occuper à temps complet le personnel de 4 brigades.

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SYSTEME ARGOS

Comme tout système de télétransmission de données par satellite, le système Argos comprend un ensemble de plates-formes, collectrices de données, qui émettent des messages ; ces messages sont reçus par un satellite puis retransmis à des stations de réception qui traitent ces données.

1. Les plates-formes :

- les plates-formes du système Argos émettent en permanence, selon une certaine périodicité, une onde, porteuse ou non d'un message codé fonction des variables mesurées par les capteurs (256 bits au maximum) ;
- chaque plate-forme émet indépendamment des autres ;
- la fréquence d'émission est la même pour chacune des plates-formes (401,650 MHZ) ;
- les messages des plates-formes en visibilité d'un satellite se présentent de façon aléatoire à l'entrée du récepteur du satellite ;
- la séparation des messages est obtenue :
 - . dans le temps : par la non synchronisation des émissions et des périodes de répétitions différentes,
 - . en fréquence : par des décalages différents de la fréquence porteuse dus à l'effet DOPPLER. Le satellite peut traiter jusqu'à quatre messages à la fois pourvu qu'il y ait décalage en fréquence.

2. Les satellites :

- le système Argos a deux satellites à orbite polaire héliosynchrone (c'est-à-dire qu'un point donné de la terre est vu par le satellite toujours aux mêmes heures de la journée) ;
- instantanément, le satellite voit toutes les plates-formes situées à l'intérieur d'un cercle de 5 000 km de diamètre centré sur le point sous satellite ;
- le nombre de fois par jour qu'une plate-forme est vue par un des satellites varie suivant la latitude (7 à 8 à l'équateur, 28 aux pôles) ;

- au fur et à mesure que les messages sont reçus par le satellite, ils sont traités (mesure de la fréquence, datation du message, collecte des données transmises). Les informations obtenues sont ensuite codées puis mises en mémoire sur des enregistreurs magnétiques embarqués. Ces enregistreurs sont ensuite lus à chaque passage au-dessus des stations de télémesure.

Par ailleurs, chaque satellite réémet (sur 136,77 et 137,77 MHz) en continu les messages issus des plates-formes - ceux-ci peuvent donc être reçus par des stations de réception indépendantes se trouvant en visibilité du satellite.

3. Les stations de réception :

a) - Les stations de télémesure et de traitement

Ce sont les stations de WALLOPS ISLAND (USA), GILMORE CREEK (USA), LANNION (France), à partir desquelles sont lues les données stockées dans les mémoires du satellite. Une fois les informations reçues, elles sont transmises au NESS (National Environmental Satellite Service) à SUITLAND (USA). Les données propres au système Argos sont alors séparées de celles des autres équipements du satellite puis transmises au CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) à TOULOUSE (France) où se trouve le Centre de traitement Argos. Là, les données sont traitées : localisation si nécessaire des plates-formes, décodage des informations. Puis ces données sont transmises aux utilisateurs par le moyen choisi : téléphone, télex, système GTS (réseau international des télécommunications météorologiques), etc..

L'utilisateur peut également se brancher par télex directement sur l'ordinateur du CNES pour obtenir les dernières données télétransmises.

Par ailleurs, les données reçues peuvent être stockées sur un fichier informatique (fichier DISPOSE) et mises à disposition de l'utilisateur sur sa demande et sous différentes formes (listings, bandes magnétiques).

b) - Les stations de réceptions indépendantes

Les stations de réception indépendantes permettent de recevoir les données retransmises en continu par chacun des satellites. Elles reçoivent donc les données collectées par les plates-formes situées dans un rayon de 2 000 km environ autour du point où est implantée cette station.

4. Le coût :

Le coût d'utilisation du système Argos va dépendre des prestations qui seront fournies par le système.

Dans le cas du projet présenté ici, le programme étant couvert par un contrat global, les principaux tarifs sont les suivants :

- "MONITORING" (obligatoire - aucune prestation n'est fournie par le CNES) 1 437,50 FF/an/station
- "BACKUP" (permet à l'utilisateur de récupérer les données en cas de déficience des SRD) 4 600,00 FF/an/station
- Fournitures de bandes magnétiques : 714 FF (1 200 FT)
903 FF (2 400 FT)
- Fournitures de listings : 147 FF/50 pages

L'unité de tarification est la plateforme jour

Les messages émis par les balises

A partir des données reçues des différents capteurs, un microprocesseur dans la balise agence un message obéissant aux contraintes imposées par le système Argos :

- une partie fixe sur 48 bits qui permet aux satellites et aux stations de réception la lecture du message et l'identification de la balise ;
- une partie utile (sur 256 bits au maximum) où sont codés les différents paramètres mesurés.

La partie utile peut donc comporter n'importe quelle information, il suffit de connaître la structure du message émis pour pouvoir le décoder au niveau du SRD.

