

250

11013

MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

DES TRANSPORTS ET DES COMMUNICATIONS

— 0 — 0 — 0 — 0 —

RAPPORT DE HYDRAULIQUE

GÉNÉRALE

par

M. Arpad KOCHIS - Hydrogéologue

Jean MERLIER - Hydraulicien

1964 - 1965

MISSION HYDRAULIQUE SOUTERRAINE  
DES NATIONS UNIES AU MALI

---

Rapport d'Hydraulique  
Souterraine

par

Dr. Arpad KOC SIS - Hydrogéologue  
Jean MERLIER - Hydraulicien

"Le présent rapport n'a pas encore été approuvé par la Direction des Opérations de l'Assistance Technique des Nations Unies qui ne partage donc pas nécessairement les opinions qui y sont exprimées".

## T A B L E D E S M A T I E R E S

	Page
Introduction . . . . .	1 - 3
Bilan hydrologique du Mali . . . . .	4 - 6
Tableau Stratigraphique du Mali . . . . .	7 - 8
Notice explicative pour le tableau n°1 . . . . .	9
Partie hydrogéologie . . . . .	10 - 11
L'Hydrogéologie du Mali . . . . .	12 - 19
Synthèse des nappes . . . . .	15 - 23
Méthodes microsismiques . . . . .	24
L'inventaire des principales nappes aquifères du Mali (tableau n°2) . . . . .	25 - 26
Explication sur le tableau n°2 . . . . .	27 - 28
Estimation approximative des ressources statiques en eaux souterraines du Mali - Tableau n°3 . . . . .	28bis
Explication sur le tableau n°3 . . . . .	29 - 30
Approvisionnement Urbain en eau et assainissement au Mali - Tableau n°4 . . . . .	31
Notice explicative sur le Tableau n°4 . . . . .	32 - 33
Exécution des galeries . . . . .	34 - 35
Méthode de forçage sous l'eau . . . . .	36 - 37
Types de pompes employés et Installation de pompes.	38 - 51
Mesure de débit d'un puits par la méthode "PORCHET"	52
Développement d'un ouvrage . . . . .	53 - 54
Construction par la méthode "FRIRY". . . . .	55 - 58
Liste du matériel destiné au forçage et construction des puits . . . . .	59 - 60
Description des pâturages . . . . .	61 - 64
Les besoins en eau . . . . .	65
Remarques et recommandations concernant l'exécution des puits . . . . .	66 - 69
Synthèse des recommandations . . . . .	70 - 73
Programme à longue échéance . . . . .	74
Exposé succinct du programme de recherche hydrogéologique	75 - 76
Proposition pour recherches . . . . .	77
Proposition pour amélioration . . . . .	78
Conclusions . . . . .	79 - 80
Bibliographie . . . . .	81

## INTRODUCTION

=====

Ainsi que partout dans le monde, particulièrement dans le cas du Mali, faisant l'objet des études énumérées ci-dessous, l'augmentation des ressortissants et le développement indispensable de l'économie surtout de l'élevage exige une production de plus en plus élevée de l'eau et de meilleure qualité, principalement l'alimentation humaine, le bétail et pour des besoins spéciaux (lavage des produits, technologie spéciale), dans les formes modernes et l'industrie en général.

Dans chaque pays particulièrement dans les pays arides et semi-arides comme le Mali, la manière la plus économique pour le captage d'eau de bonne qualité est l'exploitation des nappes aquifères souterraines lorsqu'elles existent.

L'importance de trouver de nouvelles nappes ou mettre en valeur ces dernières plus efficacement exigent un effort plus grand pour les pays en voie de développement. Pour cette raison, les premiers pas pour organiser un service spécialisé dans ce domaine ont été faits par les Français.

Depuis que le Mali est devenu un pays qui poursuit une économie planifiée, les besoins en eau et leurs recherches systématiques dépassent les anciens cadres, et demandent une organisation plus étendue.

L'élevage entre au premier plan dans l'économie du Mali. Les ressources naturelles en pâturages ne peuvent pas être exploitées à fond par manque d'eau dans des régions étendues, surtout sahéliennes, où l'eau de surface manque. C'est ainsi que depuis la période française déjà une attention spéciale a été donnée à la mise en valeur des eaux souterraines dans ces régions. Depuis l'indépendance ces efforts ont été continués par le Gouvernement du Mali, qui en 1961 a fait appel aux Nations Unies pour une assistance technique dans ce domaine. A la suite de cette demande le Bureau de l'Organisation d'Assistance Technique a envoyé en 1962 un expert pour faire la synthèse des investigations faites, et pour conseiller le Gouvernement au su-

jet de la continuation des études, en donnant une attention spéciale aux possibilités d'aide étrangère.

A la suite de ses recommandations la présente mission a été envoyée. Elle a été confiée aux experts MM. Arpad Kocsis et Jean Merlier qui, pendant leur séjour au Mali de Janvier 1964 à Juin 1965 ont été rattachés à la Direction de l'Hydraulique, dépendant du Ministère des Travaux Publics.

Initialement trois experts étaient prévus. Par suite des difficultés de recrutement, la mission a dû être réduite à deux personnes. En conséquence leur programme d'activités a été différent des tâches décrites à l'origine. Ces activités ont été les suivantes -

— Poursuivre les études hydrogéologiques des régions intéressées, en s'appuyant d'une part sur les données existantes, et d'autre part sur des mesures géophysiques, des forages, des essais de pompage ... à exécuter.

— Conseiller en matière de l'exécution des puits.

Ce programme n'a été réalisé qu'en partie, surtout à cause du manque de matériel qui pouvait être mis à la disposition des recherches en question. Par contre, une attention spéciale a pu être consacrée à la formation du personnel par moyen de séries de conférences faites par les deux experts. Les cours ont été multipliés sur stencil à l'usage des stagiaires. Ces textes ne sont pas reproduits dans ce rapport.

Plusieurs tournées sur le terrain ont été faites. Les principales régions sahéliennes ont été visitées. Ces tournées se sont étendues à la région de Tacodénit dans une excursion combinée avec les géologues de Sonarem. Elles avaient pour but la reconnaissance géologique du terrain, l'implantation de certains ouvrages, et en plus, l'inspection des travaux en cours.

Les études ont surtout porté sur la synthèse des données hydrogéologiques existantes; en particulier une carte hydrogéologique a été établie par la mission, en englobant quelques uns des résultats récents obtenus par la Direction de l'Hydraulique, et par Sonarem.

annuel de  $800 \text{ m}^3/\text{sec.}$ , mais cette quantité, par manque de barrage, sort du pays, le lit du fleuve étant constitué par des roches imperméables et de ce fait, il n'est pas possible d'espérer une réalimentation des nappes en eaux souterraines dans le bassin versant de celui-ci ( $25 \text{ km}^3/\text{an}$ )

Si nous désirons présenter le bilan hydrologique d'un pays il convient de prendre en considération les apports et les pertes hydrauliques. Le Mali étant un vaste pays comprend plusieurs types de climat, il y a lieu de le partager en 2 parties principales, c'est-à-dire, en prenant comme exemple isohyète 400 mm. Le territoire au Sud de cette ligne comprend environ 40% de la superficie du Mali soit approximativement  $500.000 \text{ km}^2$ . La pluie moyenne annuelle est en général d'environ 800 mm ce qui représente  $400 \text{ km}^3$  d'eau par an.

L'autre partie s'étendant au Nord n'en reçoit que 400 mm et représente 60% de la superficie du pays soit environ  $700.000 \text{ km}^2$ .

Habituellement les précipitations sont beaucoup plus faibles parfois 100 mm par an, ce qui fait  $70 \text{ km}^3$ , au total. Nous pouvons dire que le Mali reçoit  $470 \text{ km}^3$  par an.

Si nous comparons les chiffres de rentabilité par pluie qui tombe au Mali ( $470 \text{ km}^3/\text{an}$ ) et par les fleuves ( $80 \text{ km}^3/\text{an}$ ) au total ( $560 \text{ km}^3/\text{an}$ ) avec les ressources statiques des eaux souterraines du Mali (Voir le tableau n°2)  $458 \text{ km}^3/\text{an}$ , c'est presque la même valeur, et si l'évaporation ne jouait pas un rôle assez important, la pluie et les fleuves peuvent réalimenter les nappes suffisamment

Si nous ne prenons seulement en considération que la quantité exploitée de ces ressources statiques (voir production annuelle) colonne 10 du tableau n°2) et comparons avec les ressources hydrauliques, il est seulement de  $0,132 \text{ km}^3$  soit 0,2% de rentabilité totale.

Ce chiffre nous montre que les ressources en eaux souterraines ne sont pas actuellement surexploitées au Mali.

Tableau n°1

- 7 -

1	2	3	4	5	6
Ere Géologique	Régions des Affleurements	Composition lithologiques	N a p p e s	Gisements	
1 : <u>Quaternaire</u>	: Vallée du Niger-Sahara				
: a/ Holocène	:	: Dunes sableuse	: Nappe dans les fonds de mares alluvionnaires	: Sel - Kaolin - Mine	
: b/ Pléistocène	:	: Sable, graviers, latérite	: Zone de départ. Eaux dans les fissures	: fer pour les fours africains	
:	:	:	:		
:	:	:	:		
2 : <u>Continental Terminal</u>	:	: Formation Hammadienne	: Stérile	: Lignite	
: a/ Mio-Pliocène	: Tacoudenit-Azaouad-Plaine du Gondo	: Débris Mio-Pliocène-sable	: Nappe du Continental Terminal proprement dite		
: b/ Oligocène	: Tilemsi	: Sable à gravier	: Nappe de base du Continental Terminal		
: c/ Eocène Supérieur	: Fosse de Gao	: Conglomérats, sable	: Nappe de l'Eocène Supérieur		
:	:	:	:		
3 : <u>Tertiaires Marin</u>	: Bordure de l'Adrar des Iforas	: Schistes papyracés, phosphates	: Stérile	: Phosphate	
: Eocène moyen	: Détroit Soudanais	: Marnes argileuses			
: Yprésien	: Bassin du Niger	: Calcaires éocènes			
: Paléocène	:	: Argiles à sable fin	: Nappe faible, discontinue		
4 : <u>Crétacé Marin et Continental</u>	: Bordure de l'Adrar des Iforas	: calcaires marins	: Stérile	: Lignite	
:	: Bassin du Niger	: Série Argilo-gréseuse à sable grossier	: Nappe du Sénonien Continental		
:	: Fosse de Gao	: Série gréseuse molassique	: Stérile		
:	:	: et ligniteuse			

Par suite de ces difficultés ci-dessus énumérées pour faire un inventaire des nappes des eaux souterraines dans un pays aride avec les communications et les possibilités financières modestes se posent beaucoup de problèmes et de même, pour un pays aussi étendu que le Mali il faudrait compter au minimum 5 à 6 ans avec des expéditions bien installées, des équipes géophysiques, sondeuses et pompes pour arriver à un résultat convenable.

