

ÉTUDES ET TRAVAUX  
POUR  
LA MISE EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES  
DANS  
LA 7<sup>ème</sup> RÉGION ÉCONOMIQUE  
DE  
LA RÉPUBLIQUE DU MALI

RAPPORT FINAL

OCTOBRE 1982

AGENCE JAPONAISE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE



ÉTUDES ET TRAVAUX  
POUR  
LA MISE EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES  
DANS  
LA 7<sup>ème</sup> RÉGION ÉCONOMIQUE  
DE  
LA RÉPUBLIQUE DU MALI

519  
61.8  
SDS  
13631

RAPPORT FINAL

JICA LIBRARY



1064536143

OCTOBRE 1982

AGENCE JAPONAISE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE

国際協力事業団

受入  
月日 84.9.27

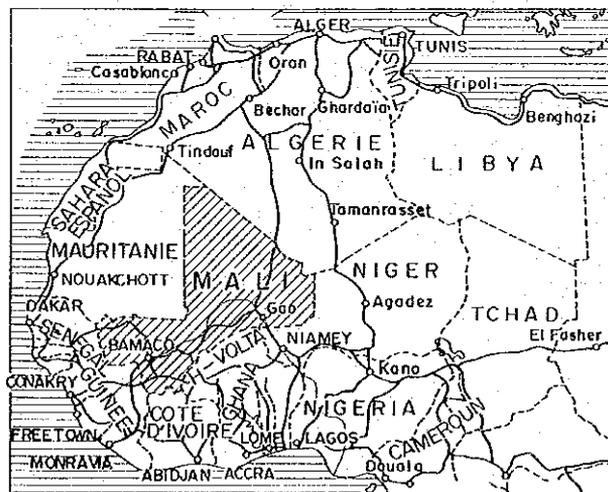
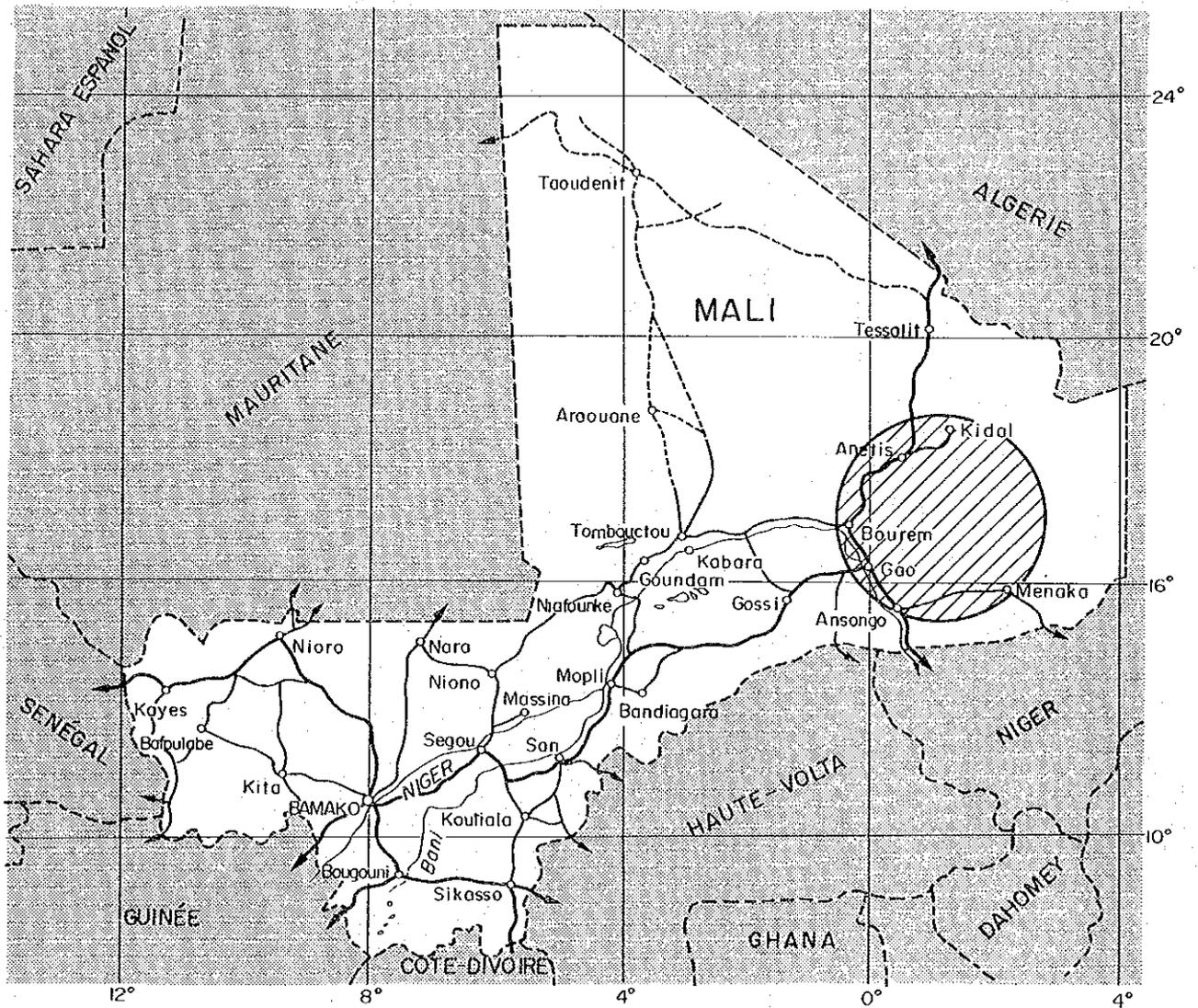
519

61.8

登録No. 09192

SDS

# LOCALITÉ DE LA RÉGION EXPLORÉE





## PREFACE

Le gouvernement de la République du Mali a formé le projet de développement des ressources en eau de la 7<sup>ème</sup> région économique afin de reconstruire la région de Sahel dévastée par la grande sécheresse de 1972 à 1973 et de stabiliser l'élevage et donc la vie quotidienne des habitants. Il a demandé au gouvernement japonais la fourniture de l'équipement et du matériel ainsi que l'assistance technique, notamment pour le développement des eaux souterraines par sondage.

Sur cette demande, le gouvernement japonais a envoyé la mission d'étude préliminaire de JICA au mois de mars 1978 et délibéré avec le gouvernement malien sur la ligne de conduite de la coopération. Ensuite, une autre mission a été envoyée au mois d'octobre de cette année afin de déterminer l'étendue des travaux d'une manière concrète. Enfin, les deux gouvernements ont convenu qu'il est nécessaire d'étudier d'abord les conditions principales du développement des eaux souterraines et l'orientation d'exécution du développement. C'est ainsi que l'étude a été réalisée.

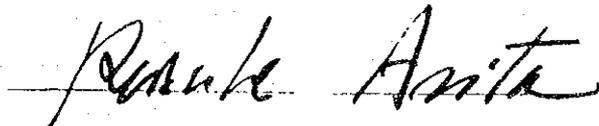
Pendant 4 années, depuis le mois de janvier 1979 jusqu'au mois de mars 1982, les recherches ont été effectuées dans les cercles Gao, Ansongo et Kidal.

Par suite de l'étude sur place, les résultats d'étude et les données obtenues ont été analysées et interprétées pour examiner en détail le projet de développement des eaux souterraines de la région considérée.

Nous vous présentons ici un rapport récapitulatif des résultats d'étude sur place et nos considérations.

Je suis profondément reconnaissant envers toutes les personnes de la République de Mali concernées d'avoir apporté leur collaboration à l'exécution de l'investigation sur place.

Octobre 1982



Keisuke Arita

Président

Agence Japonaise de Coopération Internationale



## RÉSUMÉ ET CONCLUSION



## Résumé et Conclusion

### 1. Arrière-plan du projet

La 7<sup>e</sup> région économique, objet du présent projet, est située dans le Nord-Est de la République du Mali (entre 2° de longitude ouest et 4° de longitude est et entre 15° et 21° de latitude nord). Etant limitée au nord par le désert du Sahara et à l'est par le Nord du Niger, cette région est soumise aux conditions naturelles les plus sévères dans le territoire du Mali.

Sa superficie est d'environ 320.000 km<sup>2</sup>, soit à peu près 1/4<sup>e</sup> de la superficie totale du pays, et elle est représentée plus d'à moitié par une zone présaharienne dans laquelle la hauteur pluviométrique annuelle est inférieure à 100 mm, le reste étant formé par une zone sahélienne dans laquelle la hauteur pluviométrique annuelle est comprise entre 100 et 300 mm. Les habitants de cette région s'occupent principalement de l'élevage du bétail (en semi-nomadisme pour la plupart). Ils souffrent en permanence d'un manque d'eau dans toute la région.

L'alimentation en eau dans la région est assurée principalement par des flaques de surface, des mares, des puits et par le fleuve du Niger, elle subit donc l'influence directe des conditions climatiques. Ainsi, la vie des habitants et l'élevage du bétail pendant chaque année dépendent du climat de la même année.

En effet, la grande sécheresse en 1972–73 a porté un coup d'assommoir à l'élevage du bétail dans cette région: des nomades se sont réfugiés dans les pays voisins, et de nombreux bestiaux sont morts, le chaos et la faim régnant par suite d'un grave manque d'eau et d'une forte diminution de l'herbage. Le fleuve du Niger n'a servi de source d'eau qu'à des habitants avoisinants, alors que toutes les autres sources d'eau de surface ont été à sec. Dans ces circonstances, on n'a pu compter que sur des puits. Cependant, des puisards, ainsi que des puits portant sur une nappe phréatique de 30 à 40 m de profondeur, se sont taris. On n'a pu prélever de l'eau que dans des puits plus profonds portant sur une nappe profonde.

Par cette expérience, le Gouvernement du Mali a reconnu que l'extension des puits de grande profondeur portant sur une nappe profonde est la seule solution pour assurer des terres à l'élevage sans être influencé par les phénomènes atmosphériques. C'est pourquoi le Gouvernement du Mali a pris comme gageure nationale pressante un projet de réalisation des forages visant à l'exploitation efficace des nappes profondes. Ainsi, il a été décidé d'exécuter ce projet comme un objectif prioritaire du programme de développement national du Mali.

Dans le cadre de ce projet, le Gouvernement du Mali a lancé la mise en valeur des eaux souterraines dans les différentes régions du pays, et il a demandé au Gouvernement du Japon d'accorder une coopération relative à la mise en oeuvre d'un programme de mise en valeur des eaux souterraines dans la 7<sup>e</sup> région économique.

## 2. Grande ligne des études (S/W)

La demande de coopération faite par le Gouvernement du Mali auprès du Gouvernement du Japon au mois de juin 1977 s'est rapportée à la fourniture de deux jeux de matériels, véhicules et matériaux nécessaires pour l'exécution des travaux de forage et de prospection physique, ainsi que l'envoi d'experts japonais pour la formation du personnel malien nécessaire pour permettre à la contrepartie malienne d'exécuter elle-même la mise en valeur des eaux souterraines tout en utilisant les matériels, véhicules et matériaux fournis.

