

~~11733~~ ~~11733~~ ~~11733~~  
PROJET DE CONTROLE DES EAUX SOUTERRAINES (625-0958)

11733

EVALUATION TECHNIQUE DU RESEAU PIEZOMETRIQUE  
RAPPORT PRELIMINAIRE

PLAN

1. But de la mission
2. Evaluation des données
3. Résultats de l'évaluation
4. Autres travaux nécessaires
5. Formation pour la construction de modèles
6. Observations diverses
7. Main-d'oeuvre et calendriers
8. Résumé

Edward L. Bolke, Hydrogéologue  
. Division des Ressources  
hydrauliques  
. Service des Etudes géologiques  
des Etats-Unis (USGS)

Dakar, le 13 Mars 1989

OMVS/USAID  
PROJET DE CONTROLE DES EAUX SOUTERRAINES  
DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL  
RAPPORT SOMMAIRE SUR L'EVALUATION DES PIEZOMETRES  
E. L. BOLKE, HYDROGEOLOGUE, USGS

10 mars 1989

1. BUT DE LA MISSION

Le but de cette mission dans le Bassin du fleuve Sénégal et en Mauritanie était de déterminer si 600 piézomètres environ avaient été installés de manière à ce qu'on puisse obtenir de ces puits des données précises sur l'hydraulique. Ces données serviront à déterminer la différence de charge entre les aquifères superficiels et profonds des alluvions de la Vallée du fleuve Sénégal ainsi qu'entre les aquifères et le fleuve Sénégal. Cette répartition de la charge, à la fois latéralement et verticalement, permettra par la suite de déterminer la direction de l'écoulement des eaux souterraines. Les données sur les eaux souterraines, collectées avant l'achèvement du barrage de Diama, peuvent servir à tracer et à analyser la direction d'écoulement des eaux souterraines avant l'achèvement du barrage et, de même, les données collectées après l'achèvement du barrage peuvent servir à évaluer les effets de la construction du barrage sur la direction d'écoulement.

2. EVALUATION DES DONNEES

En raison du grand volume d'informations disponibles et des contraintes de temps, les tâches identifiées pour pouvoir évaluer le réseau piézométrique étaient les suivantes :

. Examen des objectifs globaux du Projet en ce qui concerne le placement et l'installation des piézomètres. Ceci comporte le Document de Projet, les documents annexes et les conclusions des précédents consultants.

. Examen des données collectées à ce jour au niveau des piézomètres. Ceci comporte le relevé du site des puits, les ~~données~~<sup>Coupes</sup> lithologiques, les hydrographes de puits choisis au hasard. Les puits dont l'hydrographe a été tracé ont été choisis au hasard sur les deux rives du fleuve. La plupart du temps, les puits ont été choisis, le long des lignes de section 1, 3, 4, 6, 7 et 10. Les hydrographes permettent, entre autres, d'observer la variation, le cas échéant, du niveau de l'eau due aux changements de niveau du fleuve, aux pratiques en matière d'irrigation, à la construction du barrage, aux variations de la pluviométrie et/ou aux effets de la marée. Il est possible que les puits dont le niveau d'eau ne varie pas soient inopérants et qu'ils aient besoin d'être nettoyés ou bien vidés et remis en état.

. Visite sur le terrain de puits choisis au hasard aux fins de comparaison entre la profondeur creusée et la profondeur prévue ainsi qu'aux fins d'observation des techniques de mesure du niveau de l'eau.

. Examen des résultats des évaluations de la conductivité hydraulique à partir de tests d'injection de slug effectués sur la plupart des piézomètres. Le raisonnement, avancé ici, est que des matériaux similaires devraient présenter une conductivité hydraulique similaire.

### 3. RESULTATS DE L'EVALUATION DES PIEZOMETRES

Trois zones du Projet ont été visitées le 3, 5, et 9 mars 1989 pour inspecter l'installation des piézomètres et vérifier la profondeur des piézomètres. Ces zones sont :

- 1) près du barrage de Diama, tant au Sénégal qu'en Mauritanie;
- 2) la rive gauche du fleuve Sénégal, au sud et à l'Ouest de Podor et;
- 3) les environs de Rosso en Mauritanie.