Notre Mission n'est composée que de 2 personnes, sans aucune possibilité de diriger un service spécialisé et bien équipé, n'a pu que faire un inventaire énumératif des nappes déjà connues et compléter avec certaines autres récemment explorées, faisant une étude théorique et préparatoire, déterminant les endroits principaux et les méthodes à suivre pour une prospection plus exacte et plus détaillée.

Nous avons élaboré tous les problèmes de recherches dans un ordre d'urgence recommandant les moyens géophysiques à appliquer et le nombre de forages et pompages d'essais nécessaires pour trouver une solution aux problèmes les plus urgents des prospections exécutées en faveur des différents problèmes de l'approvisionnement en eau au Mali.

### L'hydrogéologie du Mali.

Dans ses grandes lignes la géologie du Mali est assez simple. Il est vrai que le Précambrien est très plissé et traversé par de nombreuses venues éruptives, mais nous n'avons pas besoin de nous occuper de cette structure compliquée, puisque les couches de cet âge sont toutes imperméables, de manière que le Précambrien peut-être considéré comme un socle massif, dont la surface est peu ondulée à cause de l'érosion. Le Précambrien affleure dans certaines régions du Mali, alors que pour la majeure partie du territoire il est couvert par des couches sédimentaires. Celles ci sont en général sub-horizontales, sauf - pour le territoire malien - dans le Gourma, où les couches Infracambriennes montrent un plissement jusqu'à la verticale.

Les couches sédimentaires contiennent plusieurs aquifères. En général leur base se distingue nettement du matériel de l'aquifère par une différence lithologique marquée, ce qui facilite la détection des bases des nappes par des méthodes géophysiques, en particulier par les méthodes microsismiques. Ces dernières, pour leur application présupposent une grande différence de structure des couches de part et d'autre du contact qu'on cherche à délimiter.

Une carte hydrogéologique a été établie sur la base de la carte géologique au 2 000 000 me. Elle ne tient compte que des principaux aquifères. Le texte suivant, qui servira de notice descriptive, les caractérisera, de même que les nappes de moindre importance. Sur la carte plusieurs régions sont distinguées par des numéros différents.

-- Le numéro 0 indique le socle et les couches inférieures, stériles, de l'Infracambrien. Dans les régions marquées par un 0 on ne pourra trouver de l'eau que dans les fissures, les couches altérées, ou les petites cuvettes remplies d'alluvions, non indiquées sur la carte.

-- Le numéro 1 indique la région où le seul aquifère qu'on puisse rencontrer est la série calcaire-dolomitique à Stromatolithos, qui fait partie de l'Infracambrien. Pour le Gourma les contours ont été

c/ Dans certaines régions non marquées sur la carte il y a des indications où l'on peut capter de l'eau dans les formations qui sont d'ailleurs imperméables. Les principales sont :

- La région de Nara-Mioko où les schistes cambriens sont localement fissurés, ce qui leur prête une certaine perméabilité. Il paraît que cette fissuration est la plus accusée dans les zones qui ont été traversées par des venues éruptives doléritiques. Les principales de ces zones ont été indiquées par la lettre "D" sur la carte hydrogéologique.
- Le Plateau de Bandiagara est constitué de grès de Bandiagara et de Koutiala, que la carte géologique au 2 000 000 me rattache à l'Infracambrien, et la carte de l'UNESCO au Cambro-Ordovicien. Ce plateau est traversé par un grand nombre de fissures parallèles dans la direction sud-ouest nord-est, qui sont marquées sur la carte topographique. On ne sait s'il s'agit de fissures ouvertes remplies de débris, ou de "Graben" étroites. De toute manière certains puits existent dans ces fissures. La formation géologique du Plateau de Bandiagara continue dans la région au sud-ouest du plateau jusqu'aux environs de Ségué, où elle peut avoir les mêmes caractéristiques.
- Dans la région de Bafoulabé, Kita et Bamako et encore au nord-est de cette dernière ville les séries de Madine-Kouta, Koulouba et Af-folé affleurent. Ces formations sont généralement imperméables, mais des puits ont été creusés dans les latérites qui se sont formées par altération des couches supérieures de la roche-mère.
- Dans le Bassin de Tacodénit dans le sens restreint les grès marins littoraux du Carbonifère sont fissurés. Jusqu'à présent on n'a trouvé que de l'eau salée dans ces fissures. Ce Carbonifère contient d'autre part des couches calcaires, qui peuvent être cavernueuses. La SONAREM poursuit des études sur ce point.

#### Le Continental Intercalaire.

On comprend sous ce terme tous les dépôts continentaux de la période comprise entre les dernières sédimentations marines carbonifères et la transgression du Cénomani (Crétacé). Alors que ces dé-

pôts continentaux couvrent en principe tout le territoire du Mali, la transgression marine du Cénomaniens n'a atteint que l'est du pays. C'est dans cette dernière région que les couches marines du Crétacé et du Tertiaire inférieur se sont intercalées entre le Continental Intercalaire et le Continental Terminal, alors que dans le reste du pays ces deux séries continentales se font suite.

Le faciès du Continental Intercalaire varie de place en place.

On trouve par exemple :

- A l'est de Nara, jusqu'à la frontière de l'Auritanie, et au delà : une série argilo-gréseuse.
- Au nord de Tombouctou dans la région sahélienne : des grès quartzitiques.
- Dans le Bassin de Taoudénit dans le sens restreint : des grès quartzitiques avec des galets et des bois silicifiés.
- En bordure de l'Adrar des Iforas : des calcaires conglomératiques surmontés par une série argilo-gréseuse.

Le Continental Intercalaire contient des nappes connues dans les régions suivantes :

- A l'est de Nara dans la série argilo-gréseuse.
- Au nord de Tombouctou jusqu'à Tin-Engelhai (à environ 140 km au nord de Tombouctou) la plupart des puits sont creusés dans les formations sablonneuses du Continental Intercalaire.
- Au sud du Bassin de Taoudénit au sens restreint le Continental Intercalaire affleure. La surface est formée de grès quartzitiques. Pas de puits sont connus dans cette région. La SONAREM est en train d'exécuter des sondages dans cette région pour examiner si une nappe existe.
- Aux abords de l'Adrar des Iforas jusqu'aux environs de Ménaka, la partie supérieure du Continental Intercalaire rattachée au Sénonien renferme une nappe importante, connue par des puits et des forages.
- Aux environs de Ménaka on suppose, par analogie avec le bassin du Niger en République du Niger, l'existence d'une deuxième nappe

plus profonde. Dans le cadre d'une aide Anglaise un forage de prospection de 300 m de profondeur sera exécuté à proximité de la ville de Ménaka.

#### La série marine crétacée-éocène

La transgression marine du Crétacé n'a atteint que les alentours de l'Adrar des Iforas. Il est probable que la mer ait inondé les zones d'affaissement. Des mesures géophysiques ont mis en évidence d'importantes failles à grand rejet dans cette région. L'âge exact des affaissements n'est pas encore connu, et fera l'objet de recherches à faire par SONAREM à l'aide de sondages de grande profondeur dans la Fosse de Gao.

Les formations marines du Crétacé sont stériles. On ne connaît qu'une seule nappe dans l'Eocène supérieur marin, qui est limité à la Fosse de Gao. Elle se trouve dans des formations sableuses-gravillonneuses. La qualité de l'eau est bonne, bien qu'à l'Eocène supérieur la mer se soit retirée, donnant lieu localement à des dépôts lacustres phosphatés ou salés.

#### Le Continental Terminal et le Quaternaire.

Comme les formations du Quaternaire se distinguent difficilement de celles du Continental Terminal, ces deux étages ont été traités ensemble. La composition lithologique des couches du Continental Terminal diffère peu de celle du Continental Intercalaire. Elle varie entre : argiles sableuses et ferrugineuses, conglomérats, grès bleus quartzitiques, et sables à gravier. C'est dans cette dernière formation qu'on trouve en général une nappe.

Dans la majeure partie du pays la série marine crétacée-éocène manque, de manière que le Continental Terminal repose directement sur le Continental Intercalaire. Dans ces régions il est souvent difficile de distinguer entre ces deux formations, et parfois des nappes ont été rattachées par erreur à l'un ou l'autre de ces deux étages.

D'après cet inventaire descriptif au point de vue hydrogéologie il est préférable de faire un résumé des nappes du Mali d'après leur situation topographique, utilisation, à quelle profondeur elles se trouvent, les débits approximatifs et la qualité de l'eau. Voir le tableau à la page suivante.

#### Synthèse des Nappes du Mali.

L'énumération chronologique doit donner un aperçu général des Nappes du Mali, au point de vue du développement des recherches pour l'avenir.