A la suite de cette demande, le Gouvernement du Japon a fait détacher par l'Agence Japonaise de Coopération Internationale, au mois de mars 1978, une mission d'étude préliminaire pour effectuer une reconnaissance et étude sur le terrain dans la région proposée pour la coopération. A cette occasion, des discussions sur les directives de base de l'exécution de la coopération ont été faites entre cette mission et le Directeur Général de l'Hydraulique et de l'Energie représentant le Gouvernement du Mali.

Au mois d'octobre 1978, une mission d'étude de définition de l'étendue des travaux (S/W) a été détachée par le Gouvernement du Japon pour discuter avec le représentant du Gouvernement du Mali une proposition de l'étendue des travaux établie sur la base des résultats de l'étude préliminaire. A cette occasion, les deux parties ont convenu que, la bonne mise en valeur des eaux souterraines supposant surtout la détermination des conditions de base du projet de mise en valeur et des directives techniques pour sa mise en œuvre, les études doivent être effectuées par des missions d'étude. D'ailleurs, il a également été convenu que les points faisant l'objet des débats au cours des discussions, ainsi que les objectifs prévus pour le futur convenus par les deux parties, doivent être résumés dans un procès-verbal. Dans cette entente, les deux parties ont signé le document définissant le schéma et les objectifs des études et travaux pour la mise en valeur des eaux souterraines dans la 7<sup>e</sup> région économique du Mali.

Objectifs et étendue des études :

— Les études relatives à un programme de mise en valeur des eaux souterraines dans la 7<sup>e</sup> région économique pour assurer l'alimentation en eau potable des habitants et en eau d'irrigation des pâturages, sont à mener dans les cercles administratifs de Gao, d'Ansongo et de Kidal, et le transfert de technologie à la contrepartie malienne est à assurer par ces études.

Durée des études :

— Etudes de base : En 1979, pendant 2 mois on a rassemblé les informations requises pour l'exécution des travaux principaux à lancer l'année fiscale suivante, et pour dresser un planning d'exécution de ces travaux.

— Travaux principaux : Les travaux principaux ont été exécutés au cours des deux années fiscales 1979 et 1980 respectivement pendant 5 mois à partir de la fin du mois d'octobre de chaque année de calendrier jusqu'à la fin du mois de mars de l'année suivante. Certains travaux

supplémentaires ont été effectués également en année fiscale 1981.

Travaux à effectuer :

- Construction des bases d'entretien (base principale de Gao et bases antennes d'Ansongo et Kidal).
- Sélection des lieux où seront effectuées des recherches ponts.
- Exécution de la prospection électrique.
- Exécution des forages.
- Etude de l'amélioration des puits existants.
- Etude des méthodes les plus adéquates de mise en valeur des eaux souterraines.
- Etude des systèmes les plus adéquats de pompage et de distribution d'eau.

Déroulement :

- Les études et travaux ont été effectués par 38 experts japonais (128.3 hommes-mois) au total.

### **3. Résultats de l'étude et considérations**

#### **(1) Construction des bases et entretien des équipements.**

En dehors des conditions naturelles très sévères, telles que forte variation de température journalière, haute température ambiante, sécheresse, vent de sable, etc., la manoeuvre peu soignée ainsi que le manque de réparations et d'entretien appropriés ne permettaient pas un bon fonctionnement des équipements et des véhicules dans le passé. De ce fait, le transfert de technologie pour l'entretien des équipements et des véhicules, a été exécuté pendant la période de la présente étude. Pour la bonne réalisation du présent projet, un programme de mise en oeuvre devra être établi tout en mettant l'accent également sur la construction de bases logistiques équipées d'installations appropriées (atelier de réparations et magasin, etc.), ainsi que l'organisation du personnel technique pour l'entretien des équipements et l'établissement du système d'approvisionnement en pièces détachées.

Il ne sera pas nécessaire de construire des bases logistiques trop importantes, leur importance devant être adaptée de préférence à l'envergure de l'exploitation et à l'habileté d'entretien du personnel. Cependant, leur construction ainsi que l'organisation d'un système adéquat d'entretien devront être réalisées à une date la plus proche possible. Ainsi, il est indispensable d'incorporer la construction de bases logistiques et l'établissement du système d'entretien au début d'un programme de mise en oeuvre du projet de la mise en valeur des eaux souterraines.

#### **(2) Prospection électrique**

Deux méthodes de prospection physique ont été étudiées pour la reconnaissance des eaux souterraines: prospection sismique et prospection électrique. Suite aux essais d'application effectués au cours des études de base, il a été vérifié que la prospection électrique

serait la méthode la plus efficace pour révéler les conditions d'existence des eaux souterraines dans la 7<sup>e</sup> région économique (où la plupart des eaux souterraines se trouvent dans des couches constituant une formation).

Au cours des travaux principaux, la prospection électrique de surface et le carottage électrique ont été effectués respectivement en 252 points et dans 16 sondages au total en vue de la solution de différents problèmes particuliers à l'exécution des travaux dans les conditions désertiques (tels que condition d'électrode en terrain sec, effets dérangeants de la chaleur, des différences de température et du vent de sable sur les instruments de mesure, etc.), ainsi qu'en vue d'obtenir un effet plus positif de la prospection.

La prospection électrique de surface a permis d'estimer la limite et la profondeur des différentes couches souterraines à partir de la résistance spécifique, ce qui a donné des informations fiables pour la sélection des points de forage et la conception d'un programme de forage. D'ailleurs, le carottage électrique a révélé le niveau d'une nappe aquifère dans chaque sondage, ce qui a donné des directives définitives pour la mise en place des crépines.

Si l'expérience est accumulée par le déroulement ultérieur des travaux et que les caractéristiques particulières de cette région pouvant toucher à l'opération de prospection et à l'analyse sont déterminées et définies d'une manière plus poussée, cette méthode pourra déployer tout son effet pour la prospection des eaux souterraines.

### (3) Travaux de forages

La 7<sup>e</sup> région économique est très étendue et elle présente des conditions géologiques très variées, telles que roches sédimentaires, roches ignées, roches métamorphiques, etc. Ainsi, dans cette région, la lithologie à rencontrer lors du forage varie de chantier en chantier. D'ailleurs, les nappes aquifères puissantes sont considérées en générale comme étant peu nombreuses, ce qui implique qu'il sera difficile de vérifier l'existence des eaux souterraines au cours du forage. De plus, les travaux seront effectués dans des conditions locales particulières (routes, topographie, météorologie, etc.) par le personnel malien. Compte tenu de ces faits, il est nécessaire, du point de vue du rendement et de la sécurité, de retenir un type de foreuse ayant une capacité de réserve suffisante. Il est également nécessaire d'envisager le forage pneumatique sur des chantiers pour les quels il sera difficile d'obtenir l'eau pour les besoins de chantier. C'est pourquoi on a adopté une foreuse roto-percutante à commande centralisée à actionnement hydraulique du type à entraînement par tête supérieure (modèle TOP-300, TONE),

Les travaux de forage ont été effectués en vue de déceler la structure hydraulique souterraine et de procéder aux essais de forage. Au cours de ces travaux, le transfert de technologie à la contrepartie malienne a également été fait tout en portant sur l'ensemble des travaux de forage comprenant non seulement le forage, la mise en place du tubage et des crépines, ainsi que les finitions, mais également les essais de pompage et l'analyse de l'eau.

Pendant la période d'étude, 16 forages (de profondeur totale de 1.285 avec 96 crépines

au total) ont été réalisés, leur débit limite de pompage en tant que forages productifs étant de 1,8 à 15 m<sup>3</sup>/h. Sur le plan géologique et pétrographique, ces forages se trouvent dans le quaternaire et le tertiaire, alors que sur le plan géographique, ils sont situés dans trois zones distinctes: zone longeant le fleuve du Niger, zone d'Ansongo et zone d'arrière-pays. L'objectif du transfert de technologie pour l'exécution de forages dans le cadre du présent projet est considéré comme ayant été à peu près atteint par ces travaux de forage. (Voir tableau III.4.1).

#### (4) Analyse hydrogéologique des sondages

Au total, 16 forages ont été exécutés: 11 aux alentours de la ville de Gao, 3 aux alentours de la ville d'Ansongo, 1 à Djobok à environ 40 km à l'est de Gao et 1 à Hamakouladji à environ 45 km au nord-nord-ouest de Gao.

Des nappes aquifères ont été reconnues dans le quaternaire pour 11 forages, dans le tertiaire pour 4 forages et dans des aires altérées des roches de soubassement pour 1 forage. On a pu ainsi obtenir des données hydrauliques des sols et des eaux souterraines, qui ont fourni beaucoup de suggestions utiles pour l'analyse de la structure hydraulique souterraine, du bilan d'eau souterraine, etc. dans l'ensemble de la 7<sup>e</sup> région économique (voir tableau IV.3.4).

Dans la présente étude, on a pu reconnaître directement de nappes aquifères appartenant à l'intercalaire continental et au crétacé supérieur à cause de la localisation des zones d'exécution et de la profondeur des forages. La profondeur d'un forage a été limitée à 150 m en supposant que des nappes aquifères requises puissent être rencontrées au-dessus cette profondeur et en tenant compte de la période et des frais de construction. Sur le plan géologique, cette profondeur de forage porte notamment sur des nappes aquifères appartenant au tertiaire et au quaternaire et elle peut être appliquée sans grands inconvénients à l'analyse pour l'ensemble de la 7<sup>e</sup> région économique.

Les eaux souterraines dans le tertiaire sont en forme des nappes profondes, elles se trouvent dans des nappes aquifères composées de sables ou graviers argileux, d'argiles sableuses et de sables et graviers non argileux. Normalement, 2 ou 3 nappes aquifères existent au-dessus d'une profondeur d'environ 130 m. Les nappes aquifères faisant l'objet de la mise en valeur sont celles se trouvant à deux différentes profondeurs comprises respectivement entre environ 40 et 90 m et entre environ 90 et 110 m. Le débit limite de pompage peut atteindre 2 à 12 m<sup>3</sup>/h pour la totalité des deux nappes.

Les eaux souterraines dans le quaternaire sont en forme des nappes phréatiques, elles se trouvent dans des nappes aquifères composées de sables fins à grossiers et de graviers. Leur profondeur est comprise entre 2 et 40 m. Un débit limite de 1,8 et 16 m<sup>3</sup>/h a été enregistré par ces nappes qui pourraient constituer des forages productifs.

La qualité des eaux souterraines prélevées dans les 16 forages ne pose aucun problème particulier pour leur utilisation comme eau potable, mais la teneur en fer, le pH et la température des eaux souterraines dans le tertiaire sont un peu supérieures à ceux des eaux souterraines dans

le quaternaire.

#### (5) Etude de l'amélioration des puits existants

Par les "puits existants", on entend des puits forcés à la main. Ils ne comprennent pas de forages. Ils comprennent des puisards à fonçage sans soutènement et des puits avec revêtement en béton. Ces derniers peuvent être divisés en deux groupes: puits de 10 à 40 de profondeur qui prélèvent des eaux souterraines dans des nappes phréatiques, et puits d'une profondeur supérieure à 40 m qui portent sur des nappes profondes.

Les puisards à usage temporaire mis à part, les autres puits existants à améliorer présentent, pour la plupart, soit un ensablement intérieur, soit un endommagement de la paroi en béton ou du dallage autour de la bouche. A cause d'un manque de fonds d'entretien, ces puits existants ont été laissés non réparés longtemps.

