

10940

USAID

# PROGRAMME D'AMÉNAGEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

Bassin du Fleuve Sénégal  
Mali, Mauritanie, et Sénégal  
Afrique de l'Ouest

October 1979

CH2M HILL INTERNATIONAL

10940

Proposition de Projet d'Etudes  
en Vue d'un Programme d'Evaluation  
des Données Hydrogéologiques dans le

Bassin de Fleuve Sénégal

Mali, Mauritanie, et Sénégal  
Afrique de l'ouest

Préparé par  
CH2M HILL, International

Pour  
The U. S. Agency for International Development

octobre 1979

## Illustrations

	<u>Page</u>
Schéma 1. Le schéma proposé pour Piézomètres de Faible et Moyenne Profondeur . . . . .	14
2. Le schéma proposé pour Piézomètres Profond . . . . .	15
3. Le schéma proposé pour Les Forages . . . . .	16
4. Organisation proposé pour le Projet Hydrogéologique . . . . .	18
5. Plan d'Utilisation du Personnel . . . . .	26
6. Prévision de la Durée des Différentes Phases .	27

## Table de Matière

	<u>Page</u>
1.0. Résumé . . . . .	1
2.0. Introduction . . . . .	2
2.1. Les Etudes Précédentes . . . . .	2
2.2. Justification du Projet Proposé . . . . .	4
2.3. Portée du Projet Proposé . . . . .	6
3.0. Objectifs . . . . .	8
4.0. Différentes Phases du Travail . . . . .	9
5.0. Cadre Institutionnel et Personnel Requis . . . . .	17
6.0. L'Equipement, le Matériel, les Contrats avec les Entreprises et les Véhicules Nécessaires . . . . .	21
7.0. Prévision de la Durée des Différentes Phases du Projet . . . . .	25
8.0. Coût Moyen du Projet sur 5 Ans . . . . .	28
9.0. Bibliographie Selectionnée . . . . .	29

## 1.0. Résumé

1.1. Ce rapport est une proposition de gestion des ressources en eaux souterraines, la collecte et l'analyse des données en rapport avec le programme d'aménagement du bassin du fleuve Sénégal par l'OMVS. La durée du programme devrait être de 5 années. Le travail devrait être concentré dans la vallée de Sénégal entre Kayes et St. Louis et devrait comporter une bande de 20 à 25km sur chaque rive de la vallée. L'OMVS serait le maître d'oeuvre du projet et en fournirait le personnel. Cependant, une assistance technique sera nécessaire pour la poursuite du projet pour l'interprétation et l'analyse des données relatives à la qualité de l'eau, la dynamique des eaux souterraines, la gestion et aux équilibres de sels, ainsi que la conception d'un modèle mathématique.

1.2. Les problèmes de remontée d'eau et/ou de salinisation se présentent dans les périmètres endigués, irrigués, et ces problèmes analogues peut-être se développeront, avec l'intensification de l'irrigation. Donc gestion des ressources en eau souterraine et l'observation de la qualité des eaux sont particulièrement importants au niveau et dans les alentours des périmètres irrigués. D'autre part, le besoin se fait sentir d'avoir une meilleure connaissance sur (1) les mécanismes d'alimentation et de vidange entre le fleuve Sénégal, la nappe alluviale et les nappes contiguës de la région; (2) les changements dans le régime des eaux souterraines qui sont fait par les barrages de Diama et Manantali et les modifications du régime du fleuve qui en résulteront; (3) les possibilités d'utilisation des eaux souterraines ou pour l'irrigation supplémentaire ou conjointement avec les eaux de surface dans le secteur Matam-Boghé.

## 2.0. Introduction

Ce rapport a été préparé par George C. Taylor Jr., du CH2M Hill International, consultant, à la requête du bureau de coordination USAID/OMVS à Dakar, pour une évaluation de la nécessité d'un projet d'étude hydrogéologique à l'appui du programme de recueil de données et d'analyses dans le bassin du fleuve Sénégal par l'OMVS. Pour la conduite de cette évaluation, l'auteur a passé 6 semaines dans le bassin pour des consultations avec les organismes nationaux et internationaux intéressés par les ressources en eaux souterraines et les problèmes d'irrigation; pour étudier les documents et propositions disponibles dans les bureaux de l'OMVS et USAID/OMVS à Dakar, ainsi qu'au Centre de Documentation de l'OMVS à St. Louis. L'auteur s'est rendu aussi sur le terrain pour visiter des périmètres irrigués représentatifs, des études précédentes. La dernière partie du séjour a été consacrée à la préparation de ce rapport.

### 2.1. Etudes et Propositions précédentes

2.1.1. Le nombre d'études qui ont été faites sur les différentes parties du bassin du fleuve Sénégal relatives aux eaux souterraines est impressionnant. Plus d'une centaine de rapports sont signalés (Greenman 1977). Comme l'indique Greenman, à de rares exceptions, toutes ces études avaient des objectifs à court-terme, à savoir décrire le comportement d'une nappe et sa disponibilité pour des puits non équipés et à l'alimentation en eau du public. La plupart de ces études ont été faites par des étrangers qui se sont très peu souciés de l'instruction des indigènes comme les spécialistes et les techniciens du domaine des eaux souterraines. Maintenant il y a le plus grand besoin des équipes nationales pour le programme à long terme de l'OMVS, pour la gestion des ressources en eau souterraine et l'administration d'eau dans le bassin du fleuve Sénégal.

2.1.2. De toutes les études passées en revue, celle d'Illy (1973) sous l'égide de l'OMVS/FAO, semble être la plus pertinente, dans la description et la définition des interrelations hydrodynamiques entre le régime du fleuve et la nappe alluviale contiguë et la nappe inférieure régionale (Mastrichtien). Les conclusions principales de l'étude d'Illy furent que (1) le fleuve et la nappe alluviale contiguë constituent une source d'alimentation pour les nappes profondes contenues dans les formations du Continental Terminal, de l'Eocène et du Maastrichtien sous-jacent de la région du bassin du fleuve Sénégal; (2) la nappe alluviale est alternativement alimentée par le fleuve en période de crue et drainée par celui-ci en période d'étiage soutenant ainsi le débit de base du fleuve en aval de Bakel; et (3) les conditions hydrogéologiques sont favorables à une utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation dans le secteur de Matam-Boghé; toutefois des observations supplémentaires avec des forages et sondages de reconnaissance ainsi que des essais de pompage sont nécessaires pour déterminer les limites d'une telle utilisation. Illy



recommandait la poursuite des mesures de niveau et le contrôle de la qualité de l'eau dans les piézomètres construits lors de son étude (1971-72). Monsieur Hamdinou de l'OMVS a poursuivi ces mesures de 1973 à 1974, mais après les mesures furent arrêtées faute de moyens matériels et humains. Illy avait aussi recommandé la création d'un petit projet pilote d'irrigation à partir des eaux souterraines dans le secteur Matam-Boghé. Cette recommandation n'avait pas été retenue par l'OMVS, peut-être du fait qu'elle pensait que la priorité devrait être donnée au développement de l'utilisation des eaux de surface.

2.1.3. Une autre étude importante, sous l'égide de l'OMVS/FAO est celle de Audibert (1970). Cette étude portait essentiellement sur le delta du fleuve Sénégal. Audibert concluait que (1) pratiquement tous les aquifères importants sous le delta et dans l'étendue de la basse vallée jusqu'à Podor contenaient une eau saumâtre ou salée; (2) l'eau sursalée sous la plus grande partie du delta à une profondeur d'au moins de 3m; et (3) un système de drains profonds serait une composante essentielle des périmètres irrigués en vue de contrôler les remontées d'eau et la salinisation des sols. Audibert soulignait aussi la nécessité de considérer la surveillance du niveau des eaux souterraines et leur qualité, comme faisant partie intégrante de l'économie de l'eau dans les périmètres irrigués. A défaut d'une attention particulière dans la gestion, des grands investissements pourraient devenir à plus ou moins long terme partiellement ou entièrement perdu.

2.1.4. En avril 1976, un programme d'étude proposé à l'USAID par le bureau de Réclamation U.S. contenait des recommandations pour l'installation d'un réseau de puits d'observation dans la vallée du fleuve Sénégal en aval de Bakel. Les objectifs visés par ce réseau proposé étaient de contrôler la réponse de la nappe aux changements de régime du fleuve et aux activités d'irrigation et d'obtenir des données sur les phénomènes d'alimentation et de vidange de la nappe. Aucun détail n'est cependant donné dans le rapport concernant le nombre, la localisation et la description des forages. Le rapport a donné ni lesquels aquifères qui devraient être contrôlés ni l'estimation du coût du projet.