Vingt-sept sites ont été visités, et le niveau de l'eau ainsi que la profondeur des piézomètres ont été vérifiés dans 80% environ des sites. La profondeur mesurée se situait à 10% de la profondeur prévue et à 4% de la profondeur des trois quarts des échantillons. Il semble que le tube de l'un des puits ne soit pas vertical ou tout à fait vertical parce qu'on ne pouvait pas faire facilement descendre la sonde dans le tube.

La construction et la stabilité du pied de chaque piézomètre ont été inspectées et estimées satisfaisantes. Un seul site visité présentait des fissures du béton mais il a été par la suite réparé. Dans un autre cas, les gonds du couvercle ont été arrachés, mais le couvercle était en place et le tube du piézomètre intact.

Les hydrographes de 36 piézomètres choisis au hasard ont été tracés durant la période de référence allant de juillet 1987 à février 1989. Les hydrographes ont été examinés dans le but de déceler une éventuelle connection hydraulique avec l'aquifère, ou unité hydrogéologique, dans lequel les puits sont construits. Ainsi, les variations du niveau de l'eau reflètent les changements de pression hydraulique se produisant dans l'aquifère.

Le niveau de l'eau varie dans tous les piézomètres observés. Les variations annuelles sont de l'ordre 3 mètres environ dans les piézomètres situés près du confluent des fleuves Sénégal et Gorgol, de quelques décimètres dans les piézomètres situés près de Podor et d'un mètre environ dans les piézomètres situés près du barrage de Diama. Dans la totalité des 36 hydrographes, le niveau de l'eau le plus élevé est enregistré pendant la période octobre-novembre qui correspond au débit le plus élevé du fleuve Sénégal et, de même, le plus faible niveau d'eau des hydrographes est enregistré pendant la période mai-juin. Il existe quelques anomalies mineures dans les données, mais celles-ci peuvent être examinées et corrigées par l'équipe du Projet.

Les évaluations de la conductivité hydraulique déterminés par des tests d'injection de slug, ont été analysées à partir des données obtenues dans 137 piézomètres situés dans la zone du Delta de la basse Vallée du Sénégal. Les tests ont été effectués en utilisant la méthode de Ferris et Knowles (1963). La conductivité hydraulique, calculée pour les 137 piézomètres au moyen de la même méthode, variait de  $1,0 \times 10^{-2}$  cm/sec, pour les piézomètres construits dans du sable moyen/fin à  $8,0 \times 10^{-7}$  cm/sec pour ceux réalisés dans un sol composé de vase et argile et/ou de sable, vase et argile. La construction d'environ 80% des piézomètres installés dans du sable moyen ou fin est terminée. Les valeurs de la conductivité hydraulique données dans les publications et documents techniques varient de  $3,5 \times 10^{-2}$  cm/sec pour le sable fin à  $3,5 \times 10^{-7}$  cm/sec pour la vase et/ou la vase argileuse. Par conséquent, les résultats obtenus au niveau du Projet sont corrects et conformes aux valeurs acceptées.

Etant donné que les piézomètres répondent aux changements de stress hydraulique, on peut en conclure que les piézomètres sont fonctionnels et, étant donné que la profondeur de la plupart d'entre eux se situe à 4% de la profondeur prévue, on peut également en conclure que les piézomètres signalent ce qu'ils sont censés signaler. Il est certain que la profondeur de quelques-uns se situe à 10% de la profondeur prévue, mais ces écarts ne sont pas importants, étant donné la nature hétérogène des matériaux d'origine alluviale et la difficulté d'obtenir des échantillons représentatifs et, par conséquent, d'obtenir la définition de la lithologie. En outre, le choix au hasard des piézomètres aux fins d'analyse et les résultats favorables qui en ont été obtenus, attestent de la fiabilité des installations et du fonctionnement du réseau.