Pour l'amélioration de ces puits, une solution progressive permettant de faire remédier aux gênes actuelles par le seul personnel malien doit être retenue dans la mesure du possible. La méthode de construction à adopter peut être une méthode malienne courante, mais il est important de prendre des dispositions utiles, telles que définition d'un système de gestion des puits, mise à disposition de fonds d'entretien suffisants, etc. D'ailleurs, pour des puits existants situés dans des zones où les eaux souterraines peuvent être prélevées dans des nappes profondes, il conviendrait mieux de les modifier en P-C (puitsciterne) dans la mesure du possible (voir figure II.7).

#### (6) Structure hydraulique souterraine et bilan d'eau dans la 7<sup>e</sup> région économique

Les eaux souterraines dans la 7<sup>e</sup> région économique sont divisées en deux catégories: nappe phréatique et nappe profonde. Normalement, la nappe phréatique se trouve à une profondeur allant jusqu'à 40m, alors que la nappe profonde se trouvent dans une nappe aquifère de plus grande profondeur. Des nappes phréatiques existent dans le quaternaire s'étendant le long du fleuve du Niger ainsi que dans des zones du terrain plat d'arrière-pays auxquelles des flaques se produisent pendant la saison pluvieuse, de même dans des aires altérées des zones des roches de soubassement à Kidal et à Gourma ainsi que des lits de graviers des oueds. Ces nappes phréatiques sont largement exploitées par des puisards depuis longtemps. Cependant, dans certaines zones longeant le fleuve du Niger, une rétention fluviatile est assurée par l'alimentation en eau à partir de ce fleuve, ce qui permettra le pompage d'eau à un débit particulièrement grand. On doit donc étudier un mode spécial d'exploitation de ces nappes phréatiques.

D'autre part, des nappes profondes se trouvent dans les zones composées de roches sédimentaires à l'exception des zones montagneuses dans lesquelles des roches de soubassement affleurent. Sur le plan géologique, ces nappes profondes existent dans des nappes aquifères dans le terrain tertiaire ou plus antérieur. Elles sont alimentées en eau de pluie qui s'infiltré dans le terrain à des zones périmétriques des montagnes dans lesquelles les lits correspondants respectifs

affleurent à la surface du sol. Les eaux souterraines dans ces nappes profondes courent à partir de ces zones vers le fleuve du Niger.

Ces nappes profondes sont alimentées en eau à un débit de  $182 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  en moyenne. De plus, les nappes phréatiques existent. De ce fait, l'alimentation annuelle en eau de l'ensemble de la 7<sup>e</sup> région économique est suffisante pour satisfaire le besoin en eau estimé à  $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  pour l'année 1985.

#### (7) Directives techniques pour la sélection des zones de mise en valeur

La sélection des zones de mise en valeur des eaux souterraines est d'une importance capitale. Si la position d'une zone de forage n'est pas correcte, aucun effet du projet ne pourra éventuellement être obtenu. Pour la sélection des zones de forage, les conditions d'exploitation et d'exécution des travaux ainsi que les conditions hydrauliques doivent être prises en considération. En particulier, les conditions hydrauliques sont importantes. Autrement dit, il est important de déterminer d'abord si, oui ou non, les eaux souterraines existent en débit requis dans une zone proposée. Même si on peut s'attendre au débit moyen des eaux souterraines mentionné au paragraphe précédent, la quantité des eaux souterraines dans chaque zone distincte doit être déterminée pour pouvoir procéder aux forages. C'est pourquoi une zone dans laquelle des forages ayant une capacité de pompage relativement élevée pourront être réalisés doit être choisie après avoir effectué une prospection efficace.

De ce fait, l'analyse a été faite pour définir des directives techniques relatives aux conditions hydrauliques. Etant donné que les renseignements obtenus par des sondages directs ont été peu nombreux, on a procédé à l'examen des renseignements obtenus en 235 points, y compris ceux des forages réalisés dans le cadre de la présente étude, tout en axant sur les renseignements relatifs à des puits existants.

De cette façon, des cartes bathymétriques des nappes aquifères dans des zones principales de la 7<sup>e</sup> région économique pour les quelles les eaux souterraines existent, ont été établies, et à partir de ces cartes, le nombre ou le potentiel de débit des nappes aquifères, etc. a été analysé pour établir une carte indiquant l'ordre de priorité de mise en valeur des zones sur le plan hydraulique (voir figure IV. 7.2). Ainsi, des directives techniques pour la détermination de l'ordre de priorité de mise en valeur ont été proposées.

#### (8) Etude du projet de mise en valeur des eaux souterraines

Comme décrit ci-dessus, les différentes conditions à considérer pour la mise en valeur des eaux souterraines, ainsi que les techniques les plus adéquates de prospection et de forage à adopter, ont été définies sur la base des résultats des différentes études et des considérations. De plus, la structure hydrogéologique et le bilan d'eau de la 7<sup>e</sup> région économique ont été déterminés par l'analyse des résultats des études et par l'étude des documents. Des directives du plan d'utilisation des eaux souterraines ont ainsi pu être établies.

Sur la base de ces directives, les conditions pour le projet de mise en valeur des eaux

souterraines faisant partie majeure de la présente étude ont été étudiées. Le contenu de cette étude du projet de mise en valeur des eaux souterraines est considéré comme devant être résumé en conclusion du présent rapport.

#### 4. Conclusion

Les observations, propositions ou préconisations obtenues à partir des considérations et des résultats de l'analyse déjà décrits sont résumées ci-dessous en tant que conclusion de la présente étude d'avant-projet.

- Rôle du projet de mise en valeur des eaux souterraines dans l'utilisation des ressources d'eaux :

L'utilisation actuelle des ressources d'eaux dépend, pour la plupart, de flaques de surface, de mares relativement grandes, du fleuve du Niger dont l'origine se trouve en Guinée et de puisards et puits peu profonds (les puits de grande profondeur étant peu nombreux). De ce fait, la quantité d'eau disponible et la période d'utilisation sont influencées directement par les conditions climatiques pendant chaque année, ce qui implique l'instabilité de la vie des habitants et de l'élevage du bétail.

Pour éliminer ces inconvénients, il faut procéder au projet tout en prenant des interventions utiles pour chaque catégorie de ressources d'eaux: flaques et mares, le fleuve du Niger, ou puits. Il est préconisé d'assurer une bonne coordination entre les trois catégories de ressources d'eaux, ainsi qu'un bon équilibre global. A cet effet, les interventions décrites ci-dessus sont à envisager.

En ce qui concerne l'eau de pluie de surface, le renforcement des flaques et mares, ainsi que la construction de réservoirs artificiels, sont à envisager. En ce qui concerne l'eau du fleuve du Niger, la construction de réservoirs pour amener l'eau du fleuve ou recevoir ses crues est à envisager. En ce qui concerne la construction de puits, des puits et forages supplémentaires sont à construire notamment pour réaliser des sources d'eau qui ne sont pas affectées par les conditions climatiques pendant une année. A ce propos, il est très important d'envisager l'utilisation efficace des nappes profondes de 80 à 150 m de profondeur par des forages.

Le projet d'aménagement par ces différents systèmes doit donc être exécuté de façon à assurer son effet maximum tout en procédant à la coordination globale de leurs emplacements, nombres, envergures, délais, etc.

Ainsi, le projet de mise en valeur des eaux souterraines fait partie du projet d'aménagement pour l'utilisation globale des ressources d'eaux. Les résultats des études ont montré qu'un tel projet devrait être exécuté en axant sur la réalisation des forages. D'ailleurs, il a été vérifié que ce projet est faisable. Dans ce qui suit, l'étude d'un projet de réalisation des forages pour mise en valeur des eaux souterraines est décrite.

Il est à noter, cependant, qu'il faut considérer la relation entre l'utilisation des ressources en eau et l'herbage pour l'élevage du bétail. Naturellement, l'élevage du bétail se rattache à l'eau et à l'herbage. Il n'est pas faisable sans l'un de ces deux facteurs. La mise en valeur des ressources d'eaux et l'aménagement des pâturages (extension des pâturages, amélioration de la qualité d'herbage, etc.) se complètent l'un l'autre. Si l'herbage est abondant et que l'eau est

manquante, une concentration excessive du bétail autour d'une source d'eau se produira. Dans le cas contraire, l'utilisation efficace des sources d'eau ne sera pas assurée. Pour éviter ces inconvénients, la sélection des zones proposées pour la mise en valeur des eaux souterraines doit être faite en fonction des conditions d'aménagement des pâturages, alors que le bon aménagement des pâturages doit être exécuté dans toute zone où des sources d'eau ont été mises à disposition. C'est pourquoi une bonne coordination entre ces deux interventions est désirée.

— Faisabilité hydraulique de la mise en valeur des eaux souterraines :

A en juger par la structure hydrogéologique de la 7<sup>e</sup> région économique, il est considéré comme certain que les nappes aquifères existent de façon très étendue. Selon les résultats des études, le besoin en eau d'environ  $18 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/an, estimé à partir du besoin en eau de l'élevage du bétail basé sur la superficie actuelle des pâturages et du besoin en eau des habitants basé sur la population, pourra être satisfait suffisamment même par les eaux souterraines seulement, ce qui rend le projet faisable. Cependant un débit suffisant des eaux souterraines ne pourra pas toujours être assuré dans des zones distinctes où elles seront requises. On ne peut pas s'attendre à un débit d'eau trop fort dans les zones distinctes de la 7<sup>e</sup> région économique sauf certaines zones longeant le fleuve du Niger. D'après les résultats des études, on ne peut s'attendre qu'à un débit de l'ordre de 1 à 10 m<sup>3</sup>/h pour les nappes phréatiques dans le quaternaire (de profondeur jusqu'à 40 m) et de l'ordre de 3 à 6 m<sup>3</sup>/h pour les nappes profondes (de profondeur jusqu'à 150 m).

Cependant, ces nappes aquifères ne se trouvent pas dans les mêmes conditions, mais présentent des caractéristiques particulières à chaque zone distincte. Dans certaines zones, on peut s'attendre à un débit relativement élevé. C'est pourquoi le succès du projet dépend de la sélection des zones de forage basée sur une prospection efficace. Ainsi, les techniques à adopter pour la mise en valeur des eaux souterraines affectent fortement l'effet réel de la mise en valeur.

— Nombre visé de forages pour le moment :

Comme déjà décrit, le projet de mise en valeur des eaux souterraines est à exécuter en axant sur la réalisation des forages et en assurant sa bonne coordination et son bon équilibre vis-à-vis de l'utilisation des autres ressources d'eaux, c-à-d., puits ordinaires et eaux de surface. Le nombre requis de forages varie en fonction des conditions d'aménagement des pâturages et de développement des autres ressources d'eaux. De ce fait, le nombre visé de forages pour le moment a été calculé sur la base des conditions actuelles.