Au point de vue pratique, selon l'importance économique les nappes d'eau souterraines au Mali, doivent être groupées en deux grandes catégories :

- a/ Nappes de grande valeur
- b/ " secondaires

C'est par hasard que pour la recherche des ressources hydrauliques souterraines du Mali, la valeur des nappes soit conforme à leurs circonstances hydrogéologiques c'est-à-dire que les méthodes applicables pendant la campagne de prospection soient les mêmes pour les trois nappes les plus importantes.

En général la mission pourrait constater, que les nappes les plus étendues avec grands débits et meilleure qualité de l'eau.

- 1/ La nappe de la série de Base de l'Infracambrien -
- 2/ La nappe de Base du Cénocien
- 3/ La nappe du Continental Terminal

gîtent sur le toit discordant inégal d'un socle, dans la plupart des cas, dans les cuvettes ainsi formées, remplies avec les débris des sédiments des séries suivantes :

- 1/ sur le toit du socle Précambrien
- 2/ " " " du Crétacé Supérieur marin
- 3/ " " " Infracambrien ou Continental Intercalaire

Au Mali ce type de roche est assez rarement trouvé. Aux environs de Kayes, Bafoulabé et du Lac Faguibine se trouvent des affluements moins étendus, dans le Gourma dans les synclinaux du socle Précambrien, au fond du Plateau du Gondo elle est assez étendue, et enfin en bordure d'Adrar des Iforas nous trouvons les calcaires crétaoés tertiaires parfois affleurant, mais en général recouverts par des débris plus récents.

Les roches calcaires dans la vallée du Fleuve Sénégal ne sont étudiées seulement qu'au point de vue de recherches minières (matière primaire du ciment) mais comme programme important, il faut d'abord examiner la question ainsi que pour l'hydraulique souterraine. D'après la situation géologique en général dans la partie occidentale du pays l'écorce terrestre est moins accidentée que celle de l'Orient, les formations sont subhorizontales non plissées, mais très souvent feuilletées.

Pendant les périodes plus pluviales s'est créée une possibilité de naissance de cavernes qui en pu servir à un des meilleurs endroits pour l'accumulation des eaux souterraines. L'existence réelle concernant la présence de ces cavernes ou fissurations considérées ne sont encore vérifiées, que par un aperçu seulement géologique restant dans l'état de supposition.

Les méthodes microsismiques et les forages de reconnaissance ne peuvent être que les seules preuves pour répondre à cette question.

Dans le Gourma les formations sont plus plissées et Mr Reichelt qui connaît mieux cette région, implante les puits dans les roches assez karstiques qui se trouvent dans les synclinaux.

Les implantations de Mr Reichelt, basées sur une étude hydrogéologique pure, donnent un résultat assez modeste, il faut donc compléter ces investigations fondamentales avec la prospection géophysique et forages d'essais. Les forages sont en cours de préparation, pour l'avenir restent les études géophysiques.

Pour les calcaires dolomitiques stromatholitiques au-dessous du Plateau du Gondo, qui sont doute caverneux, il ne reste que la vérification des grandes failles qui peuvent servir, et donner lieu à une meilleure accumulation des eaux.

Avec les méthodes microsismiques on peut réaliser cette tâche également.

Les méthodes microsismiques.

Les méthodes microsismiques permettent de détecter la profondeur sous le terrain, de discontinuité marquées de la nature lithologique des roches. Ces méthodes sont intéressantes dans les cas où une telle discontinuité correspond à la base d'une nappe. Pour les recherches jusqu'à 100 m. de profondeur les ondes sismiques sont créées en frappant la roche avec un bloc de 10 kg environ, Par un système électrique perfectionné on mesure avec grande précision le temps de propagation de l'onde depuis le point d'origine jusqu'à la discontinuité, et de retour par réflexion. Pour de plus grandes profondeurs jusqu'à 300 - 400 m. le même appareil peut-être employé, en remplaçant le bloc de 10 kg par un poids d'une centaine de kg, qu'on laisse tomber d'une grue:

Les ondes réfléchissent non seulement sur les plans de discontinuité des roches, mais aussi sur le plan d'eau si celui-ci se trouve dans les alluvions. Plus le nombre de discontinuité est grand, plus l'interprétation des résultats de mesure est difficile. La méthode se limite donc à la détection des discontinuités marquées et peu nombreuses. De toute manière la méthode n'a de valeur que comme méthode d'interpolation entre forages.

En comparaison avec les méthodes électriques celles de la microsismique paraissent avantageuses, puisqu'elles sont plus sélectives pour les grandes discontinuités, étant moins influencées par des effets secondaires. C'est ainsi qu'elles permettent l'interpolation entre des forages plus espacés. Dans certains cas pourtant, il est recommandé de doubler les mesures microsismiques par des mesures électriques.

Tableau n°9

INVENTAIRE DES PRINCIPALES NAPPES AQUIFERES DU MALI

1	2	3	4	5	6	7	8	9
N° sur la carte hydrogéologique	Dénomination de la nappe	Région géographique	Nature de la roche	Nombre de puits	Profondeur des puits	Débits moyens actuels	Qualité de l'eau	Méthode de prospection proposée pour la continuation des études
5	Alluvions récentes	Delta actif du Niger	Sables	900	5-10	3-4 l/se	douce	géologique
5	Remplissage des vallées fluviales pléistocènes	Régions Saharienne et Sahélienne	Gravier grossier	100	5-10	0,5 l/se	douce ou saumâtre	géologique
4	Continental Terminal	Plaine du Séno, Azaouad Sud et Nord	Dépôts argilo-sabloneux	500	20-70	1 l/se	douce ou saumâtre	géologique et microsismique
4'	Nappe inférieure du Continental Terminal	Azaouad Sud	Sables et conglomérats	6	100-150	2-3 l/se	douce	géologique et microsismique
3	Nappe de l'Eocène Supérieur	Fosse de Gao	Sables grossiers	50	50-100	1-3 l/se	douce	microsismique
2	Sénonien Continental (Continental Intercalaire)	Bordure de l'Adrat des Iforas	Sables grossiers	100	50-100	3 l/se	douce	microsismique et géoélectrique

des puits ne sont creusés que quelques mètres dans l'eau, la profondeur du niveau statique en dessous du terrain est en général peu différent de la profondeur du puits.

La colonne 7 donne les débits obtenus durant l'essai de pompage à la fin des travaux. Les chiffres correspondent aux puits et forages dernièrement achevés, et énumérés dans le "Bilan d'activité du Service de l'Hydraulique Rurale", couvrant la période du 1er Août 1963 au 31 Juillet 1964. Tous les débits sont faibles, les quantités d'eau relativement les plus importantes sont tirées des nappes alluvionnaires récentes, de la nappe inférieure du Continental Terminal, et de celle du Sénonien Continental (Continental Intercalaire).

La colonne 8 donne la qualité de l'eau, qui est en général bonne, et même caractérisée par une dureté peu élevée. Comme exception il faut mentionner les puits de la région désertique et de celle de l'Azacuaud sud, qui sont souvent saumâtre. De plus, l'eau captée dans les latérites contient en général des ions de fer.

La colonne 9 indique les méthodes proposées pour la continuation des études. Par "méthodes géologiques" sont indiquées les prospections géologiques de surface. Par "méthodes microsismiques" sont désignées des méthodes développées récemment qui permettent de détecter la profondeur sous le terrain de discontinuités marquées de la nature lithologique des roches. Elles sont décrites dans un paragraphe spécial. Dans la colonne 9 ne sont pas mentionnés explicitement les sondages de reconnaissance, qui dans la plupart des cas seront indispensables.

Explication du Tableau n°3 - Estimation approximative des  
ressources statiques en eaux souterraines du Mali.

Le tableau permet de comparer le volume d'eau présent dans les différentes nappes, avec le volume extrait annuellement dans ces mêmes nappes par les points d'eau existants. L'estimation des volumes d'eau contenus par les nappes est imparfaite. Elle repose sur :

-- L'étendue supposée des nappes, selon les contours, tels qu'ils figurent sur la carte hydrogéologique.

-- L'épaisseur des nappes, estimée selon les coupes de sondages et de puits disponibles.

-- La porosité efficace, estimée selon quelques carottes prises dans les couches en question lors de l'exécution des forages.

Les considérations sur les débits extraits, par rapport aux volumes d'eau contenus dans la nappe n'ont qu'une valeur relative. Elles n'ont une signification réelle que dans le cas des nappes phréatiques dans lesquelles le niveau d'eau est abaissé par pompage. Dans ce cas une partie du volume d'eau de la nappe est consommée, lequel s'ajoute aux ressources dynamiques. Par contre, dans le cas des nappes sous pression profondes la couche aquifère reste toujours pleine d'eau, et les ressources se limitent aux ressources dynamiques.

Quant à celles-ci, leur évaluation pose des problèmes spéciaux dans les régions arides, loin des cours d'eau permanents. Les données maintenant disponibles ne permettent pas encore de procéder à une telle évaluation.

La colonne 1 donne les formations aquifères dans lesquelles se trouvent les principales nappes. Elles correspondent à celles du Tableau 1.

La colonne 2 donne l'étendue des nappes selon les contours de la carte hydrogéologique jointe à ce rapport.

A l'état actuel de nos connaissances ces contours ne sont connus qu'estimativement.

La colonne 3 donne l'épaisseur des nappes, estimée selon les coupes géologiques des forages déjà exécutés.

La colonne 4 donne la porosité des formations, estimée d'après quelques rares carottes, extraites des forages.

La colonne 5 donne le volume d'eau statique de chaque nappe, calculé comme le produit de la surface, de l'épaisseur et de la porosité de la formation aquifère.

La colonne 6 donne le nombre de puits en exploitation dans chaque nappe.

La colonne 7 donne l'ordre des débits instantanés des puits. Ce chiffre ne représente qu'une estimation. A sa base se trouvent les rares résultats des essais de pompage effectués dans les forages. Il est sous entendu que le débit d'un puits est grosso modo égal à celui d'un forage, si ce dernier travaille sous un abaissement de quelques mètres seulement.