2.1.5. L'USAID a financé en 1975-76 une étude de factibilité par Bechtel (1976) intitulée Développement de l'Agriculture Irriguée à Matam. Sur la base de cette étude, Bechtel proposait l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation de 2.800 ha. de terre "dieri" pour la production de légumes. Mais cette proposition ne fut pas acceptée par les états membres de l'OMVS. En effet, ceux-ci ont jugé que les relations entre le fleuve, la nappe alluviale et les nappes contiguës de la région n'étant pas assez bien connues. Ils pensaient que c'était hasardeux de se lancer dans une utilisation intensive des eaux souterraines pour l'irrigation, ce qui pourrait avoir de fâcheuses conséquences sur l'alimentation en eau des personnes et du bétail à

partir des puits existants.

2.1.6. En juillet 1977, le Dr. D. W. Greenman du U.S. Geological Survey entreprit une évaluation des ressources en eaux souterraines à partir des rapports et propositions précédents en tenant compte de la réponse des états membres de l'OMVS à l'étude de Bechtel (1976) à Matam. Dans son rapport, intitulé "Propositions pour la Collecte des Données Hydrogéologiques dans le Bassin du Fleuve Sénégal," il avance un programme de tout le bassin pour le recueil et l'analyse des données hydrogéologiques des eaux souterraines. Son programme comportait la formation et le développement d'un cadre institutionnel, orienté vers les objectifs à long terme de l'OMVS concernant la gestion de ressources en eau du bassin. Le rapport Greenman proposait une première phase d'une année au cours de laquelle les besoins en données à recueillir et la mise sur pied du programme ainsi que la définition du cadre institutionnel se feraient avec l'aide d'un consultant étranger. La deuxième phase à plus long terme serait par la suite définie par les experts techniques.

2.1.7. En 1977-78, l'USAID a financé une série d'études effectuée par Gannett, Fleming, Corrdry et Carpenter sur le thème "Evaluation des Effets des Développements proposés dans le bassin du fleuve Sénégal sur l'Environnement" (G.F.C.C. 1979). Le rapport sur l'hydrogéologie qui comporte une revue d'ensemble des études précédentes conclut que (1) les niveaux des eaux souterraines ainsi que l'eau salée de la nappe phréatique tendront à remonter à la périphérie de l'endiguement qui sera créé par l'emplacement du barrage de Diama dans le delta du Sénégal; (2) la remontée de l'eau et les problèmes de salinité se développeront probablement dans les périmètres irrigués où il n'y aurait pas une politique adéquate de la gestion des eaux; (3) l'utilisation croissante des engrais et pesticides dans les périmètres irrigués pourrait affecter la qualité des eaux de la nappe phréatique captée par les puits non équipés; et (4) la régulation du régime du fleuve après la construction du barrage de Manantali, réduira quelque peu l'alimentation de la nappe alluviale, toute comme celle des aquifères sous-jacents de la région. Le rapport conclut avec une forte recommandation pour un programme de surveillance des niveaux des eaux souterraines et leur qualité en relation avec les objectifs de l'OMVS pour le développement des ressources en eau dans la vallée du fleuve Sénégal.

2.1.8. L'auteur a aussi lu les réponses des services techniques s'occupant d'eaux souterraines du Mali, de la Mauritanie, et du Sénégal, aux propositions contenues dans le rapport Greenman. Enfin, l'auteur a pris connaissance des termes de référence de l'OMVS pour une étude hydrogéologique du bassin du fleuve Sénégal en date du février 1979.

## 2.2. Justification du Projet Proposé

2.2.1. Actuellement (août 1979), il existe plusieurs périmètres



irrigués avec endiguement en train d'être aménagés ou récemment aménagés avec l'aide financière d'organismes tels la IBRD, le FED, l'USAID, etc. Les investissements déjà faits dans ces périmètres représentent des millions de dollars. Si l'on y ajoute les périmètres à aménager et ceux prévus pour la prochaine décade, on atteint plus que 100 millions de dollars. Cependant, avec tous ces investissements on s'est très peu soucié de la gestion des ressources en eau dans aucun des périmètres irrigués de la vallée du fleuve Sénégal avec une exception possible, des plantations de sucre de la Compagnie Sucrière Sénégalaise à Richard Toll. Cette lacune a eu par conséquence une remontée des eaux souterraines et des problèmes de salinisation au niveau du périmètre rizicole de M'Pourie près de Rosso, du périmètre récemment agrandi de Dagana et du périmètre de Nianga, qui n'est opérationnel que depuis peu d'années. Ces problèmes sont, peut-être, imminents dans d'autres endroits de la vallée. Une bonne gestion de l'eau au niveau des périmètres irrigués devrait comporter, une mesure précise des débits de pompage, de l'eau utilisée pour les cultures, l'évapo-transpiration, les pertes par fuite au niveau des canaux et le filtrage profonde de desous des champs irrigués; une surveillance des variations de niveau et de salinité des eaux souterraines pouvant résulter de ces pertes. Faute d'une bonne gestion, les gros investissements faits dans ces périmètres irrigués risquent d'être annulés en très peu de temps par une remontée des nappes et (ou) la salinisation. Ces problèmes se poseront avec acuité dans un avenir très proche au niveau des périmètres irrigués du delta et de la vallée en aval de Podor, mais pourront aussi s'étendre au bout de quelques années à la moyenne et haute vallée.

2.2.2. Des études hydrogéologiques précédentes ont montré que le fleuve Sénégal et sa nappe alluviale constituaient une importante source d'alimentation pour les nappes aquifères profondes régionales soutenant ainsi l'alimentation de centaines de puits non équipés. En même temps, la nappe alluviale est rechargée par les crues du fleuve, tandis qu'elle est drainée par le cours des eaux souterraines au moment des décrues. Ce drainage servant de support au débit de base du fleuve (vidange de la saison sèche) en aval de Bakel. Mais comme toutes ces inter-relations ne sont pas encore parfaitement connues, un des objectifs du projet sera leur détermination quantitative par une surveillance des eaux souterraines et l'analyse des données sur l'aquifère.

2.2.3. La construction des barrages de Diama et Manantali apportera des modifications dans le régime du fleuve et dans celui des aquifères contigus. Le barrage de Diama à l'embouchure du fleuve, arrêtera la remontée de l'eau salée marine et créera une barrière d'eau fraîche. Cependant, les effets de noyage du réservoir créeraient en même temps des migrations latérales de la nappe salée vers les terrains que l'on se propose d'irriguer, s'ajoutant ainsi aux problèmes posés par l'irrigation elle-même. Ainsi la surveillance des nappes prend-elle une

importance supplémentaire au niveau du delta, en particulier au voisinage du réservoir.

2.2.4. Le barrage de Manatali devra régulariser le fleuve Sénégal et modifier ainsi son régime. Ces modifications entraîneraient une perte nette dans l'alimentation de la nappe alluviale et par conséquent, sur l'alimentation des nappes profondes régionales. L'établissement d'une surveillance des eaux souterraines avant le début de la régulation donnera des informations de base pour chiffrer l'amplitude et l'importance de ces modifications.

2.2.5. Un autre problème potentiel est la possible contamination de la nappe phréatique par les engrais et les pesticides dont l'emploi au niveau des périmètres irrigués, va croissant. Cette nappe alimente les puits non équipés situés dans et près de ces périmètres. Un des objectifs du projet sera donc la surveillance de la qualité des eaux souterraines.

2.2.6. Enfin, les études d'Illy (1973) et de Bechtel (1976) ont montré qu'il y avait de grandes possibilités d'utilisation de l'eau souterraine pour faire de l'irrigation dans le secteur Matam-Boghé. Une étude approfondie des eaux souterraines et une analyse des données hydrogéologiques permettront d'établir les conditions limitées d'une telle utilisation.

### 2.3. Portée du Projet Proposé

2.3.1. Les revues des rapports et propositions pertinents disponibles et des visites à un nombre considérable de périmètres irrigués et de points d'eau, montrent la réelle nécessité d'un projet de contrôle, de recueil et d'analyse des données concernant les eaux souterraines, orienté vers les objectifs de gestion des ressources en eau de la vallée du fleuve Sénégal, que s'est fixé l'OMVS. Ce projet ainsi proposé pourrait être une étude de base et d'étendue modeste avec des objectifs quelque peu plus limités que ceux proposés par Greenman. Ce projet devrait s'étendre sur 5 ans, en tenant compte du temps nécessaire à l'accumulation de données en quantité significative. De plus, un projet de 5 ans a calculé les contraintes imposées aux agences techniques des états membres et à l'OMVS elles-mêmes, d'un personnel et fonds. Le projet accorde une place importante dans la formation particulièrement de techniciens supérieurs qui seront nécessaires pour le contrôle des ressources en eaux souterraines. L'OMVS veut administrer le projet et sur le terrain avec son personnel. Ainsi la phase de l'assistance technique ne commencera jusqu'au deuxième an du projet et plus tard. Pendant les derniers 4 ans les experts technique peuvent aider analyser et interpréter les données qui seront ramassées pendant des phases plus tôt.