#### 4. AUTRES ACTIVITES NECESSAIRES

Les objectifs du Projet, décrits dans le Document de Projet, demandent un certain type d'analyse du système de toute la Vallée du fleuve Sénégal. L'un des objectifs est de soumettre à l'OMVS une méthode de gestion des ressources. L'important volume de données de qualité, disponibles sur les eaux souterraines dans la Vallée, permet une simulation du système d'écoulement à l'aide d'un modèle calculé par calculateur digital. Ce modèle, une fois convenablement construit et calibré, permettra de réaliser les objectifs fixés dans le Document de Projet. Les méthodes manuelles d'analyse de données seraient fastidieuses, prendraient du temps et ne seraient peut-être pas adéquates pour décrire tout le système d'écoulement. Par conséquent, les activités suivantes sont proposées (une partie d'entre elles sont en cours d'exécution). Ces activités sont présentées par phases.

PHASE I: COLLECTE DES DONNEES DE BASE

PHASE II: RAPPORT INTERPRETATIF SUR L'HYDROLOGIE DU BASSIN DU FLEUVE  
SENEGAL

##### Introduction

Emplacement

But

Géographie

Population

Economie

Climat (Précipitation, température, évaporation)

## Cadre géologique

Description générale, âge et structure des roches,

## Hydrologie

### Eau de surface

- Emplacement des barrages, dates d'achèvement et étape
- Emplacement des jauges dans les cours d'eau et période d'enregistrement
- Profil du lit du fleuve
- Profil des différents niveaux du fleuve
- Statistiques sur les eaux de surface
- Moyenne des débits quotidiens, mensuels et annuels
- Analyse de la fréquence des crues
- Courbes des débits minima classés

### Dérivation des eaux de surface

### Eaux souterraines

- Description des aquifères
- Importance et étendue de chaque aquifère (cartes)
- Importance et étendue des couches encaissantes (cartes)
- Caractéristiques hydrauliques (conductivité) (pour chaque aquifère)

### Recharge des eaux souterraines

- Précipitations, cours d'eau, irrigation

### Mouvement des eaux souterraines

- Carte des charges hydrauliques de chaque aquifère
- Direction générale de l'écoulement au niveau de chaque aquifère, entre les aquifères et entre les aquifères et les cours d'eau.

Décharge des eaux souterraines

Cours d'eau, puits et évapotranspiration de la nappe phréatique

Qualité de l'eau

Délimitation de la zone d'eau salée

Carte d'isoconductivité spécifique, relation avec les solides dissous et autres ions.

PHASE III: MODELE D'ECOULEMENT SOUTERRAIN

Description du modèle

Nombre de couches (aquifères)

Ensembles de données d'entrée du modèle (distincts de la Phase II)

Dimensions du quadrillage (nombre et taille des cases)

Limites de chaque case, de chaque couche

Charge hydraulique de chaque couche

Partie inférieure de la couche supérieure

Partie supérieure et inférieure des couches inférieures

Conductivité hydraulique latérale de chaque couche

Conductivité hydraulique verticale entre les couches

Recharge à partir des précipitations (couche supérieure probablement)

Recharge à partir de l'irrigation (couche supérieure)

Données sur chaque case du quadrillage:

Partie inférieure, niveau, conductivité hydraulique

Évapotranspiration de la nappe phréatique (couche supérieure)



#### Calibration et vérification du modèle

Cette opération consiste généralement en un ajustement systématique de la variable la moins connue jusqu'à ce que les charges calculées par le modèle se rapprochent des charges mesurées. La variable la moins connue est très probablement la conductivité hydraulique de chaque couche.

#### Output du modèle

Répartition de la charge hydraulique dans chaque couche;  
Budget de l'eau;  
Fuite vers ou à partir des cours d'eau pour chaque couche, pour chaque case.

La Phase III s'applique à un modèle basé sur une moyenne de temps et de condition (la période de temps est choisie arbitrairement mais est basée sur les données et peut être d'un mois, d'un an ou de plusieurs années). La moyenne de la charge et du débit sera calculée sur la période choisie. L'objectif principal de ce modèle est de simuler le système d'écoulement pour aider à comprendre la relation entre les eaux souterraines et les eaux de surface.