La colonne 8 donne le niveau statique de la nappe par rapport au terrain. Les données sont assez nombreuses dans ce secteur. Les nappes sont tantôt phréatiques, tantôt sous pression.

La colonne 9 donne l'abaissement lors de l'essai de pompage dans les forages qui ont servi pour estimer les débits des puits.

La colonne 10 donne la production annuelle totale des puits de chaque nappe. Ces chiffres ont été calculés comme le produit du nombre des puits, du débit instantané, et du nombre de secondes de l'année, en ajoutant un facteur 0,5 pour exprimer que les puits sont en exploitation les deux tiers du nombre d'heures de la journée, et les trois quarts du nombre de mois de l'année.

La colonne 11 finalement, donne la production annuelle de chaque nappe en pourcentage du volume d'eau contenu par la nappe en question. Pour le total la production totale de tous les puits a été exprimée en pourcentage du volume d'eau total de toutes les nappes.

Approvisionnement Urbain en eau et assainissement au Mali -

Au point de vue alimentation humaine en approvisionnement en eau, le Mali actuellement se trouve dans un état assez précaire.

Dans les grandes agglomérations seulement ne se trouvent des Services d'eau, et parmi ceux-ci, seul Bamako ne fournit que de l'eau suffisamment traitée (voir tableau n°4)

Les autres agglomérations sont approvisionnées par des puits creusés à l'intérieur des villes et villages.

Actuellement en cours de construction, il y a : 1/ Nara - 2/ Sikasso (en terminaison) - 3/ Kita - 4/ Ménaka - 5/ Bandiagara - 6/ Ségou - 7/ Mopti - 8/ Nioro - 9/ San - 10/ Koutiala -

Notre mission a fait des études pour le captage d'eau à Nara, Ménaka, Bandiagara et Nioro où la question d'alimentation en eau était la plus délicate.

Quelques villes et villages utilisent les forages, mais 45 seulement sont mis en exploitation, mais 1500 villages du Mali n'ont recours qu'à des puits.

La population totale du pays est environ 4.000.000 d'habitants, et parmi ceux-ci seulement 100.000 sont approvisionnés par l'eau distribuée par les Services des Eaux (2,5%) Le pourcentage des habitants qui vivent dans ce territoire installé avec assainissement est moins de 1% de la population totale du pays.

Tableau n°4

Service des Eaux au Mali						
Situation	Capacité : m3/jour	Captage :	Traitement :	Population : approvisionnée	Bornes : Fontaines :	
: Bamako :	10.000	: Superficielle : du Niger	: Cui	: 65.000	: 50	:
: Bougount	200	: Baoulé	: Néant	: 5.000	: 10	:
: Gao	1.000	: Infiltration : du Niger	: Néant	: 10.000	: 15	:
: Kayes	2.000	: Fleuve Sénégal	: Néant	: 20.000	: 20	:
:						
: TOTAL :	13.200			: 100.000		:

Note explicative du Tableau n°4

Le but de ce tableau est destiné à démontrer la situation insuffisante des Services des Eaux, déjà existants au Mali.

Dans le pays il existe 19 chefs-lieux de Cercle et 4 seulement sont installés avec un service de distribution. Seule la capitale distribue de l'eau traitée.

Les installations avec robinetteries sont très rares. Approximativement 40.000 personnes demeurent dans des logements avec installation sanitaires soit environ 1% de la population du pays.

Une autre partie est alimentée par bornes fontaines (60.000 personnes)

La capacité totale de 4 Services d'Eau est de 13,200 m<sup>3</sup>/jour. Uniquement à Bamako se trouve un réseau d'assainissement de 5 km seulement pour eau usée.

Dans la colonne n°1 sont énumérées les villes avec Service d'Eau. La colonne n°2 montre la capacité maximale du réseau de distribution en m<sup>3</sup>/jour. La colonne n°3, l'origine de l'eau. On peut constater que sauf la capitale où il existe une prise d'eau superficielle du Niger, les autres villes ont des puits qui sont creusés dans les alluvions des fleuves. La colonne n°4 montre la qualité de l'eau distribuée, sauf la capitale, tous les autres services manquent de station de traitement. La colonne n°5 montre que seulement dans la capitale se trouve 5 km de réseau d'assainissement. La colonne n°6 montre le nombre de population approvisionnée par réseau d'eau, qui ne dépasse pas au total 100.000 habitants; et enfin, la colonne n°7 montre le nombre de bornes fontaines déjà existantes dans chaque ville intéressée.

Comme conclusion, nous pouvons tirer que pour les installations déjà existantes, il faut augmenter la capacité et le nombre de bornes fontaines, et compléter les services avec des stations de traitement.

Pour les autres villes importantes au Mali, Bandiagara, Nioro, Kita, Sikasso, Ménaka, San, Koutiala etc... il faut continuer la recherche et l'exploitation des eaux souterraines pour assurer l'eau potable aux services prévus.

TRAVAUX HYDRAULIQUES SPECIAUX

METHODES DIVERSES D'EXECUTION

### Les galeries -

Les galeries peuvent être placées d'après leur emplacement dans le gîte. Elles portent en général le nom de galerie de direction, galerie d'allongement ou galerie chassante suivant les fonctions auxquelles elles sont destinées dans les travaux de grande importance, elles peuvent prendre un nom différent suivant les fonctions qu'elles sont appelées à remplir pour l'aménagement général. Ceci n'est plus du ressort de l'hydraulique souterraine et concerne les recherches métallifères souterraines, dans ce cas le travail est excessivement important, et déborde du sujet qui lui est imparti.

Dans la section transversale d'une galerie on distingue d'abord la sole, puis les piedroits ou parois latérales et suivant, le plafond, ciel ou fait que l'on appelle souvent le toit, bien qu'il soit préférable de réserver exclusivement cette expression pour désigner la roche superposée au sommet de la nappe aquifère, laquelle ne forme pas nécessairement le ciel de l'ouvrage.

Les méthodes de construction provisoire peuvent être décrites ainsi que suit :

Cadre complet - Le cadre complet se compose d'un espace équilatéral constitué par les chapeaux, les montants, la semelle. Cadre simplifié à partir du cadre complet et simplification successive quand les conditions de soutènement le permettent, même construction sauf la semelle qui est dans ce cas supprimée.

Dans les terrains compacts les garnitures ne sont plus nécessaires, et on se contente du cadre ordinaire avec soutènement par planches étayant de place en place la voûte et les parois.

Suivant la nature du terrain, et sa consistance il suffit parfois d'un étayage au sommet dit "en chapeau unique" ou si une paroi est plus sensible, un cadre à un seul montant.

L'espacement des cadres varie avec la solidité du toit. En général, dans un terrain de solidité moyenne, 3 cadres pour 2 m. de

galerie.

Percement et boisage des galeries en terrain ébouloux, on peut dans ce cas procéder par méthode du poussage ou de l'emploi du bouclier, mais ceci étant une spécialité nécessitant de nombreuses années d'expérience, il ne nous paraît pas utile de la préconiser mais plutôt pour des travaux bien déterminés de les confier à une Société ayant les moyens pratiques de les effectuer.

Le revêtement des galeries dit "en pierre sèche" est de moins en moins utilisé, il est probable qu'il sera supprimé dans quelques temps, pour le scutènement en béton.

Toutefois nous pouvons signaler que dans la majorité des cas les piedroits sont formés de parpaings séparés par des colonnes monolithiques soutenant les clés de voûte. Leur construction est progressive, il faut en général dans un terrain semi consistant construire par fraction de 50 cm de longueur alternant avec 50 cm de terrain à creuser. Lorsque la construction est sèche les parties intermédiaires sont abattues, et la construction se poursuit. Il y a lieu d'installer au fur et à mesure la voûte composée d'éléments préfabriqués en béton armé en forme semi élliptique au dosage fort placés sur le muraillement, et la partie intermédiaire entre ces éléments et la voûte proprement dite devra être bourrée suivant l'avancement.

Méthode de fonçage sous l'eau -

Ces méthodes ne sont pas appliquées actuellement au Mali, et font l'objet d'un entraînement nécessitant de nombreuses années d'expérience. Elles ne peuvent être en aucun cas appliquées sans l'aide d'un technicien l'ayant effectué lui-même parfois dans des circonstances difficiles, et ne peuvent être professées par théorie.

A titre indicatif, elles sont de 2 sortes, fonçage par scaphandre, avantage : évitement du pompage. Pression des forces aquifères naturelles sur les parois de l'ouvrage, pas ou peu de dégradation en cours de fonçage. Inconvénient : 2 combinaisons scaphandre sont utilisées alternativement, chaque ouvrier ne peut travailler que 45 minutes, remonter. Il y a une période d'accoutumance qui peut durer de 10 à 15 minutes. La pression d'air des compresseurs doit être surveillée continuellement, de là dépend la vie de l'ouvrier travaillant dans le fond. Une très grande expérience est nécessaire même avec les moyens les plus modernes les matières en suspensions troublent l'eau, et en général, celui-ci travail en aveugle.

2ème méthode - Fonçage sous cloche -

Quoique ceci n'est plus du ressort de l'hydraulique souterraine, il est pourtant intéressant de présenter cette méthode qui, utilisée en hydraulique de surface, surtout dans la construction des piliers des ponts se modernise chaque jour, et permet à un ou plusieurs ouvriers de travailler simultanément dans le fond d'une nappe aquifère émergente sans recours à la combinaison du scaphandrier, d'où, liberté de mouvement, précision dans le travail, et sécurité pratiquement absolue. Une cloche métallique est descendue à l'endroit de l'ouvrage convenablement lestée pour empêcher toute dérivation. De l'air sous pression y est introduit, et par un sas l'ouvrier s'introduit dans la cloche qui est remplie par l'air extérieur. Une grande habitude est pourtant nécessaire, car de 2 à 3 minutes sont indispensables avant que ne puisse fonctionner le dispositif. L'extraction des déblais demande en général la remontée de la cloche.