2.3.2. Dans le projet proposé, le Haut Commissaire de l'OMVS devra fournir le personnel cadre et les techniciens, et supporter les

conditions exigées par ce projet. Au niveau des états membres et au sein du personnel permanent de l'OMVS, les compétences nécessaires existent. L'OMVS pourrait fournir les locaux de bureau à St. Louis tout comme les locaux pour l'entrepôt des équipements, des véhicules et du matériel nécessaire au projet. Le bureau de coordination USAID/OMVS (Dakar) pourrait fournir une aide dans l'approvisionnement en matériaux à l'étranger. L'OMVS assumera cependant la responsabilité des contrats de construction de forage et piézomètres avec les sociétés de forage basées à Dakar.

2.3.3. Bien qu'il ne soit pas possible d'identifier spécifiquement les dispositions de base du projet proposé à ce niveau, il semble vraisemblable que l'USAID en tant qu'agence donatrice devra se charger des équipements de forage, véhicules, matériels, de l'assistance technique et des contrats de construction. L'aide aux frais du personnel OMVS affecté à ce projet aussi que les bureaux et entrepôt sera sujet de négociations.

2.3.4. Dans les rubriques suivantes on a ébauché, les objectifs du projet, les points de travail, les institutions et le personnel requis, l'assistance technique, l'équipement, le matériel, le contrat de construction et les besoins en véhicules. Les prévisions en personnel, points de travail et contrat de construction sont donnés avec leurs coûts approximatifs.

2.3.5. Au bout de 5 années du projet, l'équipe de l'OMVS devrait être expérimenté et disposer de personnes compétentes pour la poursuite du recueil des données et leur analyse. Ils devraient préparer à faire des analyses plus complexes qui seront nécessaires à la gestion pour l'utilisation des eaux souterraines en vue d'irriguer la vallée du fleuve Sénégal et les zones adjacentes.

### 3.0. Objectifs

Contrôler et étudier les problèmes d'utilisation et de gestion des ressources en eau souterraines existants ou potentiel, relatifs à:

3.1. Remontée de l'eau et la salinisation des périmètres déjà irrigués et à irriguer.

3.2. La détérioration de la qualité de l'eau dans les puits non équipés.

3.3. Mécanisme d'alimentation et de vidange existant entre le fleuve Sénégal et la nappe alluviale et les aquifères contigus de la région.

3.4. Les changements dans le régime des eaux souterraines que pourrait apporter la construction des barrages de Diama et Manantali, ainsi que la modification du régime du fleuve.

3.5. Les possibilités d'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation, soit en complément, soit conjointement avec les eaux de surface dans la région Matam-Boghé.

#### 4.0. Différentes Phases du Travail

La zone d'étude sera la vallée du fleuve Sénégal de Kayes à St. Louis en aval, incluant une bande de 20 à 25km de chaque rive de la vallée.

Le travail du projet peut être subdivisé en plusieurs phases: une phase de planification, de recueil de données et d'analyses, de formation, de travaux de terrain et de construction.

4.1. Dans la phase de planification, les activités qui devront être menées les premières dans le cadre du projet sont les suivantes:

4.1.1. L'invention d'un système approprié de classification des données hydrogéologiques, des explications sur la construction, la localisation et l'équipement de tous les puits, forages, piézomètres et les puits d'observation existants dans la zone d'étendue du projet.

4.1.2. La création d'un fichier approprié pour enregistrer toutes les données hydrogéologiques, les explications sur la construction, la localisation et l'équipement des puits, forages, piézomètres, et puits d'observation existants dans toute l'étendue de la zone du projet aussi bien que des piézomètres et forages à construire.

4.1.3. L'invention d'un système approprié pour l'enregistrement périodique des niveaux d'eau et des conductivités spécifiques au siège du projet à St. Louis.

4.1.4. La création d'un fichier approprié pour l'enregistrement des variations de niveau d'eau et de conductivité spécifique dans chaque puit d'observation et piézomètre.

4.1.5. L'établissement d'un plan d'un réseau de puits d'observations avec une densité en moyenne d'un puit par chaque 100km<sup>2</sup> à travers la vallée en aval de Kayes et sur une bande d'environ 20 à 25km sur les deux rives. Certains puits existants pourront être judicieusement choisis et servir de puits d'observations avec les piézomètres qui seront construits.

4.1.6. L'établissement d'un réseau de piézomètres peu profonds à chaque périmètre irrigué avec endiguement dans la vallée d'une superficie de plus de 100ha. Tout au moins on devrait avoir un piézomètre sur tous les 100ha. Des piézomètres devront être aussi installés à proximité immédiate des périmètres à des fins de comparaison.

4.1.7. L'établissement d'un réseau de piézomètres peu profonds à côté du site choisis comme réservoir de Diama, afin de contrôler les effets de l'endiguement sur les niveaux des eaux souterraines et la qualité de l'eau dans le delta.

4.1.8. L'établissement d'un réseau de piézomètre peu profonds et profonds dans le secteur Matam-Boghé pour voir plus en détail des observations d'Illy (1973) concernant la mécanisme d'alimentation et de vidange du fleuve Sénégal, la nappe alluviale et aquifère régional sous jacent. Cette région promettant une utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation aussi bien de la vallée que du "diéri" adjacent.

4.2. Les activités de recueil de données devront être commencées dès le démarrage du projet et se poursuivre pendant toute la durée de celui-ci. Les analyses de données ne pourront commencer, elles, qu'après qu'une certaine masse d'informations aura été recueillies, soit au milieu et dans les phases ultérieures du projet.

4.2.1. La première tâche à entreprendre sera la mise à jour des puits inventoriés et des données recueillies sur les eaux souterraines lors des études OMVS/FAO (projet hydroagricole). L'étude de l'OMVS/FAO comportait le travail d'Audibert (1970) dans le delta, et d'Illy (1973) et Hamdinou (1974) dans la vallée.

4.2.2. La deuxième tâche sera de rechercher et d'identifier tous les rapports publiés et les données concernant les objectifs définis au (3.0) dans le cadre de l'étendue du projet (4.0). Ce travail sera au centre de documentation de l'OMVS à St. Louis.

4.2.3. La troisième tâche sera la recherche et l'identification des données non publiées au niveau des différents organismes tels que Direction de l'Hydraulique du Mali à Bamako, Direction de l'Hydraulique en Mauritanie ainsi qu'à la SONADER (Nouakchott) et Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural (DGHER) du Sénégal (Dakar), et à la SAED à St. Louis.

4.2.4. Ce n'est qu'après avoir accumulé suffisamment de données tant sur les niveaux d'eau que sur la qualité de l'eau que les activités d'analyse et d'interprétation pourront commencer. Ces activités pourraient inclure les stades suivants:

4.2.4.1. La confection de cartes de salinité des eaux souterraines, de profondeur de l'eau (par rapport au sol), des cartes piézométriques (données prises par rapport au niveau 0 de la mer), des plus grands périmètres irrigués avec endiguement.

4.2.4.2. La confection et l'analyse de profils hydrauliques suivant des lignes de piézomètres de façon à avoir les relations entre le fleuve, la nappe alluviale et les nappes plus profondes de la région tant du point de vue de la qualité de l'eau que des variations de niveau piézométrique, particulièrement dans le secteur Matam-Boghé.

4.2.4.3. Des études concernant les variations de la qualité de l'eau dans les puits non équipés, ainsi que les variations saisonnières et (ou)

à long terme des niveaux de la nappe.

4.2.4.4. Des études de bilan d'eau et de balance saline au niveau de périmètres irrigués choisis. Ces études devront à partir des variations piézométriques et de la qualité de l'eau, en tenant compte des quantités d'eau estimées pour l'irrigation, l'infiltration et l'évapo-transpiration.

4.3. Les activités de formation devront débiter avec le projet et se poursuivre de façon intermittente tout le long de celui-ci. La formation devra porter sur:

4.3.1. La maîtrise de l'utilisation et de l'entretien de sondes électriques, d'instruments d'échantillonnage de l'eau, de conductimètres, d'instruments de nivellement, de limnimètres enregistreurs et de tout autre appareillage nécessaire.

4.3.2. Des cours sur l'enregistrement systématique des données de terrain sur des fichiers standards. Ces fichiers devront comporter les mesures et les périodes de mesure, ainsi que toutes les observations locales sur des conditions pouvant affecter les mesures.