Si une analyse transitoire dans laquelle la charge et le débit varient avec le temps est nécessaire, il faudra alors procéder à la synthèse de données additionnelles comme suit :

- Une estimation des propriétés d'emmagasinement de chaque couche.
- Des ensembles de données pour chaque période de temps choisie, pour chaque paramètre faisant varier le niveau des eaux souterraines:
  - Recharge à partir des précipitations
  - Recharge à partir de l'irrigation
  - Dérivations d'écoulement
  - Régulation des eaux de surface par des barrages
  - Evapotranspiration

On a noté que le pompage du système d'eaux souterraines était minimal et négligeable. On a aussi noté qu'il y avait de l'eau salée dans la moitié basse de la Vallée du Fleuve, au moins à une faible profondeur probablement, mais à une profondeur trop grande pour que les piézomètres puissent indiquer sa présence.

Si on voulait augmenter sensiblement le volume d'eaux souterraines pompées, qui n'est pas encore très développé dans le Bassin, il faudrait alors construire un modèle différent utilisant l'interface, net ou diffus, de la surface de contact de l'eau salée avec l'eau douce.

## 5. FORMATION A LA CONSTRUCTION DE MODELES

Le Centre de Formation de Denver de l'USGS (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) offre un excellent cours de deux semaines sur la modélisation des systèmes d'écoulement des eaux souterraines/ eaux de surface. Ce cours a lieu deux fois par an, et je pense me rappeler, sans pouvoir l'affirmer avec certitude, que les dates de ce cours se situent au printemps et en été. Je suggère que Denis Richard et Ousmane Ngom suivent ce cours. La combinaison de leur expérience et de leur très bonne connaissance de la Vallée du fleuve Sénégal pourrait accélérer la construction d'un modèle pour la Vallée. De même, il serait bon qu'ils puissent rester une semaine de plus pour travailler avec une équipe du Projet, peut-être dans les bureaux du District de Colorado de l'USGS.

Une autre option consisterait à faire construire le modèle par un hydrogéologue du USGS. Ceci aurait pour avantage de ne pas avoir à apprendre le mécanisme du modèle. Mais le principal inconvénient serait que l'hydrogéologue du USGS devrait, lui, connaître le système d'écoulement avant de pouvoir procéder à la construction du modèle. De plus, la plus grande partie de la documentation est rédigée en français, ce qui pose le risque de ne pouvoir achever les travaux à temps. Si cette option était retenue, l'hydrogéologue de l'USGS pourrait construire le modèle tout en restant à l'USGS. Des problèmes de communication pourraient compromettre cette option, mais le télex pourrait être largement utilisé ainsi que des visites organisées de temps à autre pour l'hydrogéologue aux bureaux de Dakar/Saint-Louis.

Cette option serait la moins souhaitable des deux.

## 6. REMARQUES DIVERSES

1. Les tests d'injection de slug et les tests d'aquifères n'établissent pas nécessairement la méthode la plus précise de calcul de la conductivité hydraulique des aquifères. Ces méthodes d'analyse nécessitent de nombreuses hypothèses sur le système d'écoulement comprenant la géométrie, l'isotropie et l'hétérogénéité des limites des aquifères, la construction de puits, et le degré de pénétration des puits dans les aquifères. Les résultats sont souvent imprécis. La modélisation, si elle est effectuée correctement, peut fournir le moyen de déterminer les valeurs de la conductivité hydraulique de la zone parce que le modèle peut intégrer les effets :

1) des limites, telles qu'absence d'écoulement ou de connexion avec le Fleuve;

2) des changements de la valeur de la conductivité hydraulique verticale et latérale selon les zones; et

3) du changement géométrique des aquifères.

Les contraintes les plus importantes du système des eaux souterraines sont apparemment l'évapotranspiration et la recharge à partir du fleuve Sénégal durant la période allant de août à novembre. Les données sur l'évaporation montrent des valeurs allant de 8 mm par jour durant la saison des pluies à 14 mm par jour durant la saison sèche. Ceci se traduit par 4 mètres environ par an, avant application d'un coefficient de conversion qui réduirait la valeur de 15% ou 20% peut-être. On a noté que seul le niveau de quelques nappes d'eaux souterraines indiquait une élévation de trois mètres environ aux abords de l'embouchure du fleuve Gorgol durant la période de août à novembre.