Pour terminer cet exposé, il faut signaler qu'une margelle est toujours considérée comme indispensable dans le cas où un ouvrage, puits ou forage est aménagé par pompe ou éolienne, il y a lieu de recouvrir celui-ci par une dalle. Dans le cas de puits muni de trou d'homme, la dalle formant cet orifice devra être scollée par un ciment maigre pouvant permettre son démontage rapide, sans détérioration de la couverture ce qui est nécessaire pour effectuer les travaux d'entretien.

Types de pompes employées dans la construction des puits -

1/ La plus employée est la pompe à piston désignée aussi sous le nom de pompe à fourreau. Le principe est un mouvement alternatif de bas en haut, et vice versa, d'un piston garni de cuirs emboutis coulissant dans un cylindre en général de cuivre ou de bronze. Le débit varie suivant le diamètre du cylindre, la longueur de la course de celui-ci, et la vitesse du mouvement. (volumétrique)

Ces pompes sont en général munies d'un clapet de fermeture au bas du cylindre, d'un autre sur le piston lui-même, et enfin d'un 3ème en bas du tuyau d'aspiration à l'intérieur de la crépine.

2/ Pompe à axe vertical - Avantage : moteur en tête.

3/ Pompe centrifuge horizontale, en général rarement verticale. Faible profondeur, le moteur peut-être thermique. Grande profondeur obligatoirement moteur électrique.

4/ Pompe immergée sous cloche ou manchette (à développer)

Pompe d'installation -

Tous les types ci-dessus mais en plus pompes pour faible profondeur, pompes hydro-éjecteur, l'installation et la description des divers groupes d'utilisation seront décrits dans un chapitre spécial.

Essais de débit -

L'essai de débit d'un ouvrage s'exécute de la façon suivante :

1/ Installation de la pompe -

2/ Débit de celle-ci, mesuré au moyen d'un fût strictement jaugé ou d'un réservoir portatif.

3/ Mesurer le niveau statique avant de procéder aux essais par rapport au sol.

S'assurer des possibilités du débit du puits.

Détermination des débits -

Récapituler sur une liste les points d'eau à alimenter.

Estimer pour chacun d'eux la consommation journalière en litres d'après le tableau suivant :

Par personne	70 à 100 l.
Par bain	100 à 150 l.
Par chasse d'eau de W.C. et par personne	30 l.
Lavage d'une voiture automobile	100 l.
Par tête de gros bétail (cheval ou bêtes à cornes)	50 à 100 l.
Par tête de petit bétail (porc, veau, mouton)	8 à 25 l.
Par m <sup>2</sup> de jardin à arroser (suivant région, nature du sol, etc..)	3 à 8 l.

Additionner pour obtenir la consommation totale journalière qu'on ramène en mètre cubes d'eau (m<sup>3</sup>) en divisant par 1000.

Le débit de la pompe s'obtient généralement en étalant sur trois heures de pompage, la consommation journalière :

$$\frac{\text{consommation journalière en m}^3}{3} = \text{débit de la pompe en m}^3 \text{ par heure, (m}^3/\text{h)}$$

Pour les petites installations domestiques, prévoir une pompe d'un débit égal au débit de pointe envisagée.

Détermination des tuyauteries -

Pertes de charge

Ce sont les pertes de pression (ou de hauteur exprimée en mètres d'eau) dues au frottement du liquide dans les conduites.

A un débit déterminé, elles augmentent :

- pour des tuyauteries longues
- pour des diamètres réduits,

On peut se baser sur le tableau suivant :

1/2 pouce (ou 15 mm) dit 15/21	0,35
3/4 pouce (ou 21 mm) dit 20/27	0,8
1 pouce (ou 27 mm) dit 26/34	1,4
1 1/4 pouce (ou 35 mm) dit 33/42	3
1 1/2 pouce (ou 41 mm) dit 40/49	4,5
2 pouces (ou 52 mm) dit 50/60	8
60 mm	12
70 mm	18

(débit maximum admissible en m<sup>3</sup> par heure)

Tracé - pente en principe continuellement montante à partir de la pompe. En cas d'impossibilité prévoir les purges d'air aux points hauts.

Arrivée - toujours par le bas du réservoir.

Placer une vanne à passage direct au refoulement de la pompe afin de pouvoir régler le débit, ou visiter la pompe sans vider toute l'installation. Pour les pompes volumétriques (pistons, etc..) remplacer la vanne par un clapet de retenue.

Prévoir la vidange complète de la tuyauterie de refoulement.

#### Détermination de la hauteur

##### Hauteur manométrique d'aspiration

C'est en mètres d'eau, la lecture d'un indicateur de vide placé à l'aspiration de la pompe.

Elle s'évalue pratiquement en totalisant la hauteur géométrique d'aspiration et les pertes de charge de la conduite d'aspiration.

Elle doit être inférieure aux possibilités de la pompe (6 à 8 mètres environ)

### Réservoir sous pression

#### Fonctionnement -

Au départ de la pompe, il contient encore une certaine quantité d'eau et la pression est minimum; c'est la pression d'enclenchement.

La pompe démarre et la pression monte jusqu'à une valeur maximum qu'on appelle pression de déclenchement pour laquelle la pompe s'arrête.

On appelle fourchette la différence entre les pression de déclenchement et d'enclenchement.

Remarque que la capacité utile entre le déclenchement et l'enclenchement n'est qu'une faible partie de la capacité totale du réservoir ( $1/3$  à  $1/6$  environ).

Exemple : pour une consommation journalière de 1000 litres, c'est-à-dire une capacité utile de 50 litres, il faudra prévoir un réservoir de 150 à 300 litres, suivant les conditions ci-après.

La capacité utile augmente :

- si l'on choisit un réservoir plus grand,
- si l'on augmente la fourchette (ce qui exige une pression de déclenchement plus élevée, donc une pompe plus puissante et plus chère à l'achat et à l'exploitation.
- si le niveau à l'enclenchement est plus bas dans le réservoir (on y parvient en comprimant l'air dans le réservoir avant la mise en service).

Le renouvellement de l'air, entraîné petit à petit par l'eau, peut-être fait :

- par vidange périodique complète du réservoir,
- par la pompe elle-même (pompes volumétriques, pompes à anneau d'eau),
- par un appareil auxiliaire automatique (giclair, injectair, etc..),
- par une pompe à air ou un compresseur.

Genre de pompe à choisir

Il existe un nombre très élevé de types de pompes qu'on peut classer en deux catégories :

-- les pompes volumétriques qui aspirent et refoulent le liquide dans des espaces clos de volume variable (pompes à pistons, pompes rotatives diverses),

-- les pompes centrifuges qui utilisent des variations de vitesse pour obtenir des variations de pression.

Si la hauteur manométrique d'aspiration est inférieure à 6 mètres (éventuellement 7,50 m), on peut généralement utiliser n'importe quel type de pompe dans les limites précisées par le Constructeur.

Jusqu'à 8 mètres et même 8,50 m on peut encore employer certaines pompes volumétriques à piston ou auto-amorçantes.

Au delà de ces valeurs on a affaire à un "puits profond". On peut alors employer des solutions spéciales dont un certain nombre comportent une solution particulière que nous ne pouvons développer dans ce résumé.

-- Toujours signaler les moteurs en avant-puits ou suspendus pour que le constructeur puisse prévoir un matériel adapté.

Installation

Salle de pompage

Niveau assez bas pour bonnes conditions d'aspiration, mais tenir compte des risques d'inondation.

Emplacement choisi pour concilier - économie (bâtiments existants, lignes électriques, canalisations) - et possibilités d'aspiration (conduite d'aspiration raccourcie pour puits profonds).

Eviter humidité, poussières, vapeurs acides ou inflammables, ou les signaler au constructeur qui prévoit un matériel adapté.

Sol cimenté ou carrelé, une pente (1 cm par m) ou un petit

caniveau maintiennent la salle propre et sèche.

un massif de béton, horizontal et saillant de 5 à 10 cm, muni de trous au droit des boulons de scellement entouré d'une gouttière reliée à l'éégout, est nécessaire pour les gros groupes.

#### Scellement des groupes

##### 1° Groupes monoblocs

(verticaux ou horizontaux)

Montage rigide -

-- Sceller les boulons d'amarrage, en regard des trous du socle.

-- Poser le groupe sur le massif bien nettoyé,

-- Caler de part et d'autres des boulons pour mettre le groupe bien de niveau,

-- Serrer modérément.

Montage sur amortisseur. Evite de propager les bruits et vibrations.

##### 2° Groupes horizontaux

accouplés sur socle commun

Pour retrouver au scellement l'alignement parfait pompe-moteur (réalisé sur cales par le Constructeur), il est nécessaire d'observer la méthode suivante :

Déballer le groupe avec soin près du massif, laver le massif.

Caler le groupe en place après avoir suspendu par leurs écrous, les boulons de scellement.

#### Montage des tuyauteries

1° Précaution spéciales à la tuyauterie d'aspiration

Clapet de pied - vérifier qu'il ne fuit pas en le remplissant d'eau. Un joint cuir peut s'assouplir à l'huile de pied de boeuf

(le suif le collerait, l'huile minérale le détériorerait).

-- Jamais d'huile sur les joints caoutchouc.

-- Un joint métal sur métal qui fuit se rode à la potée. Laver les pièces après rodage.

Descente de puits - Doit pouvoir se démonter aisément, la soutenir.

Pente montante d'au moins 2 cm par mètre.

S'il est absolument impossible d'éviter une contrepente (qu'on devra réduire au strict minimum), prévoir une pompe à amorçage automatique.

Vérifier très soigneusement l'étanchéité de la conduite d'aspiration. Ne pas recouvrir une conduite en tranchée sans être sûr (par épreuve à l'eau et fonctionnement correct du groupe) qu'elle est parfaitement étanche.