4.3.3. L'instruction des géomètres qui pourront opérer par équipes de 3 personnes.

4.3.4. L'instruction des surveillants des puits et forages qui pourront être formés pour opérer individuellement ou à deux.

4.3.5. La formation devrait se faire de façon intensive en ateliers en association avec des sorties sur le terrain pour l'utilisation des différents instruments.

4.3.6. Des inspections périodiques seront faites par le personnel d'encadrement de St. Louis auprès des géomètres et surveillants de puits de façon à assurer un contrôle de la qualité des mesures effectuées.

4.4. Les travaux de terrain qui seront assurés sous la conduite du personnel qualifié de St. Louis pourront se subdiviser ainsi:

4.4.1. L'identification et la sélection parmi les puits non équipés existants de points d'observation. On estime à environ 450 le nombre de points qui seraient nécessaires au réseau de puits d'observation.

4.4.2. L'établissement de points de mesure sur les puits. On pourra les reconnaître en inscrivant un repaire sur les margelles des puits.

4.4.3. Le nivellement précis des points de mesure par rapport au niveau du sol et par rapport au niveau de la mer.

4.4.4. Essayer de retrouver sur le terrain les profils de piézomètres



construits pour l'étude d'Illy à Kanel (rive gauche), Matam (rive gauche et droite), Guédé (rive gauche), Nianga (rive gauche), Boghé (rive droite) et Podor (rive gauche). De même que les piézomètres installés dans le delta, lors de l'étude d'Audibert (1970) et ceux de la zone de Matam (Bechtel 1976).

4.4.5. Réfectionner ou remplacer ces piézomètres si nécessaire.

4.4.6. Choisir les lieux d'implantation de nouveaux piézomètres peu profonds creusés à la tarière à main ou avec un tarière mécanique. Il y aura environ 10 à 15 piézomètres dans ou autour de chaque grand périmètre irrigué et près de 25 à 30 dans le voisinage du réservoir de Diam. Ainsi un total de quelques 450 piézomètres de 3 à 15m de profondeur sera nécessaire dans et autour des plus grands périmètres irrigués de la zone d'extension du projet. Près de la moitié de ces piézomètres pourront être faire avec une simple tarière à main et le reste nécessitera une tarière mécanique.

4.4.7. Le choix des lieux d'implantation d'une association de piézomètre peu profonds (moins de 5m), intermédiaire (5 à 30m) et profonds (30 à 60m), le long des profils figurant dans les études d'Illy et Bechtel (4.4.4.) et aussi en des endroits appropriés entre Kanel et Kayes et près de Dagana et à Rosso. Certains piézomètres pourront être triples de façon à pouvoir permettre des mesures de la pression de niveau et de qualité de l'eau à profondeurs variables de l'aquifère en un même endroit. On estime qu'une moyenne de 25 piézomètres seront nécessaires sur chacun des 10 profils, ce qui fait un total de 250. Parmi ceux ci environ 80 pourront être réalisés avec un tarière à main, 80 d'autres avec une tarière mécanique et les 90 nécessiteront un appareil de forage léger pouvant atteindre 60m de profondeur.

4.4.8. Une fois que les points d'observation seront choisis et bien identifiés, les opérations de mesure périodiques pourront débuter. Une moyenne d'une mesure par mois pour tous les puits, piézomètres et forage recensés semble convenable pour commencer. On aura intérêt à mesurer en même temps le niveau d'eau et la conductivité à chaque fois tant que c'est possible.

4.4.9. Les mesures devront être envoyées au siège de l'OMVS à St. Louis, dès qu'elles auront été effectuées, de façon à y être compilées en attendant la phase d'analyse. Le personnel technique de l'OMVS veillera, lors de ses tournées d'inspection à vérifier les mesures pour s'assurer que les surveillants de puits font bien leur travail.

4.5. La phase de construction pourra débuter dès que le choix de l'emplacement des piézomètres est fait. A quelques exceptions près, pratiquement tous les piézomètres auront un diamètre de 7,5cm (3 inches). Sur un tel piézomètre, on pourra facilement utiliser une sonde électrique ou tout autre instrument de mesure de niveau et aussi employer un tuyau de 2,5cm pour échantillonner l'eau. Les piézomètres seront en général

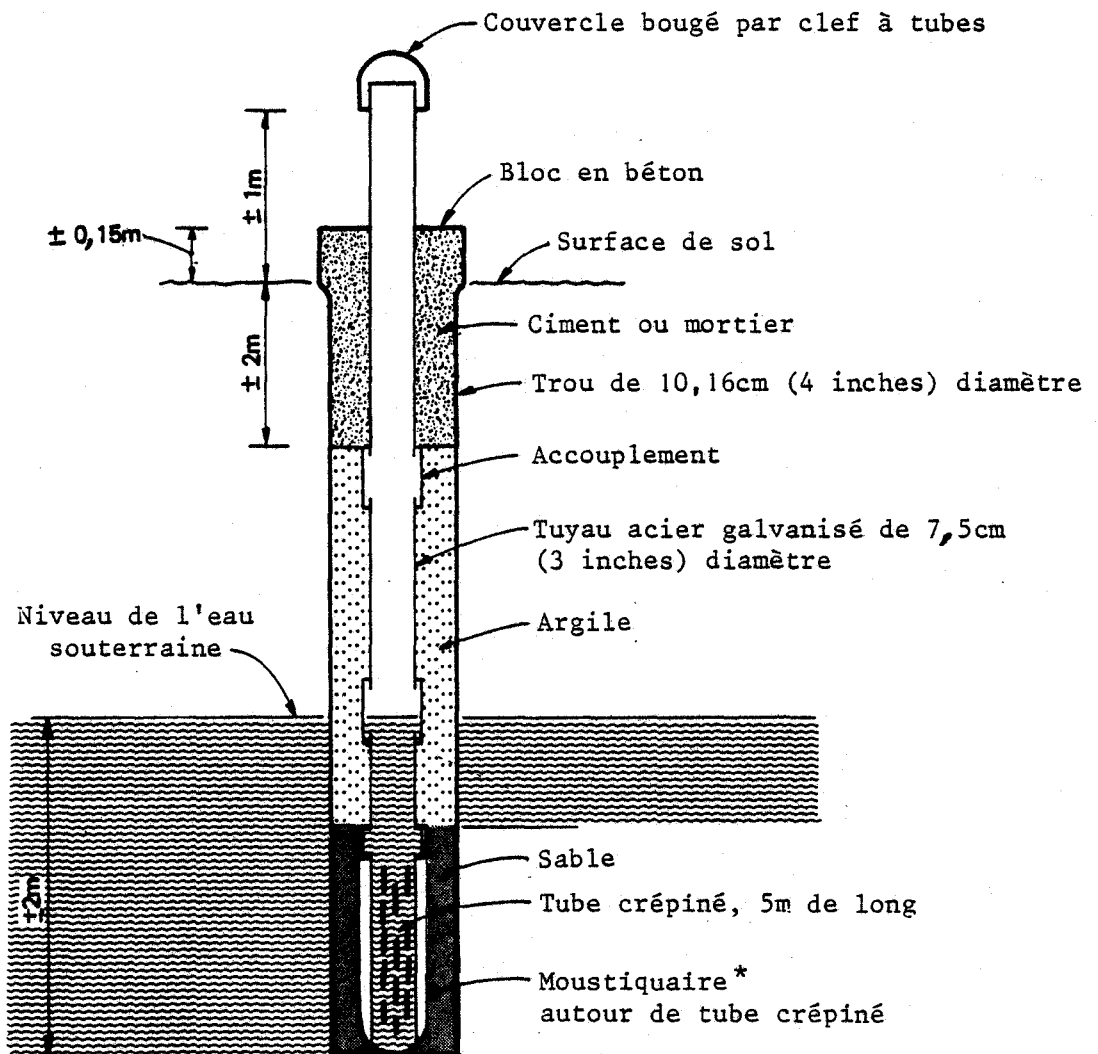
celés par du ciment ou au mortier, de façon à éviter le déplacement des tuyaux. Ils seront bouchés avec un couvercle à vis que l'on ne pourra faire bouger qu'avec une clef à tubes. Lors des études hydro-géologiques précédentes, on s'est toujours heurté au problème de la destruction sauvage des piézomètres. Sera-t-il nécessaire de trouver un moyen pour protéger les nouvelles installations contre les dégradations par les populations locales, peut-être en se concertant avec le chef de village ou les agents de la police locale.