## 7. MAIN-D'OEUVRE ET DELAIS

La main-d'oeuvre et le temps nécessaires pour compléter la Phase I n'ont pas été évalués. Les besoins en main-d'oeuvre et temps pour les Phases II et III se présentent comme suit :

On estime le temps nécessaire pour compléter la Phase II à six mois environ après finalisation de la Phase I. La Phase II nécessite six mois de travail pour Denis Richard et pour Ousmane Ngom.

On estime le temps nécessaire pour compléter la Phase III, dont le début d'exécution est entièrement fonction de la date d'achèvement de la Phase II, à six mois de travail supplémentaires. Il est également nécessaire que Richard et Ngom puissent consacrer chacun six mois de plus à cette phase du Projet.

#### 8. RESUME

Globalement, le Projet se réalise de façon satisfaisante. La Phase I, bien qu'encore inachevée, a fourni d'excellentes données collectées au niveau du Bassin du fleuve Sénégal. Ce travail sera achevé au cours des prochains mois. La plupart des Projets portant sur la relation eaux souterraines/eaux de surface n'ont pas fourni, de loin, autant de données que le présent Projet a collectées au niveau du Bassin du fleuve Sénégal. Ce Projet sera donc très bénéfique.

Dans le passé, de nombreux rapports ont été écrits sur l'hydrogéologie du Bassin. Ces rapports, pour utiles qu'ils soient, manquent des données suffisantes pour pouvoir procéder à des analyses détaillées; mais les premiers rapports donnent effectivement un bon background général de l'hydrogéologie de cette zone. Les cartes établies par Illy (1973) présentent quelques anomalies en ce qui concerne le gradient hydraulique, nord-est et sud-sud-est, de Podor. Selon les cartes d'Illi et les données qu'il a compilées, il semble que le Fleuve perde de l'eau sur toute la longueur de son parcours. Sur la carte de la nappe phréatique, il montre deux zones de fort drainage c'est-à-dire deux zones où la charge hydraulique diminue jusqu'à 40 mètres environ au dessous du niveau de la mer, au sud de Podor et jusqu'à 25 mètres environ au dessous du niveau de la mer, au nord-est de Podor. Plusieurs questions se posent: Validité des données? Où l'eau se décharge-t-elle ? Niveaux des puits ? y-a-t-il, ou non, des connexions hydrauliques entre le fleuve et le matériau dans lequel les niveaux d'eau ont été mesurés durant la période interprétative du Projet (Phase II).

Etant donné les informations de valeur collectées au cours de la Phase I, il serait approprié de procéder à l'exécution de la Phase II. La Phase II aurait un double objectif 1) une réévaluation des travaux antérieurs, compte tenu des données collectées récemment et 2) la fourniture des bases pour l'effort de modélisation. Il faut qu'un rapport formel sur l'interprétation technique des données soit rédigé pour rendre ces données profitables. Ce rapport démontrerait l'importance et l'utilité de ces données pour le Sénégal, l'OMVS, l'USAID ainsi que pour la Société Internationale des Hydrogéologues.

En plus, une meilleure connaissance du système d'écoulement pourrait résulter de la simulation du système de la Vallée du fleuve Sénégal à l'aide d'un ordinateur digital utilisé conjointement avec le modèle existant d'écoulement des eaux souterraines/des eaux de surface. Si cela se réalise, les travaux effectués pour ce Projet pourraient apporter une importante contribution à l'enseignement, au transfert de technologie et à la recherche appliquée en hydrogéologie.

Ainsi, l'achèvement de la Phase I aura pour résultat un Projet satisfaisant. L'achèvement de la Phase II permettra d'obtenir un meilleur Projet et l'achèvement de la Phase III un excellent Projet.

T.U.: CLubel 

April 18, 1989

Doc: 0741K