Prévoir un robinet de purge au plus bas point risquant la gelée.

### 2° Précautions spéciales à la tuyauterie de refoulement -

Le clapet éventuel sera monté entre pompe et vanne pour être visitable, sans vider colonne et réservoir. Prendre garde à son sens de montage. Le vérifier avant pose. Certains clapets ne fonctionnent qu'en position verticale.

Des purges (robinets ou bouchons) sont à prévoir aux points hauts.

Des visanges sont à prévoir aux points bas.

Vérifier l'étanchéité par épreuve à l'eau, ou par mise en route, avant de recouvrir les tranchées ou fosses.

### 3° Raccordement à la pompe -

Ajuster les extrémités exactement aux tubulures de la pompe, pour que les tuyauteries n'exercent aucun effort sur le groupe.

Soutenir au besoin les tuyauteries au voisinage de la pompe.

Prévoir pour les pompes à orifices filetés, un manchon union de chaque côté, permettant d'enlever la pompe sans démonter de longues sections de conduite.

Découper les joints en biseau pour les pompes à brides, l'étanchéité sera meilleure pour un serrage moindre.

S'assurer que les plans des brides des tuyauteries sont parfaitement dressés. Des gorges circulaires sont parfois utilisés pour faciliter la tenue du joint.

Nota : l'emploi des tuyauteries plastiques, à faibles pertes de charge, se généralise de plus en plus. Suivre les indications des Fabricants.

#### Amorçage

##### 1° Pompes centrifuges

Remplir la pompe et la tuyauterie d'aspiration par le robinet entonnoir ou la conduite de refoulement.

Purger tous les points hauts jusqu'à ce que tous les purgeurs donnent de l'eau régulièrement, ou qu'il ne se produise plus de bulles dans l'entonnoir.

Tourner en même temps la pompe à la main, dans le sens normal, afin d'évacuer l'air emprisonné dans les cavités des aubages.

Fermer, ensuite, tous les purgeurs, le robinet d'amorçage, la vanne de réglage.

##### 2° Pompes volumétriques et à amorçage automatique

Vérifier que la ou les vannes sont ouvertes, si elles existent.

Remplir la pompe du liquide à pomper. Dans le cas de grandes longueurs de tuyauteries d'aspiration, il peut être avantageux de procéder également au remplissage de celles-ci.

travail peut être basé actuellement jusqu'à (30 m. de profondeur à 20.000 Frs le mètre) ce qui en égard des travaux actuels réalisés représente une différence très sensible.

Modernisme doit être envisagé, mais il y a parfois à prendre en considération prioritaire le rendement optimum des ouvrages pour le même prix, creuser, construire davantage.

Exécution - Après la construction d'un massif d'ancrage de la colonne dépassant environ 60 cm de pourtour du puits et d'une épaisseur de 30 cm où seront fixés les premiers fers à béton, on creuse d'un mètre environ sans boisage, les parois sont enduites d'un mélange de ciment au dosage assez fort, assez liquide et jusqu'à concurrence de 2 cm environ. On pose ensuite un treillis de gros fil de fer, les uns verticaux suivant les génératrices, les autres horizontaux selon des cercles parallèles, suivant le procédé que nous indiquerons ci-dessous. On cimente la paroi de nouveau sur une épaisseur nouvelle de 2 cm afin de recouvrir toute la ferraille, puis pour terminer, un nouvel enduit y est adjoint afin d'obtenir un lissage complet et la propreté du travail, puis on creuse à nouveau d'un mètre pour construire un autre anneau en ciment raccordé avec la partie inférieure dont on a laissé libre une dizaine de cms les bouts inférieurs des fers verticaux.

Par mètre courant nous pouvons considérer qu'il est nécessaire d'utiliser 10 kg de fil de fer, 200 kg de ciment et le sable que l'on a trouvé généralement à proximité. En coupe verticale lorsqu'un anneau est achevé et "pris" on creuse une nouvelle section d'environ 1 mètre (dans les terrains ébouleux il ne faudrait peut-être descendre que par fraction de 0 m 50 seulement) on raccorde aux bouts libres des fers de la partie supérieure les fers verticaux de l'anneau inférieure puis on pose les cercles parallèles intérieurs les points de croisement sont reliés avec du petit fil de fer recuit de 1 ou 2 mm de diamètre.

Les fers n'ont pas besoin d'être dressés ni disposés exactement suivant des verticales ou des horizontales, ils peuvent être légèrement tordus ou cintrés, on se contente de les placer à peu près les

uns verticaux, les autres horizontaux. Les fers verticaux d'un nouvel anneau à construire doivent au besoin se terminer par un crochet, on effectue avec une pince plate les ligatures reliant les fers verticaux puis on place les fers horizontaux il est bon de recourber l'extrémité de ces fers afin de les ancrer dans la maçonnerie de ciment (l'action des forces extérieures sur la paroi du puits a toujours tendance à diminuer le rayon des cercles). Les bouts des fers sont seulement superposés et au besoin la jointure peut embrasser 2 fers verticaux voisins. Il convient que toutes les jonctions ne soient pas disposées suivant la même verticale. Pour obtenir un ouvrage très solide en employant des ouvriers ordinaires il convient de ne laisser entre les fers qu'un espace de 15 cm de côté, les fers horizontaux étant "des pièces de résistance" doivent avoir un diamètre de 8 mm tandis que les fers horizontaux jouent un rôle de "tiges de répartition" peuvent n'avoir que 6 mm.

Comme on le voit le travail de terrassement dans le continental terminal ainsi que dans les alluvions quaternaires et la mise en place de la carcasse ne présentent aucune difficulté majeure.

Le mortier de ciment préparé à l'orifice du puits sera descendu au moyen de "délous" par petites quantités une dizaine de litres environ, il est conseillé d'employer les quantités suivantes : un volume de ciment, un volume de sable fin dûment choisi ne contenant pas de terre argileuse, 2 volumes de gravillon de latérite très bien nettoyé.

Le mortier est jeté à la truelle, puis fortement serré contre la paroi et contre la carcasse en fer, à ce moment il y a lieu d'enfoncer au croisement des fers "épingles" c'est-à-dire des morceaux de fer à béton de 20 cm recourbés en forme de U très serrés et plantés dans la paroi du puits ils seront destinés à maintenir les fers pendant toute la prise du béton.

Il suffit que la couche d'enduit ait entre 6 à 8 cm d'épaisseur moyenne, mais l'ouvrier doit avoir soin qu'il y ait au moins 1 cm de mortier d'une part entre les fers verticaux et la paroi en terre et d'autre part entre les fers et l'intérieur du puits.

Dans le cas de présence d'eau insuffisante pour l'alimentation du puits on peut employer des ciments à prise rapide souvent désigné sous le nom impropre du ciment Romain (car les Romains ne le connaissaient pas), ils sont actuellement nommés "ciment fondu", leur usage demande une certaine adresse de la part des puisatiers alors que le ciment employé habituellement est de norme 250/315. Le ciment dit laitier est quoiquo d'une solidité beaucoup plus grande, et d'un emploi plus délicat, et sa prise est trop longue. Le ciment Portland artificiel 250/315 prend en 24 H., et désigné comme sec à partir de 21 jours, le ciment fondu pour le même usage est sec en 1 H. considéré comme définitif à partir de 24 H., son prix est prohibitif, et son emploi nécessite des ouvriers hautement qualifiés.

Pendant la construction on pourra placer de distance en distance suivant une verticale des crampons ou des pattes reliées avec l'armature en fer, ces crampons étant destinés à soutenir plus-tard une échelle de descente.

Liste du matériel destiné au fonçage et construction de puits  
pour les Chefs de Secteur.

1/ Matériel de fonçage et d'extraction -

- 2 treuils moteurs avec flèche mobile, force de levage directe  
250 kg, mouflée 500 kg. Moteur = 4 HP, de préférence Gas-oil.
- 100 m. câble anti-giratoire 8 m/m. -
- 2 mouffles d'une force 1 tonne -
- 4 crochets d'amarrage de sécurité 1 tonne -
- 4 seaux benne, basculants de 30 litres de capacité -
- 8 seaux caoutchouc de 12 litres -
- 8 pelles de 29 cm avec manches -
- 8 pioches doubles avec manches -
- 4 fils à plomb complet -
- 2 niveaux "Incabloc" à bulle d'air -
- 2 groupes compresseurs d'air avec réservoir d'air 50 l. 2 bouches  
moteur 20 HP Diesel, si possible montés sur bâti, roues pneuma-  
tiques avec crochet de remorquage, 6 kgs de pression.
- 4 pistolets de 30 kg pour fonçage en terrain dur -
- 12 pointerolles pointues,
- 6 pointerolles bèches de 12 cm de largeur,
- 6 pointerolles bèches de 18 cm de largeur -
- 4 longueurs de 25 m. de tuyau caoutchouc, renforcés toile pour  
compresseur avec embouts de raccordement.
- 4 pistolets perforateurs pour charges explosives, de 15 kg, avec  
6 embouts fleurons de 0 m 80, 1 m. et 1 m 20.

Description des pâturages -

A/ Une zone de bons pâturages s'étend tout le long du Niger à partir de la République du Niger jusqu'au Delta. Nous ne disposons pas de données sur la région à l'est de Ménaka. Vers le Nord cette zone s'élargit dans l'Azcuak, et le Tilemsi. Ces deux dernières régions sont reliées entre elles par un passage de bons pâturages passant par l'Airar des Iforas.

Les habitudes pastorales sont différentes de part et d'autre de Gao. A l'est les pasteurs sont semi-sédentaires, à l'ouest nomades.

B/ La valeur des pâturages diminue graduellement vers le nord par le fait que l'herbe et l'eau font défaut en période sèche. Vers le nord les caprins et les ovins prennent le pas sur les vaches. Il y a dans ces régions aussi de l'élevage de chameaux.