Les besoins futurs en eau ont été calculés en tenant comme quantité d'eau de base du projet la différence entre pouvant être élevées en mettant les pâturages actuels à usage maximum ainsi que pour la population de la région, d'une part, et la quantité d'alimentation en eau actuelle, d'autre part. Si ces besoins des eaux futurs ainsi calculés ne sont satisfaits que par des forages de capacité de pompage unitaire de 3 m<sup>3</sup>/h, il sera nécessaire de mettre environ 250 forages en service. En

réalité, cependant, l'alimentation en eau requise sera assurée également par l'utilisation des eaux de pluie de surface et la construction d'autres puits supplémentaires. Il n'est pas nécessaire de supposer que tous ces besoins des eaux doivent être satisfaits par des forages seulement. Ainsi, sur la base des résultats d'études, environ 200 forages sont considérés comme suffisants pour le moment.

— Directives pour la sélection des zones de forage :

L'étude technique de chaque zone proposée a été effectuée du point de vue de l'exploitation des forages et de l'exécution des travaux ainsi que sur la plan hydrogéologique, et des zones dans lesquelles la mise en œuvre du projet pourrait porter de bons fruits ont été choisies. Ainsi, une carte indiquant l'ordre de priorité des différentes zones pour la mise en valeur des eaux souterraines a été établie (voir figure IV.7.2). La détermination définitive de l'ordre de priorité de commencement de l'exécution est à effectuer en tenant compte également des conditions politiques, telles que l'effet économique que chaque zone a sur la région, l'urgence d'exécution du projet, etc.

Etant donné que le présent projet a pour objet d'abord l'aménagement de l'infrastructure sociale, il faut exécuter le projet pour assurer d'abord l'alimentation en eau potable des habitants, puis l'alimentation en eau pour les besoins de l'élevage du bétail. Pour cette dernière, il faut envisager le commencement des forages à partir d'une zone dans laquelle l'alimentation en eau en plus grande quantité pourra être assurée pour qu'on puisse s'attendre à l'effet primaire de la mise en valeur des eaux souterraines.

De ce point de vue, l'exécution des forages doit être commencée initialement selon les directives suivantes et sur la base de la proposition de sélection des zones de forage (voir figure IV.7.3).

Il est à noter que des nappes aquifères (nappes phréatiques) dans le quaternaire s'étendant le long du fleuve du Niger présentent par endroits une structure de rétention fluviale permettant le pompage d'eau en grand débit par suite de l'alimentation en eau assurée directement par le fleuve du Niger. Si le pompage mécanique est adopté, des pôles industriels pourront être réalisés dans ces zones.

— Directives du déroulement de l'exécution par zone géographique :

Il conviendrait de dérouler l'exécution du projet dans des zones s'étendant le long du fleuve du Niger et de la route artère Ansongo-Menaka s'il s'agit de l'alimentation en eau potable des habitants et celle pour refuge de secours, et dans des zones de première importance hydraulique en axant sur des points clés ou villages ayant des sources d'eau existantes s'il s'agit de l'alimentation en eau pour les besoins de l'élevage du bétail (voir figure V.1).

Les bases pour le déroulement de l'exécution du projet sont indiquées au tableau ci-dessous.

Cercle	Bases pour déroulement
Gao	Hamakouladji, Argabeche, Djebock, Gao Bagoundje, Gargouna
Ansongo	Ansongo,, Andernamel, Tinhama, Tangaragabout In–Délimane
Menaka	Menaka, In–Kadagoten
Bourem	Bourem
Kidal	Kidal, Anéfis

– Plan d'équipement de pompage des forages :

Les forages sont caractérisés par le fait qu'ils permettent le prélèvement des eaux souterraines dans des nappes profondes et que leur période de construction est courte.

Cependant, pour leur exploitation, ils doivent être équipés d'une électropompe immergée, d'un système d'extraction à l'air, d'une pompe mécanique, d'une pompe manuelle ou d'un système puits-citerne. Un seul forage ne permet pas l'application d'un système courant malien de prélèvement d'eau comprenant une moufle et un sceau de puits en cuir.

La pompe électrique immergée est la plus performante, mais son adoption est difficile à l'heure actuelle, compte tenu de son entretien et réparation ainsi que des frais de son exploitation. Il en est de même pour les autres systèmes mécaniques de pompage. Des systèmes de pompage réalistes sont la pompe manuelle et le système puits-citerne.

La pompe manuelle est à utiliser pour prélever l'eau potable dans des forages relativement peu profonds, alors que le système puits-citerne est à utiliser pour des forages de grande profondeur destinés à l'élevage du bétail et situés dans l'arrière-pays.

Ajoutons qu'il est aussi nécessaire d'examiner la convenance d'installation d'une pompe à animal.

– Construction des bases et entretien des équipements :

Pour le bon déroulement de la mise en valeur des eaux souterraines, il faut assurer le fonctionnement soutenu des équipements et véhicules par leurs réparations opportunes et détection précoce d'anomalies ainsi que leur entretien préventif.

A cet effet, la formation du personnel d'entretien et de gestion des équipements ainsi que l'établissement d'un système approprié d'approvisionnement et de stock des pièces détachées doivent être envisagés. De plus des dispositions utiles doivent être prises pour que les installations prévues dans les bases puissent être utilisées d'une manière efficace. Lors de l'établissement d'un plan d'équipement, il faut attacher de l'importance à ces conditions.

– Importance de l'établissement d'un système autonome permettant à la contrepartie malienne de continuer la mise en valeur des eaux souterraines par elle-même :

L'objectif le plus significatif du présent projet est, bien entendu, d'assurer l'établissement

d'un système autonome de mise en valeur des eaux souterraines qui permettra à la contrepartie malienne de continuer par elle-même l'exécution du projet quand la coopération japonaise sera terminée, ce qui constitue une caractéristique particulière du présent projet. A cet effet, le transfert de technologie à la contrepartie malienne a été effectué pendant la période de la présente étude. Un tel transfert de technologie est encore continué actuellement dans le cadre du projet de coopération sous le don accordé par le Gouvernement du Japon. Grâce à leur effort sincère et ardent, le développement d'habileté de la contrepartie malienne est très remarquable, et le transfert de technologie pourra être achevé avec succès dans le délai prévu.

Dans le passé, des projets similaires ont été terminés dès que le personnel étranger les quittait, et les équipements et véhicules ainsi que les installations utilisés pour ces projets ont été abandonnés en permanence. Pour éviter absolument une telle situation, on s'attend à une reconnaissance des autorités maliennes de l'importance de l'établissement de ce système autonome, ainsi qu'à leurs efforts plus énergiques pour l'établir.

-- Aperçu de programme de mise en œuvre :

Matériel de forage et équipements/véhicules annexes :

Deux jeux de matériel de forage et d'équipements/véhicules annexes sont à prévoir (voir tableau V.1).

Compte tenu du fait que des bases de construction des forages doivent être implantées en fonction du nombre de puits à construire pour la combinaison avec les forages en vue de la réalisation des puits-citernes, et eu égard de la limitation de disponibilité du personnel technique malien, l'exploitation de deux foreuses est considérée comme étant la plus réaliste à l'heure actuelle pour leur utilisation la plus efficace par la contrepartie malienne. Par conséquent, les forages doivent être exécutés au moyen de deux foreuses à l'étape initiale du programme de mise en œuvre du présent projet. Le nombre de foreuses nécessaires pour des étapes ultérieures doit être décidé en tenant compte du déroulement réel de l'exécution du projet, ainsi que des situations de la mise en valeur des autres ressources d'eaux.

o Nombre de forages :

200 forages de 150 mm de diamètre et de 40 à 150 m de profondeur.

o Période de construction :

8 ans (1982 – 1989) à une cadence de construction de 25 forages/an.

o Type de forage :

Les forages à réaliser sont soit du type équipé d'une pompe manuelle, soit du type puits-citerne, selon la hauteur d'eau hydrostatique, le débit de pompage d'eau prévu, le service, etc.

o Zones d'exécution des forages :

L'exécution des forages se déroulera en axant sur chaque base dans les zones prioritaires indiquées à la Figure V.1 et en choisissant un acheminement efficace couvrant les points de forage de première urgence. Une fois qu'un forage sera réalisé, ce même forage sera utilisé

comme source d'eau pour les besoins de chantier du forage suivant. De cette façon, des forages seront exécutés successivement à des intervalles de 20 à 30 km.

- Construction des bases :

Base principale de Gao — 1 atelier de réparations des véhicules (175 m<sup>2</sup>) et 1 atelier de réparations mécaniques avec magasin (200 m<sup>2</sup>) à implanter en 1982.

Base antennes d'Ansongo et de Kidal — 1 atelier de réparations des véhicules (175 m<sup>2</sup>) à implanter dans chaque base en 1983.

- Estimation approximative des frais de construction :

Voir le tableau sur page suivante.

Estimation approximative des frais de construction

(en x 1000 FM)

Description	1 <sup>o</sup> année	2 <sup>o</sup> année	3 <sup>o</sup> année	4 <sup>o</sup> année	5 <sup>o</sup> année	6 <sup>o</sup> année	7 <sup>o</sup> année	8 <sup>o</sup> année	Total
Frais d'investissement d'équipement	487,105	597,639	—	340,276	97,208	—	—	—	1,522,128
Frais d'exploitation	552,429	835,102	802,892	816,530	302,892	871,191	828,814	815,176	6,325,127
Frais de transfert de technologie	287,079	291,855	—	—	—	—	—	—	578,934
Total	1,326,613	1,724,596	802,892	1,156,806	900,000	871,191	828,814	815,196	8,426,189
Profondeur totale des forage (m)	1,400	2,500	2,800	2,800	2,800	2,900	2,900	2,900	21,000
Equipements requis	1 — foreuse 5 — véhicules 2 — ateliers à construire	8 — véhicules 2 — ateliers à construire 1 — compresseur d'air à haute pression	—	1 — foreuse 3 — véhicules quelques autres matériels	—	—	—	—	—
Financement	Sous le don accordé par le Gouvernement du Japon	indéterminé							
Remarque	les prix des équipements et les salaires retenus pour cette estimation sont ceux de l'année 1981, leur hausse annuelle n'étant pas prise en considération.								