4.5.1. L'installation des piézomètres de moins de 5m de profondeur (Schéma 1) pourra se faire par les équipes formées dans le projet et sera directement supervisée par le personnel technique de l'OMVS. Environ 4 équipes de 3 à 4 hommes pourront être chargées pendant la durée du projet de l'installation de ce type de piézomètres et du remplacement de ceux endommagés. Un piézomètre peu profond ne sera en fait qu'un simple tuyau dont les 50 derniers centimètres ou à peu près sont à fentes et recouverts d'une moustiquaire servant de filtre et qui s'élève d'environ 2m au dessus du niveau de l'eau à travers le sable perméable saturé d'eau.

4.5.2. Les piézomètres de 5 à 30m de profondeur seront installés avec une tarière mécanique sur machine sous le contrôle d'un opérateur de l'OMVS et son équipe. Le siège de l'OMVS à St. Louis sera fournir le personnel technique qui les dirigera.

4.5.3. L'installation des piézomètres de plus de 30m de profondeur (Schéma 2) se fera sous contrat par une équipe de forage. (On trouve sur la place de Dakar 3 sociétés de forage SONAFOR, INTRAFOR-COFOR et SASIF qui ont une expérience de ce type de travail.) On pense qu'un forage d'un diamètre de 20,4cm (8 inches) et profond de 30 à 50m (Schéma 3) se fera nécessaire sur chaque profil de piézomètre, soit une dizaine de forage. Chacun de ces forages pourra être équipé d'un appareil d'enregistrement continu logé dans un abri fermé. Chaque appareil sera sous la responsabilité d'un surveillant de puits qui y veillera et l'entretiendra. Si ces dispositions n'étaient pas prises, les installations auront probablement une courte vie.

Le Schéma Proposé pour Piézomètres  
de Faible et Moyenne Profondeur



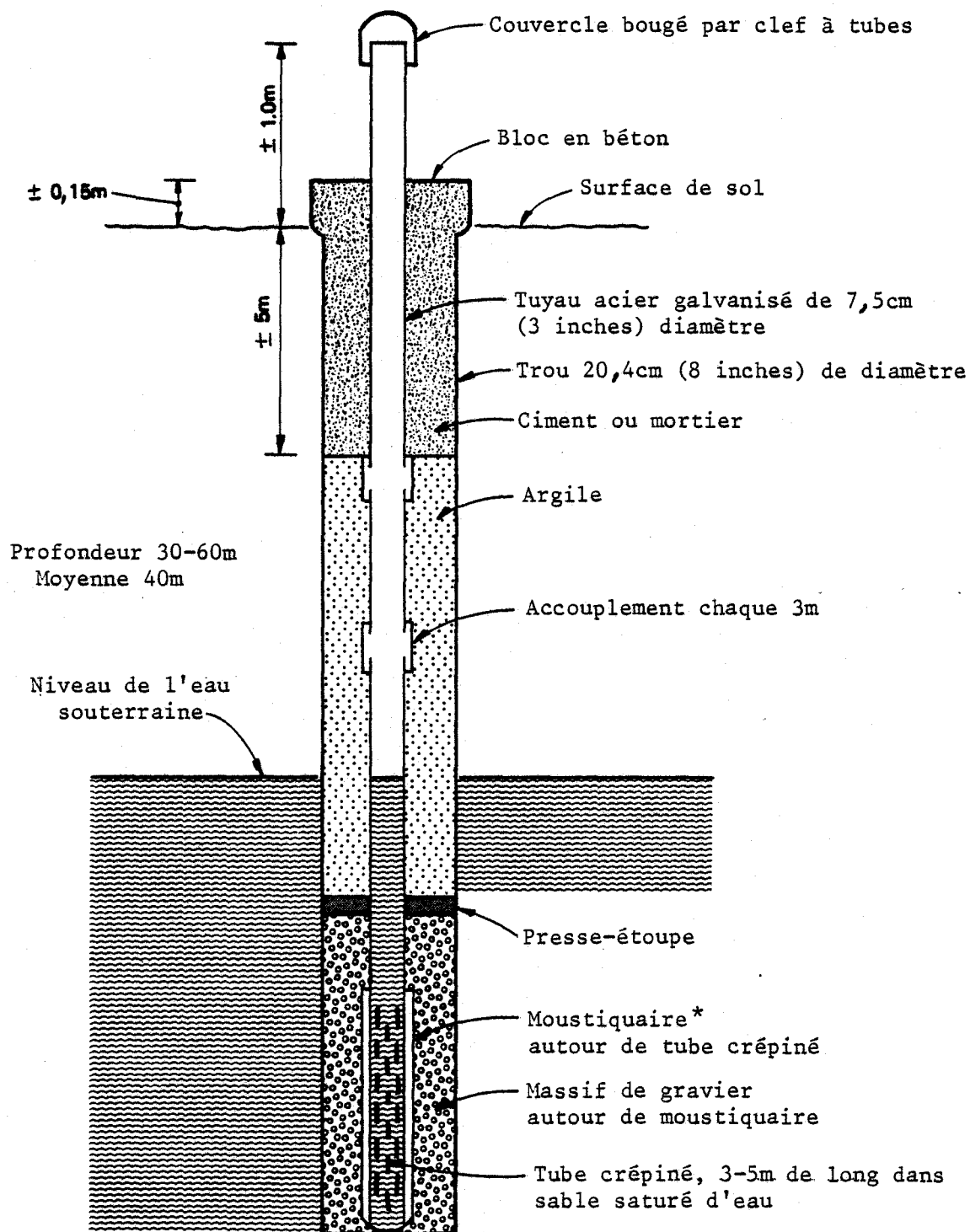
Piézomètres moins de 0,5m de profondeur,  
installé avec une tarière à main;

Piézomètres plus de 5m mais moins de 30m  
de profondeur, installé avec tarière mécanique

\*Il s'agit de substance utilisée habituellement pour  
les moustiquaires

Schéma 1

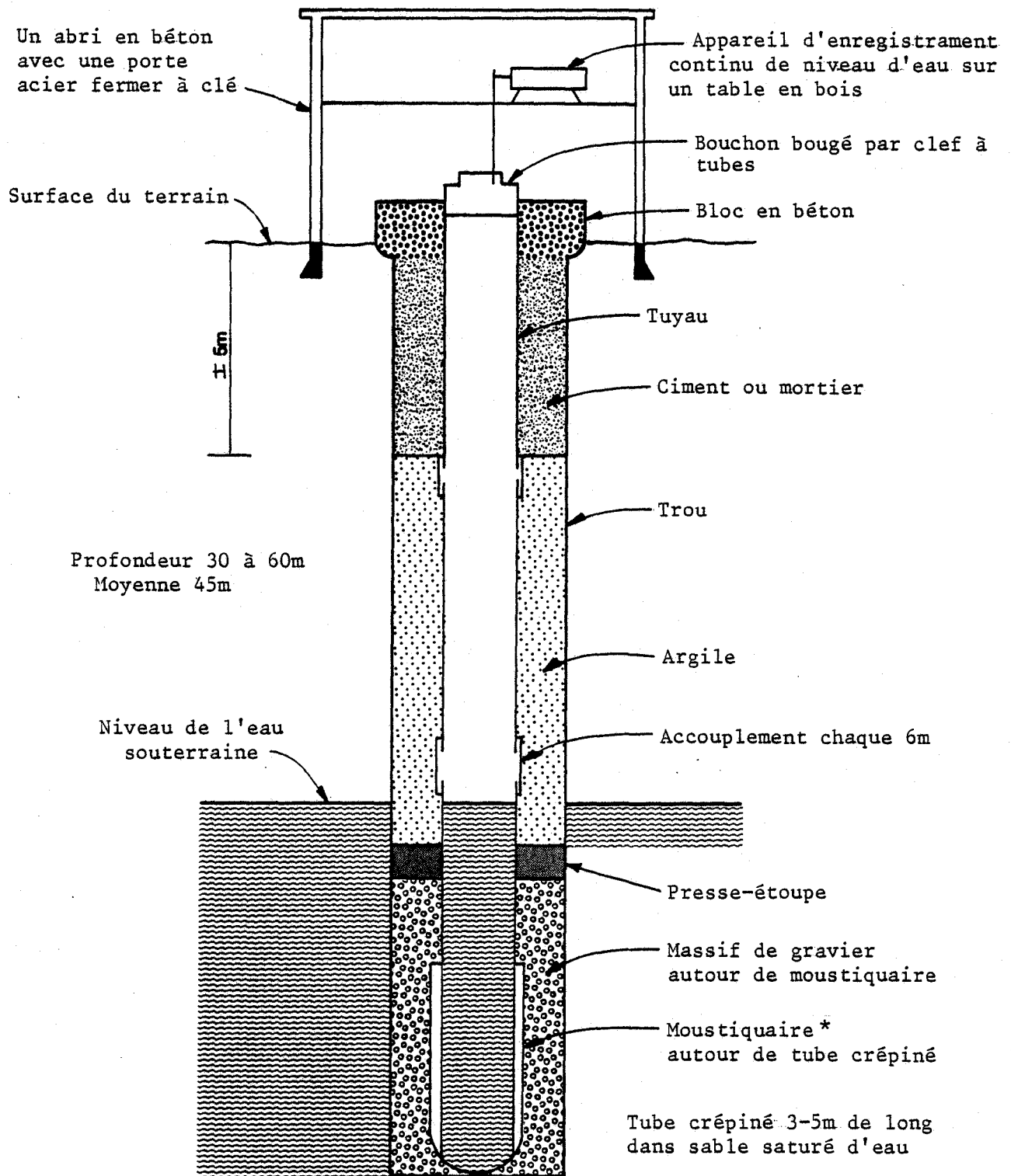
Le Schéma Proposé pour Piézomètre profond  
(installé sous contrat)