Les terres sont différentes de part et d'autre du méridien à zéro degré : à l'est les terres sont appelées salées, à l'ouest ce sont des terres normales.

C/ Sur les terres rocheuses il n'y a que de maigres pâturages, concentrés dans les cuvettes. Il n'y a pratiquement pas d'eau. L'élevage est disséminé, et comprend surtout les chèvres et les ânes.

D/ Un îlot de pâturages relativement bon par rapport aux environs. Dans cette région le Gouverneur voudrait planter des palmeraies à huile. Il existe un élevage sédentaire faible, comprenant des chameaux et des chèvres.

E/ La Gourma est une région de bons pâturages, mais qui manque d'eau. Au sud-est de Gourma-Rharous les terres rive droite du Niger ont une cote inférieure à celle du niveau d'eau dans le fleuve. On pourra étudier la possibilité de les irriguer.

Les besoins en eau -

Les régions dans lesquelles on demande surtout des puits pour le bétail sont les suivantes :

- A l'est de Ménaka. L'eau se trouve ici à une profondeur d'environ 80 m.
- Au sud-est de Ménaka, entre cette ville et Anderamboukano.
- Au sud de Ménaka.
- Dans le triangle formé par Ménaka, Ansongo et Talataye.
- Dans la vallée de l'Azaouak.
- Dans la vallée du Tilemsi.
- Dans la région de Bouren.
- Dans la région au nord de la Boucle du Niger, mais cette région ne passe pas en priorité.
- Dans la bande au nord du 14ème parallèle, comprenant Mangala, Nara, Niéro et Kayes.
- Dans la région au nord de Ségou.
- Dans la région de Sikasso.

De plus, on demande des puits le long de la voie du sel entre Tombouctou et Taoudénit.

Quant aux villes qui demandent de l'eau en priorité on compte : Niéro, Nara, Bandiagara, Kita et Kidal dans l'Adrar. A Sikasso un projet est en exécution.

Une demande a été faite à M. le Directeur de Cabinet du Ministère du Développement, de bien vouloir spécifier les demandes de l'industrie, mais la réponse est en instance.

### Synthèse des Recommandations

Pour donner des propositions bien motivées sous une forme clairement énoncée, les arguments devront être classés en différents groupes dans une façon générale et selon les régions.

#### 1/ Problème à résoudre -

La manière de poursuivre une économie planifiée et développée d'après les ressources hydrauliques souterraines d'un pays exige non seulement l'établissement mais les moyens de développement des inventaires et des cartes qui doivent être donnés progressivement selon les nouvelles données obtenues par les travaux de recherche et exploitation des ressources qui sont les suivantes :

- 1/ Inventaire des points d'eau -
- 2/ Inventaire des nappes souterraines -
- 3/ Inventaire des ressources hydrauliques souterraines -
- 4/ Cartes hydrogéologiques pouvant répondre aux questions ci-dessous -
  - a/ la situation topographique des ressources
  - b/ les ressources en relation avec les profondeurs
  - c/ le rendement optimum des nappes
  - d/ la qualité de l'eau exploitéeavec les courbes d'équivalence à une échelle convenablement choisie.

Notre mission pendant l'année 1964 et au début 1965 par les conditions assez modestes qui lui étaient données n'a pu établir que les contours initiaux des cartes hydrogéologiques ainsi que l'inventaire.

Pour cette raison, dans les descriptions des postes de notre mission étaient bien définis que : pour arriver à une solution convenable il faut compter au minimum 5 à 6 ans de travail continu. Nous pouvons ainsi donner ces propositions :

#### A - Nature des problèmes sur lesquels nous avons été consultés :

Continuer l'entretien et développement des Inventaires des Ressources et la précision des Cartes Hydrogéologiques.

B- Méthodes employées ou suggérées pour résoudre ces problèmes :

- 1/ Conserver les postes de la mission déjà existants au point de vue Conseillers au Service de l'Hydraulique du Mali dans le Programme Régulier de l'Organisation des Nations Unies.
- 2/ S'il y a possibilité, élargir le travail sus-mentionné avec les prospections géophysiques, forages et pompages d'essais.

pour les Inventaires, dans le cadre du Fonds Spécial de l'ONU, pour les Cartes Hydrogéologiques dans le cadre du Fonds Spécial de l'ONU et l'UNESCO.

C/ Recommandations précises sur les mesures que le Gouvernement devrait prendre par la suite et les problèmes qui n'auraient pas été résolus pendant notre séjour dans le pays.

- 1/ Tenir le contact et solliciter l'approbation de requête gouvernementale au Fonds Spécial de l'ONU établie d'après les suggestions de notre mission.
- 2/ Etablir une demande à l'Assistance Technique de l'ONU pour assurer les postes déjà existants au Mali.
- 3/ Pour donner une meilleure contribution à ce sujet, il faudrait organiser un département chargé uniquement de la prospection et mise en exploitation des ressources hydrauliques souterraines du pays conjointement avec le Cadre du Service Hydraulique du Mali et alléger les autres services moins compétents où le problème de l'eau n'existerait toujours que dans un état secondaire, en accord avec les questions minières par ex., pour éviter la dispersion du personnel, du matériel, des véhicules et des crédits consacrés dans ce domaine et pour unifier les forces administratives techniques et financières qui actuellement se trouvent dans un état inconvenable, divisées entre différents Ministères.

- 4/ Continuer et augmenter le niveau de la formation professionnelle du Personnel Homologue Malien, dans le Cadre de l'Hydraulique Souterraine
  - a/ par l'intermédiaire des experts de l'ONU
  - b/ par bourses de l'ONU
- 5/ Assurer les crédits internes pour couvrir les besoins d'une contribution suffisante avec le Fonds Spécial de l'ONU.

11/ Problèmes locaux à résoudre

A côté des situations hydrauliques générales, le Mali a quelques cas locaux et pratiques, à résoudre d'urgence.

Parmi eux, deux sont prioritaires : l'approvisionnement en eau de deux villes - Nara et Bandiagara avec prise d'eau souterraine. Le deuxième est la délimitation des nappes de l'Azouad-Sud et de l'Eocène Supérieur au point de vue d'augmentation des possibilités de pâturage.

Notre mission ayant fait quelques tournées sur place, en étudiant les besoins et les conditions hydrogéologiques, peut donner les suggestions suivantes :

A- Nature des problèmes sur lesquels nous avons été consultés :

Faire des études aussi détaillées que possible, sur lesquelles il serait nécessaire d'implanter de nouveaux points d'eau avec succès, pour alimenter en eau potable les villes

de :

- a/ Nara -
- b/ Bandiagara -
- c/ Kita -
- d/ Niore -

et assurer l'extension de pâturages par l'implantation des points d'eau dans les régions de :

- e/ Azouad Sud
- f/ Gao - Ansongo - Ménaka

aux limites plus au Nord, avec de bonnes graminacées, mais hydrauliquement inconnues pour : g/ la région de Taoudénit pour l'approvi-

sionnement en eau de la piste Tombouctou-Taoudenit et assurer l'eau pour le développement des recherches et exploitations minières.

B/ Méthodes employées ou suggérées pour résoudre ces problèmes

- 1/ Compléter les prospections par l'emploi des méthodes géophysiques surtout dans chaque région, avec microsismologie et aux environs de Nara, géoélectriques également dans le cadre d'une collaboration avec le Fonds Spécial de l'ONU selon les suggestions élaborées avec la participation de notre mission dans la requête gouvernementale à ce sujet.
- 2/ L'exécution de forages et pompages d'essais selon les résultats d'interprétation des méthodes géophysiques dans chaque région indiquée pour délimitation des nappes, essais de débits, et mise en exploitation de nouveaux points d'eau.

C/ Recommandations sur les mesures que le Gouvernement devrait prendre ensuite :

- 1/ Jusqu'au terme du commencement de la collaboration avec le Fonds Spécial de l'ONU, concentrer tous les moyens nationaux de recherches hydrauliques sous la direction d'un seul service compétent sur les problèmes mentionnés au paragraphe A de ce chapitre.
- 2/ Solliciter la participation de l'ONU dans les prospections et dans les mises en exploitation.
- 3/ Augmenter si possible le nombre du personnel qualifié, les crédits et le matériel destiné pour la solution de ces problèmes.

Exposé succinct du programme de recherches hydrogéologiques

(voir la carte hydrogéologique)

- 1/ Coupe géophysique A (Nara-Akor) Déterminer la limite exacte Ouest de la nappe du Continental Terminal pour les besoins d'alimentation en eau de la ville de Nara.
- 2/ Coupe géophysique B, forages de recherches d'eau, à petite profondeur - a - b - c - d - e - f - (entre Tombouctou et Bir Ounan)
  - Recherche de la nappe du Continental Terminal entre Tombouctou et Tin Essihaye -
  - Détermination exacte de l'Azaoûd Nord (Continental Terminal proprement dit) en relation avec la topographie du socle Infra-cambrien et Paléozoïque -
  - Trouver une solution définitive pour l'alimentation en eau de la piste Tombouctou-Taoudénit -
- 3/ Coupe géophysique C et forage de reconnaissance - g - h - à petite profondeur -
  - Recherche de la nappe de base du Continental Terminal dans la partie sud -
- 4/ Coupe géophysique D et forages de reconnaissance n°2 à grande profondeur -
  - Détermination de l'étendue de la nappe du Sénonien Continental en relation avec la topographie du socle Précambrien -
  - Détermination de la limite est de la nappe de base du Continental Terminal -
  - Reconnaissance des nappes du Sénonien Continental et de la base du Continental Terminal -
  - Recherche de la limite nord du fossé de Gao -
- 5/ Forage de reconnaissance profond n°1 (Taoudénit) Recherche d'eau karstique fossile supposée dans les cavernes des calcaires du Viséen à Taoudénit -

6/ Forage de reconnaissance profond n°2 (Bandiagara)