## TABLE DES MATIERS

LOCATION DE LA REGION EXPLOREE	
PREFACE	
RESUME ET CONCLUSION .....	S-1
TABLE DES MATIERS .....	S-17
Liste des Cartes, Figures et Tableaux .....	S-21
I. PRESENTATION DU PROJET	
1. Arrière-Plan et Elaboration du Projet .....	1
1-1. Arrière-Plan de Projet .....	1
1-2. Elaboration du Projet .....	2
2. Plan de l'Ouvrage .....	3
II. ETAT ACTUEL DE LA REGION A EXPLOITER	
1. Présentation de la Région .....	5
1-1. Géographie .....	5
1-2. Climat .....	8
2. Système et Etat Actuel de l'Utilisation de l'Eau .....	10
2-1. Points d'Eau et Etat d'Utilisation de l'Eau .....	10
2-2. Classement des Puits .....	12
2-3. Résultat des Enquêtes d'Après les Travaux Préliminaires .....	13
2-4. Répartition et Situation des Puits Existants .....	14
2-5. Structure des Besoins en Eau .....	15
2-6. Liste des Emplacements Proposés par le Mali pour l'Exploitation des eaux souterraines	16
III. METHODE ET RESULTANTS DES RECHERCHES	
1. Prospection Electrique .....	25
1-1. Prospection Electrique Superficielle .....	26
1-2. Carotage Electrique dans les Forages .....	36
1-3. Sur l'Organisation Automome des Techniciens du Mali .....	42
2. Travaux de Forage .....	44
2-1. Schéma des Travaux de Forage .....	44
2-2. Description des Forages et de l'Equipement Accessoire .....	50
2-3. Résumé du Déroulement et des Procédés du Forage .....	54
2-4. Etat Actuel du Transfert de la Technique et Problemes Concernant l'Exécution des Travaux .....	61
2-5. Perspectives d'Avenir .....	64

3. Travaux d'Amélioration des Puits Existants .....	65
3-1. Problèmes Techniques sur les Puits Existants .....	65
3-2. Mesures Concrètes pour l'Amélioration.....	65
3-3. Travaux de Réfection des Puits.....	66
3-4. Etude pour la Construction de P-C .....	67
4. Construction de la Base et Entretien de l'Outillage .....	69
4-1. Construction de la Base.....	69
4-2. Entretien du Matériel .....	69
4-3. Etat Actuel du Transfert de la Technique et Développement Ulérieur.....	71
<b>IV. RESULTATS DES RECHERCHES ET CONSIDARATION</b>	
1. Topographe et Géologie.....	73
1-1. Topographe.....	73
1-2. Géologie .....	73
2. Prospection Electrique.....	78
2-1. Prospection Electrique à la surface du Terrain.....	78
2-2. Carottage Electrique dans les Forages .....	85
3. Forages.....	89
3-1. Point de Sondage.....	89
3-2. Résultats de Sondage.....	89
4. Eaux Souterraines de Gao et d'Ansongo.....	102
4-1. Emmagasiner des Eaux Souterraines de Gao .....	102
4-2. Eau Souterraine d'Ansongo.....	106
5. Eaux Souterraines de la 7 <sup>ème</sup> Région Economique .....	108
5-1. Nappes Aquifères .....	108
5-2. Profondeur et Caractéristiques des Nappes Aquifères Estimées à Partir des Données sur les Puits Existants .....	109
5-3. Eaux Souterraines.....	110
5-4. Alimentation et Ecoulement des Eaus Souterraines.....	111
6. Besoins en Eaux dans la 7 <sup>ème</sup> Région Economique .....	114
6-1. Besoins eu Eau .....	114
6-2. Situation Récente de l'Alomentation en Eau .....	114
6-3. La Quantite d'Eau Exigée à l'Avenir .....	115
7. Directives Techniques pour la Sélection des Zones de De'veloppement.....	116
7-1. Critère pour la Sélection des Zones .....	116
7-2. Prospection pour la Sélection des Zones de De'veloppement.....	119

## V. Etude Du Projet DE Mise EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES

1. Faisabilité Hydraulique de la Mise en Valeur .....	121
2. Sélection des Zones de Forage .....	123
3. Plan d'Équipement de Pompage .....	124
4. Nombre de Forages Prévus .....	125
5. Réparation et Entretien des Équipements de Mise en Valeur .....	126
6. Description Générale du Programme de Mise en Œuvre .....	127

## ANNEXE

1. Composition de la Mission et Collègues Maliens .....	141
2. Liste Nominative du Personnel au Mali .....	145
3. Outillage et Matériaux Employés pour les Travaux .....	146
4. Liste des Emplacements Proposés par le Mali pour Exploitation des Eaux Souterraines .....	148
5. Bibliographie .....	155



## LISTE DES CARTES, FIGURES ET TABLEAUX

Figure II.1.1	Carte de la République du Mali . . . . .	A . . .	8
Figure II.1.2	Carte de la 7ème Région économique . . . . .	A . . .	8
Figure II.2	Pluies annuelles en Afrique de l' Ouest . . . . .	A . . .	9
Tableau II.1	Pluviométrie mensuelle et annuelle . . . . .	A . . .	8
Tableau II.2	Evapotranspirations potentielles mensuelles . . . . .	A . . .	8
Figure II.3	Bilan d'eau à Gao . . . . .	A . . .	10
Figure II.4	Niveau de fleuve Niger et la climature de Gao . . . . .	A . . .	10
Figure II.5	Carte de la densité des pâturages . . . . .	A . . .	24
Figure II.6	Carte de la répartition du cheptel en saison sèche . . . . .	A . . .	24
Figure II.7	Puits-Citerne . . . . .	A . . .	24
Tableau II.3	Enquêtes sur l'utilisation des puits existants et la forme d'exploitation de l'eau . . . . .	A . . .	19
Tableau II.4	Nombre du puits et de mares dans chaque cercle . . . . .	A . . .	21
Tableau II.5	Nombre de constructions de puits par année . . . . .	A . . .	22
Figure II.8	Carte du pâturage et de la répartition du cheptel . . . . .	A . . .	24
Figure II.9	Plan des sites faisant l'objet de forage et d'amélioration . . . . .	A . . .	24
Tableau III.1.1	Travaux de recherches (Prospection électrique) . . . . .	A . . .	25
Tableau III.1.2a	Résultats des recherches de 1978 (Superficielles) . . . . .	A . . .	26
Tableau III.1.2b	Résultats des recherches de 1979 (Superficielles) . . . . .	A . . .	26
Tableau III.1.2c	Résultats des recherches de 1980 (Superficielles) . . . . .	A . . .	27
Tableau III.1.2d	Résultats des recherches de 1981 (Superficielles) . . . . .	A . . .	28
Figure III.1.1	Configuration de Schlumberger . . . . .	A . . .	30
Tableau III.1.3	Coefficients de l'intervalle des électrodes . . . . .	A . . .	32
Tableau III.1.4	Coefficients de l'intervalle des électrodes . . . . .	A . . .	33
Figure III.1.2	Courbe de la resistivité apparente . . . . .	A . . .	36
Figure III.1.3	Exemple d'analy de courbe V.E.S. . . . .	A . . .	36
Figure III.1.4	Exemple d'analyse au moyen de l'ordinateur . . . . .	A . . .	36
Tableau III.1.5	Résultats des travaux (carottage électrique) . . . . .	A . . .	36
Figure III.1.5	Système de méthode . . . . .	A . . .	37
Tableau III.1.6	Structure et caractéristiques des fils électriques . . . . .	A . . .	39
Figure III.a.b	Courbes théoriques de base selon le configuration à deux électrodes . . . . .	A . . .	41
Figure III.1.7	Rapport entre l'épaisseur de la couche et la résistivité apparente par la méthode à deux électrodes . . . . .	A . . .	42

A – Page dans le texte

B – Page dans la brochure des cartes, figures et tableaux

Tableau III.2.1	Modalités d'achèvement des forages .....	A ..	55
Tableau III.2.2	Rendement des travaux de forage .....	A ..	57
Tableau III.2.3	Equipments et matériaux employés pour travaux de forage .....	A ..	59
Figure IV.1.1	Carte topographique de l'Afrique Occidentale .....	B ..	1
Tableau IV.1.1	Classification stratigraphique .....	B ..	2
Figure IV.1.2	Carte des formations géologiques .....	B ..	3
Figure IV.1.3	Coupes géologiques .....	B ..	4
Figure IV.2.1	Cartes des situations d'exécution de la recherche (8 feuilles) .....	B ..	5
Figure III.1.4b	Exemple d'analyse au moyen de l'ordinateur (10 feuilles) .....	B ..	13
Figure IV.2.2	Plan de résistivité apparente $AB/2=25m$ .....	B ..	23
Figure IV.2.3	Plan de résistivité apparente $AB/2=50m$ .....	B ..	24
Figure IV.2.4	Plan de résistivité apparente $AB/2=100m$ .....	B ..	25
Figure IV.2.5	Profondeur estimée du fond de la 2ème couche de résistivité (Quaternaire) .....	B ..	26
Tableau IV.2.1	Résistivités apparentes maximale et minimale (daus les nappes phréatiques) .....	A ..	80
Tableau IV.2.2	Résistivités apparantes maximale et minimale (daus les nappes artésiennes) .....	A ..	80
Tableau IV.2.3	Résultats analytiques de la région de Gao (Superficiels) .....	A ..	80
Tableau IV.2.4	Résultats analytiques à Hamakouladji (Superficiels) .....	A ..	82
Tableau IV.2.5	Résultats analytiques à Ansongo (Superficiels) .....	A ..	82
Tableau IV.2.6	Résultats analytiques à Djébock (Superficiels) .....	A ..	82
Figure IV.2.6	Coupe électrique analytique le long du profil Hc .....	B ..	27
Figure IV.2.7	Coupe électrique analytique le long du profil Ho .....	B ..	28
Figure IV.2.8	Coupe électrique analytique le long du profil Ao (Boulgoundje) .....	B ..	29
Figure IV.2.9	Coupe électrique analytique le long du profil EA .....	B ..	30
Figure IV.2.10	Coupe électrique analytique le long du profil K .....	B ..	31
Figure IV.2.11	Coupe électrique analytique le long du profil P .....	B ..	32
Figure IV.2.12	Coupe électrique analytique le long du profil Q .....	B ..	33
Figure IV.2.13	Coupe électrique analytique le long du profil T .....	B ..	34
Figure IV.2.14	Coupe électrique analytique le long du profil Aa (Bagorendje) .....	B ..	35
Figure IV.2.15	Coupe électrique analytique le long du profil B .....	B ..	36
Figure IV.2.16	Coupe électrique analytique le long du profil J, (IJ) .....	B ..	37
Figure IV.2.17	Coupe électrique analytique le long du profil E .....	B ..	38
Figure IV.2.18	Coupe électrique analytique le long du profil DA .....	B ..	39
Figure IV.2.19	Coupe électrique analytique le long du profil Db .....	B ..	40
Figure IV.2.20	Coupe électrique analytique le long du profil Ma .....	B ..	41
Figure IV.2.21	Coupe électrique analytique le long du profil In-Tedenit .....	B ..	42
Figure IV.2.22	Profil de résistivite ap parente Boulgoundje configuration Wenner (Ligne Het Q) .....	B ..	43