\*Il s'agit de substance utilisée habituellement pour les moustiquaires

Schéma 2

Le Schéma Proposé pour les Forages  
(installée sous contrat)



\*Il s'agit de substance utilisée habituellement pour les moustiquaire

Schéma 3

## 5.0. Cadre Institutionnel et Personnel Requis

5.1. Le Haut Commissariat à l'OMVS à Dakar (Schéma 4) prendra toutes les mesures nécessaires au bon déroulement du projet.

5.2. La direction des études, de la formation, de la programmation et de la construction pourra être créée au siège de l'OMVS à St. Louis au niveau de la branche hydrologie dont un noyau existe déjà.

5.3. Le chef de projet aura une bonne expérience professionnelle en hydrologie ou en hydrogéologie ainsi qu'un personnel permanent de l'OMVS.

5.4. Quatre adjoints au chef du projet devront être détachés par les services techniques des états membres à l'OMVS pour être à la tête du projet. Toutes ces personnes devant avoir une solide expérience professionnelle en hydrologie ou hydrogéologie.

5.5. Les assistants en chef auront pour tâche (1) de faire la programmation du recueil des données et de leur analyse; (2) de former des géomètres et surveillants de puits; (3) de superviser l'activité de ces derniers sur le terrain et (4) de contrôler et gérer le matériel de terrain, entretenir les véhicules et à s'occuper de constructions aussi bien à faire par le personnel OMVS que sous contrat avec des compagnies de forage.

5.6. La formation sous forme de courts ateliers et de travaux sur le terrain, se fera de façon intensive au début du projet et se poursuivra de façon intermittente par la suite.

5.7. Les surveillants de puits et géomètres une fois formés et supervisés à St. Louis, Ross-Bethio, Richard-Toll, Guédé ou Nianga, Haere Lao, Saldé, Matam, Semmé et Bakel, Rosso, Legumba, Boghé, Bababé, Kaédi, et Sivé, Ambidedi et Kayes. Nous estimons qu'une vingtaine de surveillants de puits et quelques 6 géomètres devront être formés pour mener à bien les activités de recueil de données. Le contrôle de la qualité des mesures nécessitera de fréquentes inspections du siège de St. Louis.

5.8. Les équipes internes pour l'installation des piézomètres peu profonds (moins de 5m) seront constituées de 3 à 4 personnes entraînées à l'utilisation de tarières et autres équipements légers de forage. La plupart des piézomètres de ce type devant être installée dans et autour des périmètres irrigués avec endiguement de la vallée et du delta. Environ 4 équipes seront nécessaires pour un travail continu d'installation et d'entretien de ces piézomètres.

5.9. Pour l'installation des piézomètres de moyenne profondeur (5 à 30m) on pourra utiliser une tarière mécanique de l'OMVS. Le personnel consistera en 1 opérateur formé avec deux aides techniques qui seront

Organisation Proposée pour le Projet Hydrogeologique

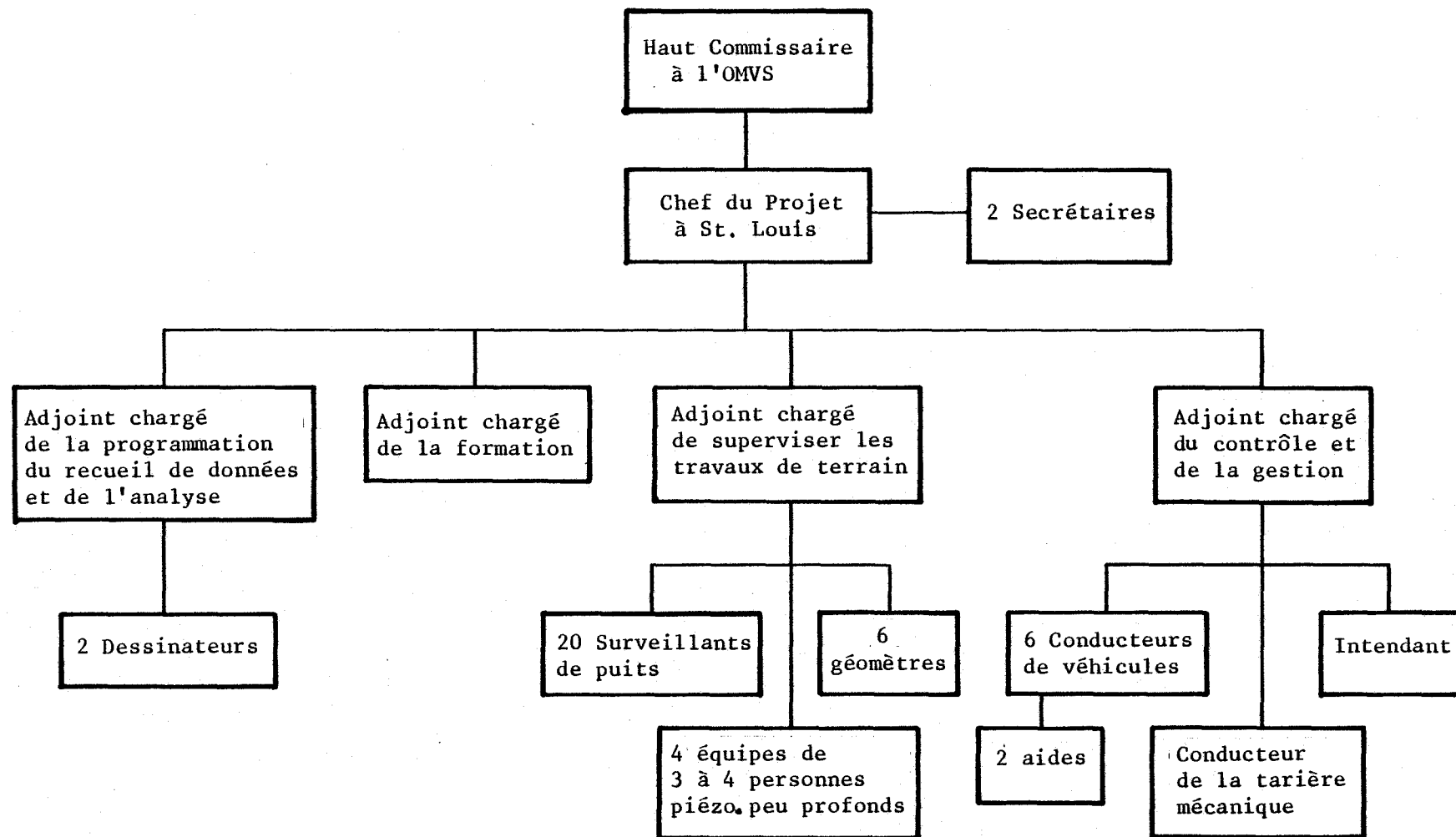


Schéma 4



dirigés par l'assistant chargé du contrôle, de la gestion et des constructions.

5.10. Pour les piézomètres profonds (au delà de 30m) et les forages d'observation, on fera appel à une société de forage.

5.11. Un intendant sous l'autorité de l'assistant chef chargé du contrôle, de la gestion et de la construction, sera chargé de gérer tout le matériel de terrain, les tarières, le stock de tubes pour piézomètres, les véhicules, etc. à St. Louis

5.12. Le projet pourrait engager deux secrétaires-dactylo au siège de l'OMVS à St. Louis pour le compte du chef du projet.

5.13. Six conducteurs de véhicule de terrain et un conducteur de tarière mécanique seront basés à St. Louis à la disposition de l'assistant en chef, chargé du contrôle, de la gestion et de la construction.