- Recherche de la nappe du Gondo dans les séries calcaire-dolomitiques à Stromatholites d'Idouhan -
- Recherche d'eau de fissuration dans les grès supérieurs -
- Rechercher la meilleure solution pour l'alimentation en eau de Bandiagara -

6/ Forage de reconnaissance profond n°2 (Bandiagara)

- Recherche de la nappe du Gondo dans les séries calcaire-dolomitiques à Stromatholites d'Ydouban -
- Recherche d'eau de fissuration dans les grès supérieurs -
- Rechercher la meilleure solution pour l'alimentation en eau de Bandiagara -

Proposition pour Recherches -

1/ Hydrogéologique -

- a/ continuer les levées géologiques pour développement de la carte hydrogéologique du Mali
- b/ établir la carte de points d'eaux à l'échelle : 1.1.000.000
- c/ cartes des nappes selon leur position tectonique et stratigraphique (carte de projet de prospection).
- d/ carte des nappes selon leur position topographique
- e/ carte des nappes selon leur position relative à la surface
- f/ carte des nappes selon l'épaisseur des couches aquifères
- g/ carte des nappes selon leurs débits exploitables
- h/ carte des nappes selon la qualité de l'eau contenue
- i/ carte de la isoperméabilité et isoporosité des couches aquifères
- j/ carte de réalimentation des systèmes aquifères
- k/ cartes auxiliaires en relation des projets économiques du pays

2/ Géodésie -

Nivellation générale des points d'eaux

3/ Géophysiques -

- a/ prospection de topographie des toits de socles pour déterminer les meilleurs endroits pour l'accumulation de l'eau, par méthodes microsismiques (cartes microsismiques de topographie des toits de socles)
- b/ recherches des zones de fissuration et des grandes failles pour délimitation des nappes, par méthodes géoélectriques et sismiques.

4/ Forages et pompages d'essais -

- a/ pour découvrir les nappes
- b/ leurs débits
- c/ leur qualité
- d/ leur quantité
- e/ leur température
- f/ leurs caractéristiques chimiques
- g/ la direction des réalimentations
- h/ la profondeur du toit des nappes
- i/ les possibilités humaines élevage, industrie
- j/ la pose et la vérification de piezomètres
- k/ connaître la nature et la puissance des couches géologiques

Proposition pour amélioration

- 1/ Reprise et amélioration des aménagements existants -
- 2/ Exécution de petits aménagements hydro-agricoles-
- 3/ Mise en valeur des pâturages du Gourma - Remise en valeur de ceux de Nara - Niéro - Kayes - Gao - Ansongo - Ménaka -
- 4/ Production maraîchère -
- 5/ Intensification des plantations de céréales -
- 6/ Reboisement - Multiplication de certaines essences pour la valeur fourragère ou le bois - protection de la flore - lutte contre les délits forestiers - feux de brousse -
- 7/ Lutte contre la peste bovine -
- 8/ Amélioration du cheptel par sélection des races locales -

Questions particulières -

Intensifier et moderniser les méthodes d'études des cadres Maliens, et des stagiaires.

Tenir un contact plus étroit entre les directions et les chefs de secteurs.

Tenir une classification rigoureuse de l'avancement des travaux.

Prélever et faire analyser les échantillons des terrains.

Questions matérielles -

Alléger le matériel au maximum en réservant toutefois la solidité, choisir de préférence les montages rapides pour les treuils et le transport des compresseurs.

Grouper si possible les ouvrages progressivement dans chaque région.

Etablir un calendrier des travaux afin que les camions ne restent pas inutilisés et le personnel inoccupé.

Proscrire absolument aux habitants non qualifiés de descendre dans les puits ou de réparer des éoliennes pour éviter toutes détériorations, cette tâche devant être obligatoirement réservée aux services compétents.

**C O N C L U S I O N S**  
-----

L'organisation, des recherches et exploitations systématiques des ressources en eau souterraine au Mali pose encore beaucoup de problèmes et exige une réorganisation dans ce service.

Les services intéressés sont assez faiblement crédités malgré l'importance de ce domaine. Il y a un manque assez considérable dans le personnel et experts dûment qualifiés, ainsi que dans le matériel. Pour cette raison le Mali a besoin de différentes aides étrangères.

Par manque d'organisation nationale bien installée, notre mission a dû légèrement changer son programme prescrit dans les descriptions de postes et élargir son activité avec quelques nouveaux éléments.

Les succès particuliers ont été les suivants :

- 1/ Implantation des points d'eau avec succès à :
    - Tominian -
    - Koriga -
    - Nioro (hôpital)
    - en face de Oued el Hadjar -
  - a/ Tominian a donné le maximum de débit qui se trouve au Mali (essai de débit  $14 \text{ m}^3/\text{H}$  -
  - b/ L'hôpital de Nioro a été inutilisable à cause de manque d'eau (2 ans) - Après notre implantation exacte celui-ci a pu commencer à fonctionner.
  - c/ Koriga après 4 échecs d'implantation des services locaux notre point d'eau a donné de l'eau suffisamment.
- 2/ Le long de la piste chamelière entre Tombouctou et Taoudénit durant les siècles dans un trajet de 300 km, il n'existait aucun point d'eau en plein désert. Après l'implantation de l'expédition de la SONAREM-NATIONS UNIES, cette distance a diminué presque de moitié par la découverte d'une nouvelle nappe en face de Oued el Hadjar en plein Sahara.

Après le résultat de ce succès, qui donne de l'eau de meilleure qualité que les puits de Guir ou Bou-Djébéha, à l'avenir les chameaux des caravanes ne devront passer que 6 jours sans boire, au lieu de 10 jours comme auparavant et la grande perte en chameaux certainement diminue de beaucoup.

3/ Basé sur les données déjà existantes dans les différentes archives maliennes, et d'après notre travail sur le terrain, nous avons pu établir un nouvel inventaire des ressources aquifères souterraines au Mali.

4/ Pendant notre participation dans les formations de techniciens maliens, notre mission a enseigné à 30 stagiaires en matière d'hydrogéologie et des travaux souterrains.

5/ Avec tous nos résultats il a été possible d'établir une requête du Gouvernement Malien au Fonds Spécial des Nations Unies ayant comme base nos expériences et nos données.

Malgré que notre mission par manque de matériel n'a pu exécuter des forages de reconnaissances et des mesurages géophysiques, au point de vue études et préparation d'un programme élargi, notre activité supplémentaire a été indispensable pour la continuation d'une recherche plus systématique et une exploitation plus efficace dans ce domaine.

Pour terminer cet exposé, la mission conseille vivement la création d'une école mixte, sondage-puits, afin de permettre la formation de personnel malien dûment qualifié pour l'exécution des travaux, comme il en existe dans les autres branches de l'activité nationale.

L'organisation serait malienne et les cours faits par des ingénieurs et techniciens connaissant à fond le problème des eaux souterraines en régions arides et semi-arides, provenant de l'Assistance Technique des Nations Unies ou de l'Aide Bilatérale, ce qui permettra la continuation des recherches et travaux souterrains hydraulique et l'organisation d'un département particulier dans ce domaine.

Nous espérons que le Fonds Spécial des Nations Unies pourra réaliser en détail toutes les directives qui y sont suggérées dans la synthèse de recommandations de ce rapport.

B I B L I O G R A P H I E

=====

Liste des principaux ouvrages consultés par la mission -

- Carte Géologique de l'Afrique (ASGA-UNESCO 1963)
- J. Archanbault - Les eaux souterraines de l'Afrique Occidentale - 1960 -
- CRSTON - Mesures géophysiques - 1957 -
- R. Dars - Les formations sédimentaires et les dolérites au Soudan Occidental - 1962 -
- M. Defossez - Etude géologique et hydrogéologique de la Plaine du Gondo - 1955-1957 -
- R. Karpoff - La géologie de l'Adrar des Iforas - 1960 -
- G. Palausi - Au sujet du Niger fossile dans la région de Tombouctou - 1958 -
- R. Reichelt - Rapport fin de campagne - 1964 -
- J.R. Villedur - Rapport fin de campagne de Taoudénit -1954-1955 -
- C. Bense - Rapport de sondage à Mara - 1955 -
- G. Lang - Rapport de fin de campagne de Sonarem - 1964-1965 -
- Génie Rural appliqué aux colonies par Max Ringelman .Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales -1930-
- Le Journal du Forage d'Eau - Maintré (Vienna) France -
- La Science et l'Avenir des Terres Arides - Gilbert F. White (UNESCO)
- L'Hydraulique Agricole - CEDDIMOM -
- Brochures d'auteurs inconnus - C.F.P.A. Bamako -
- Archives diverses de la Sonarem - Kati -
- " " de la Direction de l'Hydraulique
- " " de la Direction de l'Hydraulique Rurale
- L'Hydraulique Pastorale en A.O.F. P. Merlin - Bulletin des services de l'Élevage et des Industries animales - 1951 -
- Rapports personnels antérieurs des experts de la mission -
- Rapport sur les études entreprises par le Service de l'Hydraulique dans la vallée du Sénégal - 1931 - Bulletin MAS n°32 St Louis avec dossier annexe du Bakoy (pièces 4)

- Aménagement de la Koya -
- Bulletin MAS n°50 St Louis -
- Etude des Vallées fossiles du Niger d'Urvey - 1936 -  
Etude de la Vallée du Serpent -
- Région Rosso - R. Kiz - Etude en vue d'aménagements hydro-  
agricoles - BCCM Juin 1961 -
- Mission du Haut Sénégal - Observations géologiques par R. Furon  
- 1928 -
- Nivellement du Bafing entre son confluent et la frontière de  
Guinée - 1932 -
- Au bureau de l'Hydraulique Souterraine du Mali et de la SONAREM :  
coupe des forages exécutés avec indications des débits -  
répertoire de tous les puits creusés antérieurement à 1961 -  
fiches de renseignements géologiques concernant ces ou-  
vrages -

=====