Dans le cas des balises HYDRONIGER, la structure du message utile est la suivante (sur 128 bits uniquement) :

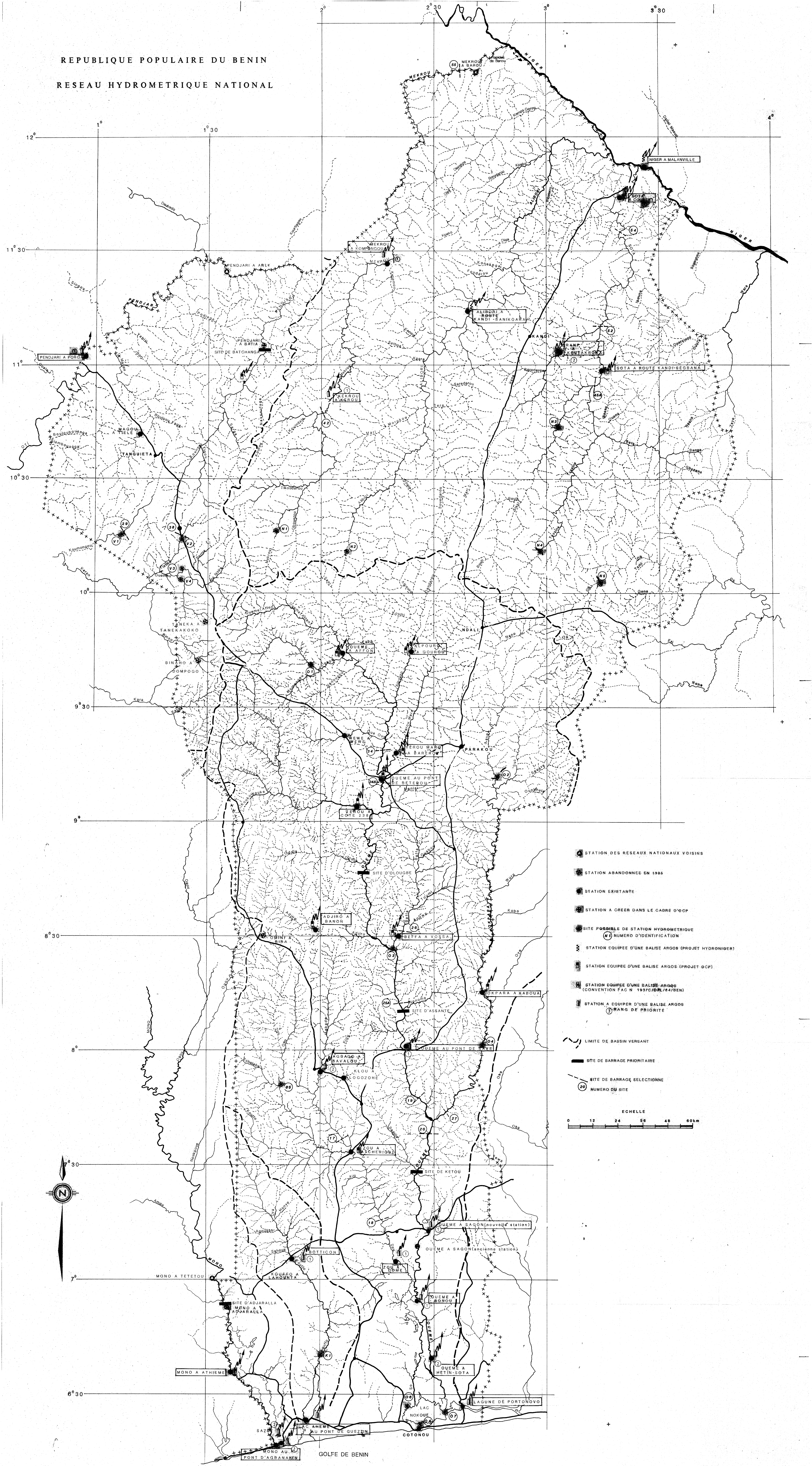
- bits 1 à 16 : valeur en décimal codé binaire de la hauteur d'eau
- bits 17 à 20 : type de codeur (ici 0)
- bits 21 à 32 : nombre en binaire pur de basculements d'augets aux pluviographes
- bits 33 à 48 : tensions en binaire pur non signé observées aux deux panneaux solaires en 1/16 V
- bits 49 à 56 : tension de la batterie en 1/16 V exprimée en binaire pur non signé
- bits 57 à 64 : température de la balise en binaire non signé avec
 $T_b (N \times 5/16 - 5)^\circ L$

avec N équivalent décimal du nombre émis

- bits 65 à 96 : non utilisé
- bits 97 à 128 : CRC, il s'agit d'un nombre calculé à partir des bits précédents et qui permet à la SRD de détecter des erreurs de transmission et d'éventuellement les corriger

Dans le cas des balises CHLOE C, le message a une longueur de 256 bits et comporte les 14 relevés de hauteur d'eau correspondant aux 14 demi heures précédent l'émission. Il permet donc une reconstitution très fidèle des limnigrammes. Ce que ne permettent les balises type HYDRONIGER puisque celles-ci, n'émettant que la dernière hauteur captée, ne permettent que d'avoir 4 à 8 relevés par jour.

REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN
RESEAU HYDROMETRIQUE NATIONAL



STATION DES RESEAUX NATIONAUX VOISINS

STATION ABANDONNEE EN 1985

STATION EXISTANTE

STATION A CREER DANS LE CADRE D'OCP

SITE POSSIBLE DE STATION HYDROMETRIQUE
(N1) NUMERO D'IDENTIFICATION

STATION EQUIPEE D'UNE BALISE ARGOS (PROJET HYDRONIGER)

STATION EQUIPEE D'UNE BALISE ARGOS (PROJET OCP)

STATION EQUIPEE D'UNE BALISE ARGOS
(CONVENTION PAC N 1957C/PL/84/BEN)

STATION A EQUIPER D'UNE BALISE ARGOS
(RANG DE PRIORITE)

LIMITE DE BASSIN VERSANT

SITE DE BARRAGE PRIORITAIRE

SITE DE BARRAGE SELECTIONNE
(NUMERO DU SITE)

ECHELLE
0 12 24 36 48 60 km