5.14. Il faudra mettre à la disposition du chef du projet à St. Louis deux dessinateurs-techniciens, pour la planification, et la compilation et l'analyse des données.

5.15. \*L'évaluation des coûts du personnel devant travailler pour le projet sous la direction de l'OMVS peut s'établir ainsi:

Nombres de personnes	Fonction	Coût annuel (million CFA)
1	Chef du Projet	4.00
4	Adjoint au Chef du Projet 3 millions/adjoint	12.00
2	Secrétaires-dactylo 1.04 millions/secrétaire	2.08
2	Dessinateurs-technicien 1.04 millions/chacun	2.08
1	Intendant	1.40
1	Conducteur de tarière mécanique	1.40
6	Géomètres 1.3 millions/chacun	7.80
6	Conducteur de véhicules 0.78 millions/chacun	4.68

Nombres de personnes	Fonction	Coût annuel (million CFA)
20	Surveillant de puits 0.65 millions/chacun	13.00
10	Surveillants non qualifiés pour divers travaux dont la pose de piézomètres 0.52 millions/chacun	<u>5.20</u>
Coût total en personnel/an . . . .		53.64

5.16. \*Coût d'entreposage du matériel de des véhicules et divers provisions que l'OMVS aura besoin pour le projet chaque an . . . . . 2.40

Coût total/an . . . . . 56.04

\*Dans ces chiffres, on ne tient pas compte de l'inflation dont le taux est de 20 à 25% par an.

5.17. L'assistance technique intermittente sera fournie au projet par l'organisme donateur par des contrats avec divers spécialistes. Les types de services, la durée de tels services, et les coûts compte non tenu de taux d'inflation sont donnés ci-dessous.

Durée du séjour (mois)	Spécialité	Coût en \$U.S.
3	Bilan d'eau et Analyse de balance saline	\$90,000
3	Qualité de l'eau	90,000
3	Hydrodynamique des eaux souterraines	90,000
3	Modelisation mathématique	90,000
6	Divers	<u>180,000</u>
		\$540,000

Le moment de ces allocations dépendra de l'état d'avancement du recueil des données hydrogéologiques, et de leurs compilation, mais on peut toutefois dire qu'on n'aura pas besoin de ces spécialistes avant le milieu du projet en même vers la fin.

6.0. L'Équipement, le matériel, les contrats de construction et les véhicules nécessaires:

On subdivisera ceci en 4 rubriques: équipement technique, matériel, contrats de construction et véhicules.

6.1. Détails de l'équipement technique proposé pour le projet:

Articles	Coût estimé \$U.S.
10 Sondes électriques type M-scope ou Soiltest graduées en centimètres et mètres avec sondes supplémentaires. \$152/série	1,520
40 Sondes de fabrication locale avec tuyau pour prendre des échantillons d'eau (vues au Sénégal - Hamdinou). \$50/chacune	2,000
10 Sondes en acier de 30m de long, graduées en centimètres et mètres, Lufkin black-face type avec bobine. \$65/chacune	650
10 Sondes en acier de 50m de long, graduées en centimètres et mètres, Lufkin black-face type avec bobine. \$110/chacune	1,100
10 Conductivimètres portatifs à pile pour les mesures sur terrain. \$400/chacune	4,000
10 Thermomètres gradués en degré centigrade jusqu'à 100°C \$15/chacun	150
5 Goniomètres avec accessoires \$1,020/chacun	5,100
10 Compas type Brunton en boîte \$105/chacun	1,050
10 Limnigraphes enregistreurs avec accessoires. Leupold-Stevens type A-71. \$1,500/série	15,000
10 Tarières à main (4 inches diamètre) avec 10 tubes d'un mètre chacune \$1,400/série	14,000

1	Tarière mécanique à hélice de longueur de 1 mètre et pouvant aller jusqu'à une profondeur de 30m, montée sur chariot ou pick-up	30,000
2	Coupe tube et des boites de taraudage pour tuyau de 3 inches diamètre \$500/série	1,000
	Divers outils à main, des clefs à tubes, des clefs à chaîne, etc.	1,500
2	Machines à écrire électrique \$500/chacune	1,000
2	Tables lumineuses pour les dessinateurs \$1,360/chacune	2,720
2	Boites d'outils à dessin \$300/chacune	600

Coût total de  
l'équipement technique . . . \$81,390

#### 6.2. Proposition de matériel nécessaire pour le projet:

On devra utiliser des tuyaux standards, galvanisés de 7,5cm (3 inches) pour tous les piézomètres. Si l'on prend pour prix du mètre linéaire de piézomètre avec accessoires égal à \$1.44, on peut adopter le schéma suivant:

Nombre de Piézomètres	Profondeur moyenne (m)	total (en mètre)	Coût estimé (\$U.S.)
<u>Réseau de piézomètre</u>			
80* (faible profondeur)	6	480	692
80 (moyenne profondeur)	20	1.600	2,304
90**(profond)	40	3.600	5,184
<u>Périmètres irrigués</u>			
225 (faible profondeur)	6	1.350	1,944
225 (moyenne profondeur)	12	2.700	3,888
700		9.730	\$14,012

\*Les piézomètres seront à fente vers la base (3 à 5 derniers mètres)

et la partie crépinée sera entourée d'une moustiquaire avec un massif de gravier. (Ce type de construction ayant fait ses preuves dans les études hydrogéologiques précédentes.)

\*\*Construction se fera sous contrat; on fournira les tubes à la société de forage.

La coût total en matériel est estimé à \$U.S. . . . . \$14,012

6.3. Besoins en contrat de construction du projet sont proposés ci-dessous:

- 10 Forages d'observation de 20.4cm (8 inches) de diamètre et profond de 30 à 60m avec une moyenne de 45m, pour un total de 450m de tubage et trou. Tous les forages seront crépinés à la base (3 à 5m) avec un massif de gravier et un presse-étoupe au dessus du gravier; ils seront renforcés avec de l'argile dans l'espace annulaire, entre le tuyau et le mur de trou, et cimentés sur une hauteur de 5m au dessus du niveau du sol et enfin développés à l'air comprimé.

Le coût d'un forage ainsi entrèremment équipé et développé par la Société contractante est de \$10,000, soit un coût total . . . . . \$100,000

- 90 Piézomètres de 7,5cm de diamètre (3 inches) et profond de 30 à 60m avec une moyenne de 40m seront installés par l'entreprise. Les tubes de 7,5cm nécessaires, les emmanchements et les bouchons seront pris sur le stock du projet. L'entrepreneur creusera le trou, installera les piézomètres crépinés sur les 5 derniers mètres, avec le massif de gravier et tout l'équipement qui avait été admis pour les forages. L'entrepreneur fournira tout le matériel nécessaire, exception faite des tubes piézométriques.

Le coût de chaque piézomètre, en tenant compte de ces conditions s'élèverait à \$2,500, soit un coût total . . . . . \$225,000

On peut donc globalement estimer le coût en matériel du l'ordre de \$U.S. . . . . \$325,000

6.4. Besoins en véhicules du projet:

- 6 Land-Rovers pouvant transporter des passagers en terrain, des équipes de nivellement, équipe de construction et le personnel qui sera dirigé.  
\$9,000/chacun . . . . . \$ 54,000
- 1 Benne (1 1/2 tonne) pour le transport des tuyaux et accessoires . . . . . \$ 25,000

15	Motocyclettes pour le transport des surveillants de puits \$700/chacun . . . . .	\$10,500
	Pièces de rechange - approx. 25% du coût total . . . . .	<u>\$22,375</u>
		\$111,875

L'essence et l'entretien des Land Rover et de la benne, sera de \$200 par mois/véhicules, ce qui fait \$1,400 par mois, soit \$16,800 par an et \$84,000 durant les 5 années du projet compte non tenu de l'inflation.