Figure IV.2.23	Courbe de la résistivité apparente à In-Tedenit .....	B ..	44
Tableau IV.2.7	Résultats des carottages électriques dans la nappe phréatique .....	B ..	45
Tableau IV.2.8	Résultats des carottages électriques dans la nappe artésienne .....	B ..	46
Tableau III.3.1	Points et profondeur de forage .....	A ..	89
Figure IV.3.1	Coupe géologique générale des forages (16 feuilles) .....	B ..	47
Figure IV.3.2	Coupe géologique circonférentielle des forages (6 feuilles) .....	B ..	63
Tableau IV.3.2	Aperçu géologique des régions ayant fait l'objet des recherches .....	A ..	97
Tableau IV.3.3	Nappes aquifères dans la couche tertiaire et leur altitude .....	A ..	98
Figure IV.3.3	Résultats des essais par paliers (3 feuilles) .....	B ..	69
Figure IV.3.4	Résultats des essais à débit constant (6 feuilles) .....	B ..	72
Tableau IV.3.4	Résultats des essais des nappes aquifères .....	B ..	78
Tableau IV.3.5	Résultats d'examen de la qualité d'eau .....	B ..	79
Figure IV.3.5	Hexadiagramme représentant la teneur en matières dissoutes .....	B ..	80
Figure IV.3.6	Plan de classement des types de qualité d'eau (Clef-Diagramme) .....	B ..	81
Figure IV.4.1	Courbe isopiézométrique de la nappe phréatique .....	B ..	82
Figure IV.4.2	Courbe isoprofondeur de la nappe phréatique de Gao .....	B ..	83
Figure IV.4.3	Relation entre le niveau du fleuve Niger et le niveau d'eau souterraine .....	B ..	84
Tableau IV.4.1	Niveau du fleuve Niger et niveau statique des puits de Gao .....	A ..	102
Figure IV.4.4	Débit spécifique d'eau de la roche sédimentaire (Porosité effective) .....	A ..	105
Figure IV.4.5	Carte hydrogéologique (Ansongo) .....	B ..	85
Figure IV.5.1	Carte hydrogéologique de la 7ème région économique (3 feuilles) .....	B ..	86
Tableau IV.5.1	Circonstance hydrogéologique de chaque aquifère .....	B ..	89
Figure IV.5.2	Plan de puits existants dans la 7ème région économique .....	A ..	120
Figure IV.5.3	Courbe isoprofondeur des nappes aquifères de la 7ème région économique .....	A ..	120
Figure IV.7.1	Herbages et acheminement pour le nomadisme pastoral .....	A ..	120
Figure IV.7.2	Degré d'importance du développement des eaux souterraines par secteur .....	A ..	120
Figure IV.7.3	Secteurs sur lesquels sera prévu le développement des eaux souterraines .....	A ..	120
Tableau	Appendice du chapitre IV		
	(1) Tableau des puits .....	B ..	90
	(2) Tableau comparatif de différentes désignations pour les lieux ..	B ..	114
Figure V.1	Zones à exploiter prioritairement .....	A ..	130
Tableau V.1	Liste des principaux équipements pour la mise en valeur des eaux souterraines .....	A ..	131
Tableau V.2	Plan de l'atelier en base de Gao .....	A ..	129

Tableau V.3	Effectif .....	A ..	129
Tableau V.4	Estimation approximative des frais des travaux selon l'année .....	A ..	135
Tableau V5	Frais actuels des travaux de forage pendant la période des études .....	A ..	137
Tableau V.6	Taux de la hausse de prix .....	A ..	139

S/W	Scope of Work
GDP	The Gross Domestic Product
GNP	The Gross National Product
FM	Francs Malien
FF	Francs Français
CFA	Franc de la Communauté Financière Africaine
UBT (UB)	Unité Bétail Tropical
VES	Vertical Electrical Sounding Layered Structures
PS (SP)	Polarisation Spontanée (Spontaneous Polarizations)
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
CFN	Commission du Fleuve Niger
PUND (UNDP)	Programme Développement des Nations Unies (United Nations Development Programme)
JICA	Agence Japonaise de Coopération Internationale
FAC	Fonds d'Aide et de Coopération
FAD	Fonds Africain de Développement
FED	Fonds Européen de Développement
FISE (UNICEF)	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
OMS (WHO)	Organisation Mondiale de la Santé
ORSTOM	Organisme de Recherche de Science pour les Territoires
OUA (OAU)	Organisation de l'Unité Africaine
OMBEVI	Office Malien du Bétail et de la Viande
SONAREM	Société Nationale de Recherches et Exploitation des Ressources Minières (Mali)
BRGM	Bureau de Recherches et Géologiques Minières
PNC	Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (Japon)
AID (IDA)	Association Internationale pour le Développement
OAA (FAO)	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
BIRD (IBRD)	Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement
BMFOM	Bureau Minier de la Fonds d'Outre-Mer
D.N.G.M.	Direction Nationale de la Géologie et des Mines
D.N.H.E	Direction Nationale de la Hydraulique et de l'Énergie
BCEOM	Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer
I.E.M.V.T.	L'Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux



## I . PRÉSENTATION DU PROJET



## I. PRÉSENTATION DU PROJET

### 1. Arrière-plan et élaboration du projet

#### 1-1. Arrière-plan du projet

La République du Mali qui côtoie le sud du Sahara, se situe entre le 10° et le 24° de latitude nord, le 4° de longitude est et le 12° de longitude ouest. Sa frontière occidentale, qui touche le Sénégal, est à 1.200 km de la côte atlantique, de même que sa frontière méridionale — également à 1.200 km de la côte — en est séparée par la Côte d'Ivoire. Sa superficie atteint 1.240.000 km<sup>2</sup>, mais plus de 60 % de sa surface sont des zones désertiques et semi-désertiques où les précipitations ne dépassent point 200 mm/an. La surface cultivable n'atteint que 10 % de la superficie totale. Les zones non cultivables constituent principalement les pâturages. 80 % de la population active s'occupe d'agriculture et d'élevage, qui constituent les principales activités économiques du pays avec 40 % du produit domestique brut.

L'eau nécessaire à ces activités provient du Niger, de flaques d'eau, de mares et de puits.

A l'intérieur du Mali, les affluents du Niger — lequel prend sa source en Guinée, pays limitrophe — sont tous complètement asséchés en saison sèche. Comme le niveau d'eau du Niger baisse considérablement pendant cette période, la possibilité d'utilisation de cette eau devient extrêmement réduite.

En saison sèche, la plupart des flaques d'eau et des mares sont asséchées, causant de grandes difficultés d'approvisionnement pour les habitants et le bétail, la seule ressource résidant dans l'eau souterraine, sauf, évidemment, en ce qui concerne ceux qui demeurent près du Niger.

Notamment dans la vaste zone de pâturages, l'activité d'élevage varie avec la quantité d'eau superficielle laquelle dépend du temps, lui-même variable. La région subit des dégâts importants lors des sécheresses qui se produisent à quelques années d'intervalle.

Lors de la grande sécheresse qui a ravagé l'Afrique de l'ouest en 1972 et 1973, les puits de 30 à 40 m de profondeur alimentés par la nappe phréatique étaient tous épuisés, tandis que ceux de la nappe profonde ont continué à fournir de l'eau jusqu'à la fin.

Le gouvernement du Mali en a conclu, que les puits de la nappe profonde étaient les plus sûrs. Considérant comme urgente et indispensable l'exploitation des eaux dans les nappes profondes par des forages de 100 à 150 m de profondeur, il en a fait l'un des plus importants projets dans son plan quinquennal.

Dans un tel contexte, le gouvernement du Mali a décidé d'exploiter les eaux souterraines (qui ne sont pas tributaires du temps) afin d'assurer l'eau potable pour les habitants et de fournir les ressources en eau pour l'élevage dans la 7<sup>ème</sup> région économique. Il a projeté d'exploiter efficacement l'eau des nappes aquifères profondes par un forage approprié. C'est ainsi qu'il a demandé l'aide et la coopération du Japon afin que celui-ci lui fournisse les foreuses, les sondes

électriques et les équipements nécessaires à la réalisation du projet, y compris la technique pour l'opération.

## 1-2. Elaboration du projet

En Juin 1977, quand le ministre du développement industriel et du tourisme, Mr. Lamine KEITA, a rendu visite au Japon, il proposait plusieurs projets de coopération économique, et demandait que soient envoyées le plus tôt possible des missions gouvernementales japonaises afin de concrétiser ces projets dont l'un était précisément l'exploitation des eaux souterraines.

Comme suite à cette proposition, le gouvernement japonais a envoyé en Octobre 1977 une mission présidée par Mr. Y. KUBOTA, chef de la section de développement et de coopération du département de coopération économique au ministère des affaires étrangères, afin d'enquêter sur place sur la situation au Mali et de déterminer le domaine et la forme de cette coopération. a partir des résultats obtenus par cette mission, le ministère des affaires étrangères ainsi que d'autres ministères concernés ont décidé de la réalisation immédiate du projet après délibération. D'abord, une mission préliminaire (Contact Mission) composée principalement d'ingénieurs, a été envoyée de Mars à Avril 1978 afin de délibérer sur les détails de l'aide au projet et d'en fixer l'orientation pour le Japon. Comme suite à cette mission, les grandes lignes de réalisation du projet ont été décidées. En Septembre 1978 a été fondée "la Commission de direction sur les travaux de recherches pour le projet d'exploitation des eaux souterraines de la République du Mali", composée d'ingénieurs spécialistes de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale pour la réalisation du projet. C'est ainsi que le système pour la réalisation du projet a été organisé.

Une mission (S/W Mission) composée de sept membres et présidée par Mr. H. MATSUNO, président de "la Commission de direction sur les travaux de recherches" et directeur du département de l'environnement et de la géologie au centre de recherches géologiques de l'Institut d'Industrie et de technologie, a été envoyée en Octobre 1978 afin de négocier les conditions d'exécution (Scope of Work) avec le Mali, suivant l'orientation principale du projet.

Le programme de coopération est précisé dans cet accord de S/W (plan de l'ouvrage). Sa principale directive consiste en une coopération technologique de trois ans à partir de 1978 et en des recherches à effectuer par une mission pour le projet d'exploitation des eaux souterraines.

Le gouvernement malien souhaitait, lors de la négociation, la construction immédiate des puits productifs, étant donnée l'urgence du besoin en eau pour les habitants et l'élevage. Cependant, du côté japonais, on a insisté sur la nécessité d'établir une méthode de prospection et de préciser les principales conditions du projet avant d'effectuer les travaux d'exploitation des eaux. On a donc proposé d'effectuer des recherches d'abord.

Comme il a été décidé que les travaux seraient exécutés par des missions de recherches, le gouvernement malien a demandé de l'aide au Japon pour construire des puits productifs après

---

N.B: S/W = Scope of Work

l'achèvement des recherches par les missions.

## 2 - Plan de l'ouvrage

### (1) Objectifs et zone délimitée pour les recherches.

Les travaux de recherche pour l'exploitation des eaux souterraines sont effectués dans les cercles de Gao, d'Ansongo et Kidal afin d'assurer l'eau potable aux habitants et l'eau nécessaire pour aménager les terrains de pâturage dans la 7<sup>ème</sup> région économique de la République du Mali. On a également décidé que la technique nécessaire à l'exploitation des eaux souterraines devra être transmise, dans la mesure du possible, au personnel technique du gouvernement malien par le biais de l'exécution de ces travaux de recherches.

### (2) Etapes et durée des recherches

Travaux préliminaires.

En 1978, pendant 2 mois, on a rassemblé les données nécessaires aux travaux principaux de l'année suivante, et fait le plan pour leur exécution.

Travaux principaux

Il a été décidé que des travaux de recherches seraient effectués en deux fois, pendant cinq mois (de la fin Octobre à la fin Mars suivante) en 1979 et 1980, notamment la construction d'une base, la prospection électrique et le forage. En réalité, il a fallu ajouter 5 mois de recherches en 1981.

### (3) Travaux à effectuer

- Construction d'une base à Gao et installation des bases auxiliaires à Kidal et Ansong
- Sélection des lieux où seront effectuées des recherches
- Exécution de la prospection électrique
- Exécution des forages
- Examen des puits existants dans le but de les améliorer
- Recherche de la méthode la plus appropriée à l'exploitation des eaux souterraines
- Recherche du système le plus adéquat au pompage et à la distribution d'eau
- Transfert de la technique concernant l'hydro-géologie, la prospection électrique, le forage et l'entretien des machines.