6.5. Coûts d'embarquement de Houston à Dakar et le transport de Dakar au terrain de travail.

Transport de tuyaux . . . . .	\$21,866
Transport de véhicules . . . . .	35,877
Divers . . . . .	3,760
Transport de Dakar au terrain de travail . . . .	<u>1,116</u>
Coût total . . . . .	\$62,619

#### 7.0. Prévisions de la durée des différentes phases du projet.

La durée proposée pour le projet est de 5 ans. Tout l'équipement nécessaire, le matériel et les véhicules devront être fournis dans les 6 premiers mois de façon à ce que les travaux se déroulent comme prévu. Les plans de travail proposé pour le personnel (Schéma 5), les différentes phases du projet et les contrats avec les entreprises (Schéma 6) est précisé dans le diagramme ci-après:



# Plan d'Utilisation du Personnel

	Première année	Deuxième année	Troisième année	Quatrième année	Cinquième année
Chef du Projet	→				→
2 Secrétaires-dactylo	→				→
1 Dessinateur	→				→
1 Dessinateur		→			→
1 Adjoint au Chef Chargé de la Programmation et de la Compilation	→				→
1 Adjoint au Chef Chargé de la Formation	→			→	
1 Adjoint au Chef Chargé de superviser les Travaux de Terrain	→				→
1 Adjoint Chargé du Contrôle, de la Gestion et des Constructions	→				→
1 Chef du Matériel (Intendant)	→				→
1 Conducteur de Tarième mécanique	→				→
6 Conducteurs	→				→
20 Surveillants de Puits	→				→
6 Géomètres	→			→	
Ouvriers non qualifiés (temporaires)	→			→	
Spécialists de l'assistance technique		→			→

Schéma 5

# Prévision de la Durée des Différentes Phases

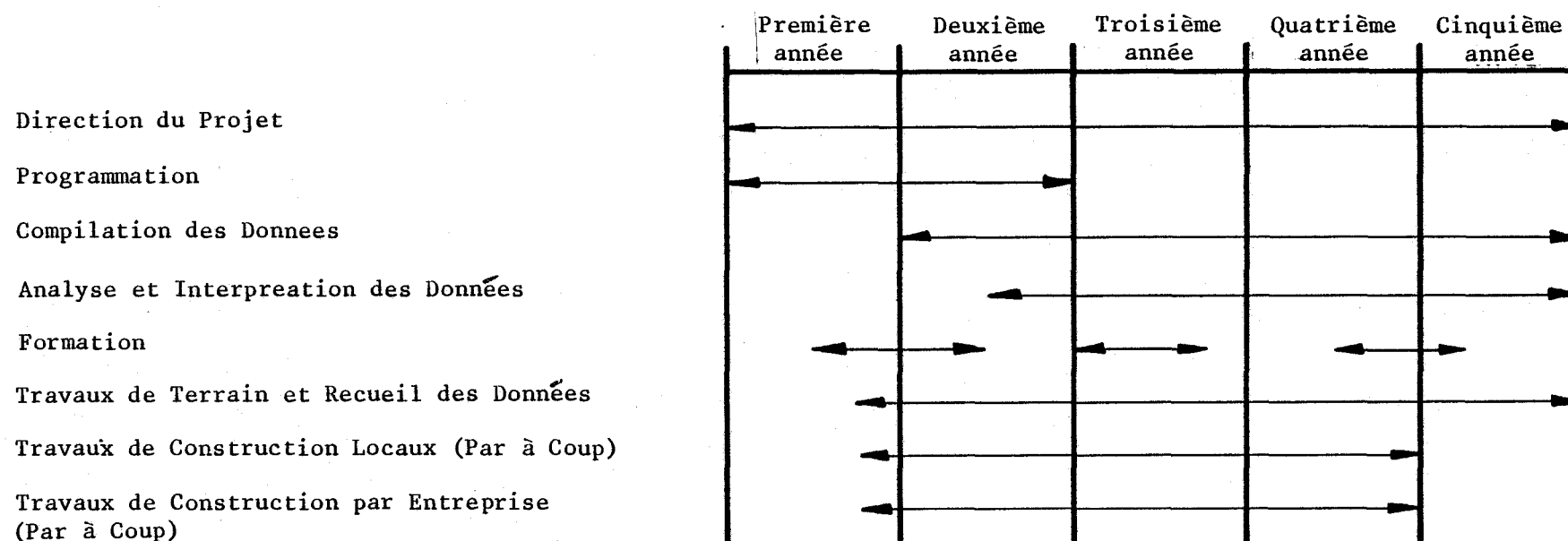


Schéma 6

8.0. Coût estimatif du Projet sur 5 ans compte non tenu de l'inflation.\*

Coûts en U.S. Dollars

Personnel Assistance Technique International . . . . .	\$540,000
Equipement Technique . . . . .	81,390
Matériel . . . . .	14,012
Contrats de Construction . . . . .	325,000
Véhicules . . . . .	111,875
Essence et entretien de véhicules pendant 5 ans . . . . .	84,000
Transport . . . . .	<u>62,619</u>
U.S. Dollars . . . . .	\$1,218,896

Coûts en Francs CFA

Personnel de l'OMVS pendant 5 ans à raison de 53.64 millions/an . . . . .	268.2 millions CFA
Cardiannage de l'équipement et des véhicules et divers services à raison de 2.4 millions/an pendant 5 ans . . . . .	<u>12.0 millions CFA</u>
	280.2 millions CFA

\*Le taux d'inflation est estimé de 20 à 25%.

#### 9.0. Bibliographie Selectionnée

- Audibert, M. 1970. Delta du Fleuve Sénégal, Etude Hydrogéologique, 4 parts, OMVS/FAO Etude Hydroagricole du Bassin du Fleuve Sénégal, Proj. AFR/REG 61.
- Illy, P. 1973, Etude Hydrogéologique de la Vallée du Fleuve Sénégal, 3 parts, OMVS/FAO Etude Hydroagricole du Bassin du Fleuve, Sénégal, FAO, RAF/65/061
- Hamdinou, A.O. 1974, Compte-rendu d'une Campagne d'Observation Piézomètres de la Vallée, Année 1973-74, Etude Hydroagricole du Bassin du Fleuve Sénégal, RAF 65/061
- Hamdinou, A.O. 1975, Données Piézométriques sur les Nappes Alluviales et la Crue du Fleuve, Campagne 1974, Etude Hydroagricole du Bassin du Fleuve Sénégal, RAF 65/061
- Sogreah, 1974, Aménagement de l'Aftout es Sahel, Rapport Intermédiaire, Etudes Préliminaires et Schémas Directeurs d'Aménagement, Annexe 2, Rapport Hydrogéologique
- U.S. Bureau of Reclamation, 1976, Senegal River Basin, Preliminary basic data examination and suggested study program, USAID report
- Bechtel Overseas Corp., 1976, Development of Irrigated Agriculture at Matam, Senegal - Feasibility Study, USAID report
- Greenman, D.W. 1977, Proposal to assemble ground-water data in the Senegal River Basin, USAID/OMVS, Dakar
- Ground-water project proposals from Mali, Mauritania, and Senegal in response to Greenman (1977) report
- Hamdinou, A.O. and Seye, B. 1978. Hydrologie du Fleuve Sénégal de Bakel à St. Louis, OMVS, Haut Commissariat
- Gannett, Fleming, Corddry, and Carpenter (GFCC). 1979. Assessment of Environmental Effects of Proposed Developments in the Senegal River Basin, partial ground-water report, OMVS.
- Wahler and Associates. In progress. Ground-water compilation project for Mali.
- OMVS/USAID. 1979. Hydrogeologic Study of the Senegal River Basin - Terms of Reference.

## Glossaire de termes Hydrogéologiques

### Anglais

### Français

groundwater monitoring	gestion des ressources en eau souterraine
water quality	qualité de l'eau
groundwater hydraulics	dynamique des eaux souterraines
water budget	bilan d'eau
salt balance	balance saline (variation de salinité)
water-logging	remontée de l'eau souterraine
recharge-discharge relations	mécanisme d'alimentation et de vidange
valley aquifer	nappe alluviale
village and livestock wells	puits non équipés
tubewells (overwells)	forages
water supply	alimentation en eau
exploratory drilling	sondage de reconnaissance
brackish water	eau saumâtre
saline water	eau salée ≠ fresh water = eau douce
high saline water	eau sursalée
monitoring of groundwater levels	surveillance du niveau des eaux souterraines
water management	"Economie" de l'eau
source of recharge	source d'alimentation
a replenished aquifer	nappe "gonflée" (alimentée)
a depleted aquifer	nappe "déprimée" (drainée)
shallow pizometer	piézomètre de faible profondeur
deep pizomètre	piézomètre profond
water-table contour map	carte piézométrique
water-table	surface piézométrique (nappe libre)
water level	niveau d'eau
groundwater salinity map	carte de salinité des eaux souterraines
depth to water maps	carte d'égale profondeur de l'eau (par rapport au sol)
network of pizometers and observation wells	un réseau de piézomètre et puits d'observation
a well observer	un "surveillant" de puits
an electric tape	une sonde électrique
a hand auger	tarière à main
a power auger	tarière mécanique
water-sampling	échantillonnage d'une eau
water-level recorder	limnigraphe enregistreur
a three-hole bultine (pizometer)	piézomètre triple
a house crew	une équipe "interne"
3 inch galvanized steel pipe	tube en acier galvanisé de 3 inches
pipe wrench	clef à tubes
nylon mesh bag	moustiquaire
slotted pipe	tube crépiné (crépiné à fentes)