### (4) Rapport final

20 exemplaires (en français) seront remis au gouvernement du Mali en Octobre 1981.

## 3 - Schéma et déroulement des travaux.

1<sup>ère</sup> année (1978): travaux préliminaires

Ils ont été exécutés par 11 membres de la mission pendant 42 jours.

On a établi le plan d'exécution des travaux principaux qui devaient commencer l'année suivante. Quant à l'équipement, on s'est procuré 3 jeeps et 3 pick-up de Nissan afin d'assurer

les moyens de transport pour les activités de recherche.

2<sup>ème</sup> année (1979): 1<sup>ère</sup> année de travaux principaux.

L'exécution en a été faite par 11 membres de la mission pendant 136 jours au total. On a transporté du Japon une foreuse (qui permet de forer à plus de 400 m de profondeur à 300 m/m de diamètre) ainsi que 4 véhicules d'accompagnement et des outils, au total plus de 190 tonnes ou 1000 m<sup>3</sup>. Trois puits forés ont été achevés à titre d'essai.

3<sup>ème</sup> année (1980): 2<sup>ème</sup> année de travaux principaux.

Ils ont été réalisés par 8 membres de la mission pendant 149 jours. Le nombre de coéquipiers maliens ayant augmenté, le transfert de la technique a été commencé officiellement. On a pratiqué 2 forages à Gao et 3 forages à Arsongo. Les recherches hydro-géologiques ont bien avancé.

4<sup>ème</sup> année (1980): 3<sup>ème</sup> année de travaux principaux.

Ils ont été achevés par 8 membres de la mission pendant la durée la plus longue, et 156 jours. Les objectifs fixés au début ont été atteints.

On a réalisé 6 forages à Gao et dans sa banlieue et 2 forages à l'intérieur du continent. On a ainsi créé plusieurs puits productifs. On a pu également connaître la structure globale d'une façon approximative dans la zone explorée et avoir une certaine idée des possibilités d'exploitation des eaux souterraines.

5<sup>ème</sup> année

Dans le cadre du projet de coopération avec l'aide du gouvernement japonais de 1981, on a décidé la réalisation de l'exploitation des eaux souterraines, la fourniture d'une série de machines à forer et la continuation du transfert de la technique par le biais de l'exécution des travaux.

Le projet en question promet beaucoup (pour le futur) et on peut affirmer que la voie est déjà tracée pour établir le système indépendant (autonome) d'exploitation par le Mali qui réussira à réaliser l'exploitation des ressources de la 7<sup>ème</sup> région économique.

## II. ETAT ACTUEL DE LA RÉGION DES RECHERCHES



## II ETAT ACTUEL DE LA RÉGION DES RECHERCHES

### 1. présentation de la région

#### 1-1 Géographie (Fig. II.1)

La région à explorer couvre les cercles de Gao, d'Ansongo et de Kidal, qui constituent la 7<sup>ème</sup> région économique avec deux autres cercles, ceux de Bourem et Ménaka. Jusqu'à il y a deux ans, on appelait la région de Gao l'ensemble de la 7<sup>ème</sup> et de la 6<sup>ème</sup> région composée des cercles de Tombouctou, de Goundam, de Dire, de Gourma et de Rharous. Cet ensemble était autrefois appelé la 6<sup>ème</sup> région économique.

La 7<sup>ème</sup> région constituée de zones semi-désertiques se situe à l'extrême est et nord-est du Mali. Plus de 1000 kms la séparent de la capitale, Bamako, et comme moyens de transport, il y a le vol aérien, le circuit des routes et la navigation sur le Niger. Mais la route est mauvaise entre Gao et Mopti pendant 500 kms et la navigation est limitée entre la mi-août et le mois de décembre. Il faut dire que l'accès à cette région est plus facile et rapide en passant par Niamey, ville du pays voisin, le Niger. Quant à la voie aérienne, c'est Air Mali, entreprise nationale, qui organise les vols réguliers. Cependant, il se produit fréquemment une suppression ou un changement de vol, et même si le vol était assuré, on constate souvent le manque de places. C'est pourquoi on est obligé de prendre un avion de charter à plusieurs reprises, et à grands frais.

Le tableau suivant montre la population et la superficie de chaque région. La région à explorer a la densité de population la plus faible.

Population et superficie dans chaque région économique (1976)

Région économique		Population		Superficie		Densité de population	Nombre de cantons	Nombre de villages
N°	Nom	(mille)	%	(mille km <sup>2</sup> )	%	/km <sup>2</sup>		
5	Mopti	1.120	17,6	88,8	7,1	12,6	62	2.317
3	Sikasso	1.098	17,2	76,5	6,2	14,4	49	1.907
4	Segou	1.082	16,9	56,1	4,5	19,3	37	1.953
2	Koulikoro	932	14,6	90,1	7,3	15,0	40	1.971
1	Keyes	873	13,6	119,8	9,7	7,3	51	1.417
6	Tombouctou	490	7,7	486,3	39,2	1,0	25	570
7	Gao	371	5,8	321,9	26,0	1,15	24	414
Capitale	*Bamako	419	6,6	—	—	—	—	—
	Total	6.399	100,0	1.240,2	100,0	5,15	288	10.548

\* Bamako appartient à la 2<sup>ème</sup> région économique.

Le tableau suivant indique la population et la superficie de chaque cercle dans la 7<sup>ème</sup> région économique.

(1974)

Nom du cercle	Cantons Villages		Population (mille)			Superficie		Densité de population personnes/ km <sup>2</sup>
			Sédentaire	Nomade	Total (%)	mille km <sup>2</sup>	%	
Gao	5	115	79	26	105 (32,6)	26,9	8,4	3,9
Bourem	4	108	58	41	99 (30,7)	41,1	12,8	2,4
Ansongo	4	80	36	34	70 (21,7)	22,8	7,1	3,1
Menaka	4	46	1	31	32 (9,9)	79,8	24,8	0,4
Kidal	7	65	4	16	16 (5,0)	151,4	47,0	0,1
Total	24	414	178	144	322	322,0	100	1,0

La principale activité économique de la région consiste en agriculture dans le champ d'inondation aux alentours du Niger et en élevage (surtout pâturage) en prairies appelées Sahel. La pêche au Niger est limitée à la consommation domestique. La production des céréales (le panicum, le maïs, le riz, etc.) atteint 30.000 à 40.000 tonnes par an, tandis que la capacité d'élevage est d'environ 1 million d'unités-bétail. (L'unité bétail, qui est différente du nombre de têtes de bétail, est une unité basée sur la consommation de fourrage et d'eau. Un cheval et un chameau correspondent à une unité-bétail, une vache à 0,8 U.B., un mouton et une chèvre à 0,15 U.B. et un âne à 0,5 U.B.)

La région est marquée par une pente générale faible qui descend progressivement du nord au sud. Les autres caractéristiques géologiques sont les suivantes:

- 1 On trouve deux massifs importants : l'Adrar des Iforas et le Timétrine.
- 2 Les pentes autour des massifs sont érodées.
- 3 La plaine est caractérisée par des oueds, des terrains plats et des regs.
- 4 Le long du Niger s'étend le bassin plat.

La région s'étend du 2° de longitude ouest au 4° de longitude est et du 15° au 22° de latitude nord. Dans la partie nord, le Niger coule de l'ouest au sud-est pendant environ 450 kms à l'intérieur de la région. A l'est du Niger s'étend un plateau d'environ 250 m. d'altitude qui domine la plaine. Au nord de ce plateau se dressent les massifs de l'Adrar des Iforas (dont le point culminant est à 890 m.) et à l'ouest de ceux-ci les îlots granitiques de Timétrine.

Au sud-ouest de ces massifs s'étendent des collines de 300 à 500 m. de hauteur. La plaine de 200 à 300 m. d'altitude et le désert se trouvent entre cette zone de collines et le Niger. La

penne générale rayonne à partir des massifs de l'Adrar des Iforas pour descendre vers le sud et le sud-ouest.

Le Timétrine correspond aux contreforts occidentaux de l'Adrar des Iforas. Les dômes granitiques, qui étaient recouverts par des dépôts marins et continentaux, sont maintenant ceinturés de profondes vallées à cause des érosions récentes qui ont buriné ces placages. La vallée morte de Tilemsi prend "sa source" entre l'Adrar des Iforas et le Timétrine et se poursuit plus de 300 km; sur le plateau vers le sud pour rejoindre le Niger à Gao.

Le Niger ne reçoit aucun affluent permanent pendant tout son parcours d'environ 450 km. à l'intérieur de la région. Ses affluents sont tous des vallées mortes où les eaux ruissellent après une tornade.

Il parcourt 1.700 km à l'intérieur du Mali. Il offre entre Mopti qui se trouve au centre du Mali et Tombouctou une vaste zone d'inondation de 450 km de long, de plus de 200 km de large, dont la superficie atteint 80.000 km<sup>2</sup>.

Cette zone d'inondation présente l'aspect rare d'un delta à l'intérieur du continent. Le seul affluent, le Bani, se jette dans le Niger à Mopti.

Etant donné que le Niger est peu profond entre Gao et Ansongo, la navigation est limitée en amont de Gao. En plus, la période navigable est limitée comme suit :

trajet	période navigable
Koulikoro — Tombouctou	de juillet ou d'août à décembre
Koulikoro — Gao	d'août ou de septembre à décembre
Mopti — Gao	d'août ou de septembre à janvier suivant

La période des hautes eaux se situe à Gao d'août à mars. Le niveau d'eau du Niger atteint son maximum en novembre — décembre et son minimum en mai-juin. La différence de niveau varie de 3 à 5 m. (entre ces deux extrêmes).

Aux hautes eaux, la largeur du Niger va de 5 à 10 km entre Gao et Ansongo, tandis qu'en saison sèche son étiage fait apparaître par-ci par-là, des champs cultivables à tel point que la traversée à gué devient possible.

Les affluents sont constitués principalement de 6 vallées mortes et de leurs ramifications développées sur la rive gauche du Niger. Prenant leurs "sources" dans le Timétrine, l'Adrar des Iforas ou le Hoggar au nord du pays, ces vallées fossiles courent toutes du nord au sud pour rejoindre le Niger.

Ramassant les eaux de pluie des massifs montagneux au nord, elles couvrent une vaste région, d'où leur importance sur le plan hydrologique.

Le plateau formé de dépôts alluvionnaires sur la rive gauche du Niger est appelé Haoussa tandis que la zone sud-ouest de la rive droite qui s'appelle Gourma est constituée de terrains métamorphiques très anciens (schistes et quartzites). Beaucoup de vallées mortes s'orientent sud-est nord-ouest.

## 1-2. Climat (Fig. II.2~4, Tableau II.1~2)

La 7<sup>ème</sup> région appartient "au climat sec" selon la classification de Thornthwaite. D'après la classification de Mc Guinness, elle correspond à A b 23, à savoir, "la zone du climat sec dont la saison des pluies se situe en été et qui a une température moyenne en saison froide entre 10 et 20°C et en saison chaude entre 20 et 30°C". La région est appelée aussi la zone sahélienne qui permet la végétation de certains arbustes et herbes mais dont la précipitation est insuffisante pour la production alimentaire.

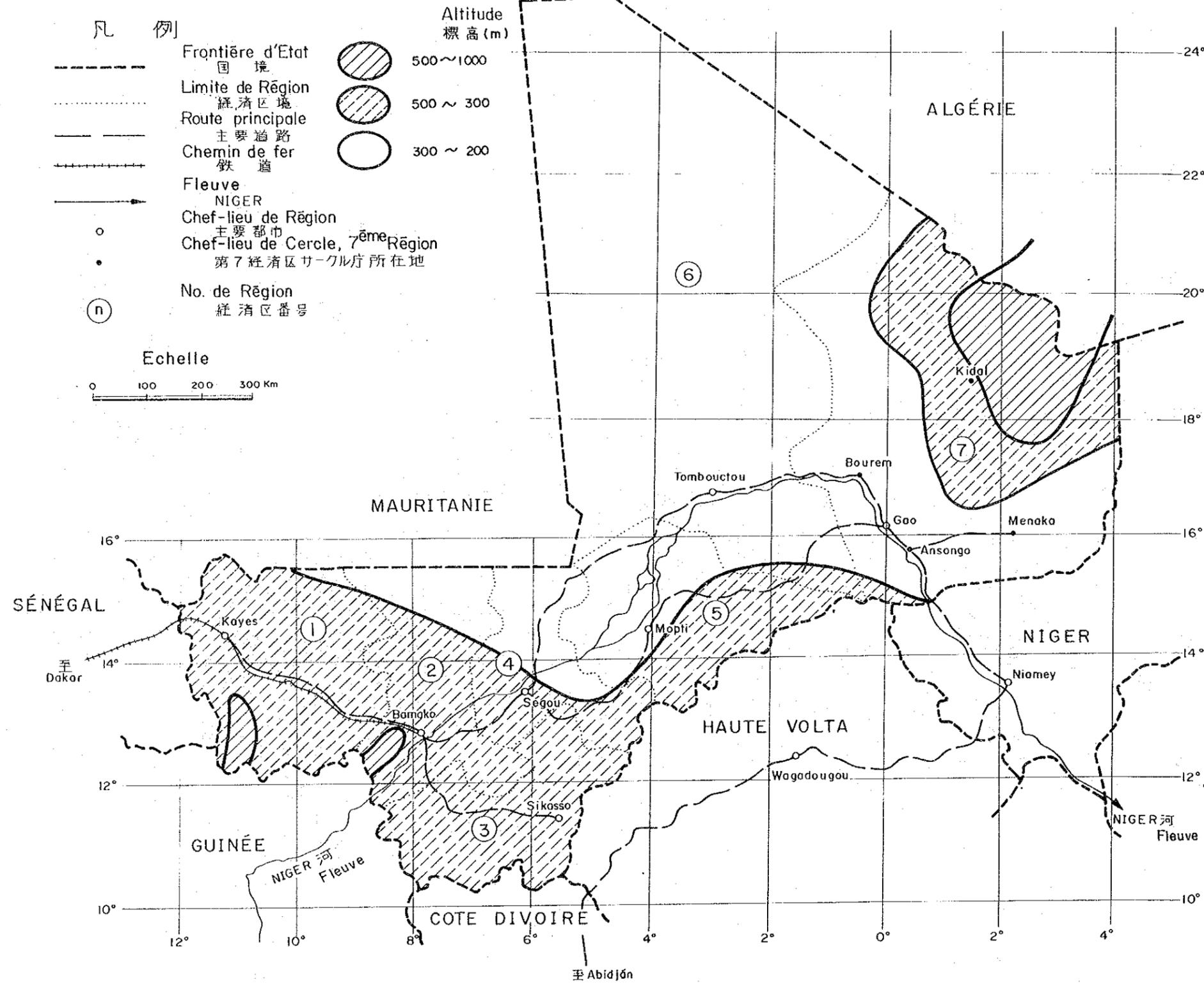
La précipitation dans cette région n'atteint que 200 à 300 mm par an aux environs de Gao et environ 25 mm par an près de la frontière algérienne. Entre ces deux parties, les zones d'isohyète s'étendent de l'est à l'ouest, ce qui signifie que la précipitation atmosphérique diminue plus au nord (Fig. II.2). La saison des pluies s'étale de mai à octobre, où la précipitation varie entre 1 et 150 mm par mois. Elle atteint 6 à 150 mm par mois entre juin et septembre et même 50 à 150 mm (par mois) en août.

L'évapotranspiration potentielle de la 7<sup>ème</sup> région varie entre 33 et 210 mm par mois et atteint 1600 à 1900 mm pour l'année. Le chiffre reste élevé, plus de 100 mm par mois, entre février et novembre (Tableaux II.1 et II.2).

La figure II.3 montre la relation entre la précipitation et l'évapotranspiration d'après les documents, et la figure II.4 représente les données météorologiques nouvellement obtenues. On y a ajouté des données de 1973, année qui avait apporté la quantité la plus faible de pluie pendant la période de sécheresse entre 1968 et 1973. On a représenté la température, la précipitation, l'évaporation l'humidité et le niveau d'eau du Niger.



Fig. II·I·I  
 Carte, République du Mali  
 マリ共和国経済区位置図



Légende  
 注;

(経済区名) Région	(区庁所在市) Chef-lieu de Région
① 第1経済区	Kayes市
② 第2 "	Bamako市(首都)
③ 第3 "	Sikasso市
④ 第4 "	Ségou市
⑤ 第5 "	Mopti市
⑥ 第6 "	Tombouctou市
⑦ 第7 "	Gao市

Fig. II.1.2  
 Carte de la 7ème Région Economique  
 マリ共和国

第7 経済管区地域図

昭和54年3月

1:2,500,000

国際協力事業団

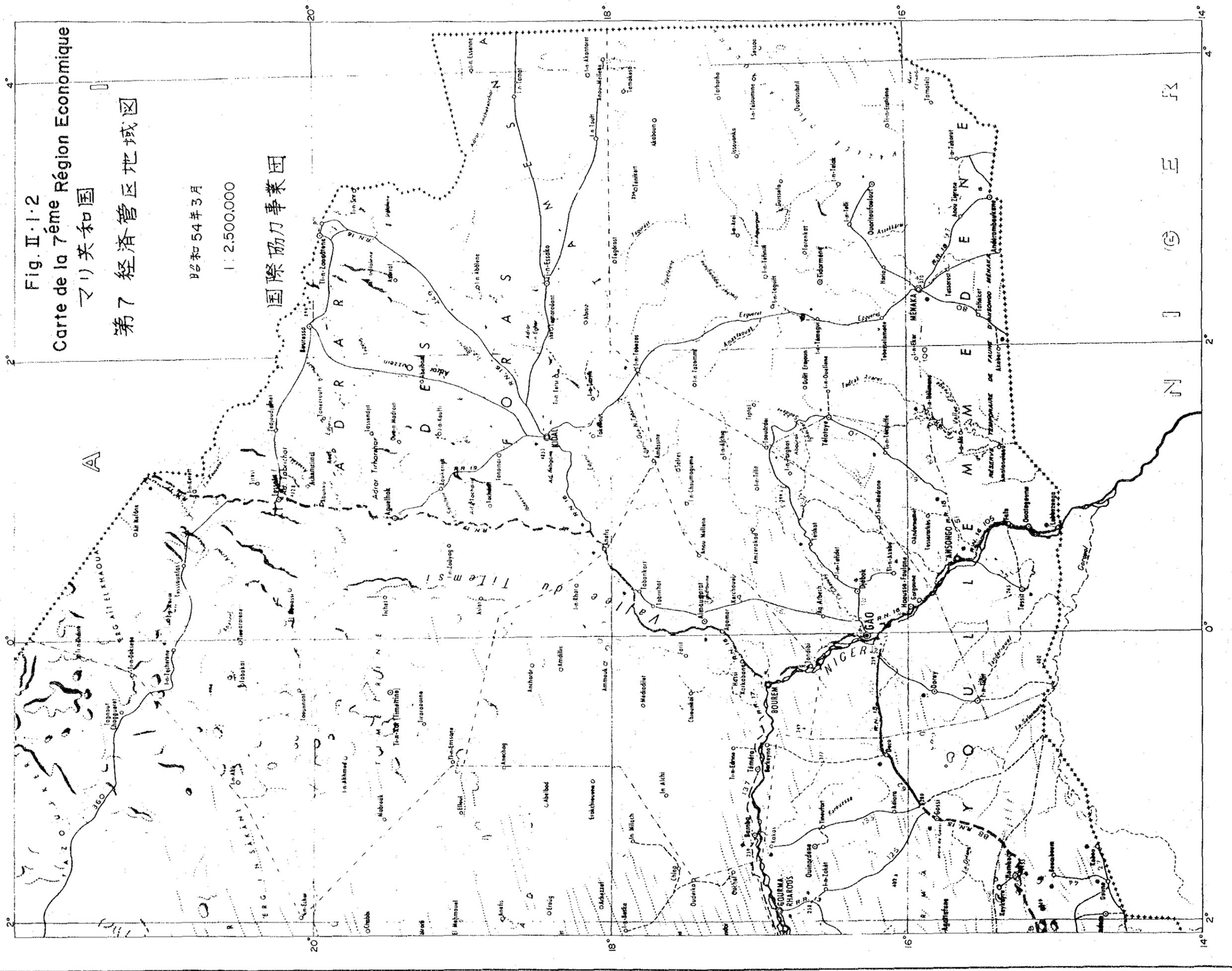


Tableau II -1 Pluviométrie mensuelle et annuelle

月間および年間の雨量

moyen de 30 ans, \* 12ans  
P: Hauteur de pluie en mm  
n: Nombre moyen de jours de pluie

Mois	Ansongo		Bourem		Gao		Kidal		Ménaka		Tessalit <sup>£*</sup>	
	P	n	P	n	P	n	P	n	P	n	P <sup>£*</sup>	n <sup>£*</sup>
Janv.	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5
Fev.	1,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0,3	0,7	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Mars	0,3	0,2	0,4	0,1	0,6	0,2	0,3	0,2	0,9	0,1	0,5	0,5
Avril	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,6	0,1	0,4	0,1	0,2	0,3
Mai	17,7	1,0	3,6	0,4	5,9	0,8	4,2	0,8	7,7	1,4	1,2	0,5
Juin	28,2	3,4	14,5	2,1	26,7	4,4	7,7	2,1	22,3	4,1	5,9	2,5
Juil.	78,6	6,8	50,9	5,3	75,0	8,7	37,7	5,9	73,2	8,3	19,6	4,5
Aout	146,3	9,6	72,4	6,7	109,6	5,5	50,6	7,0	112,1	9,9	51,0	7,5
Sept.	42,3	4,5	23,6	2,9	35,8	1,1	27,5	4,4	43,1	4,9	20,8	4,3
Oct.	8,3	1,2	3,7	0,3	5,4	1,1	0,7	0,3	4,2	0,8	0,7	0,4
Nov.	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4
Dec.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2
Annee	322,9	26,9	169,7	18,1	260,3	31,3	130,3	21,4	264,3	30,1	100,7	21,7

D'après S.N.M. Bamako

Tableau II-2 Evapotranspirations potentielles mensuelles

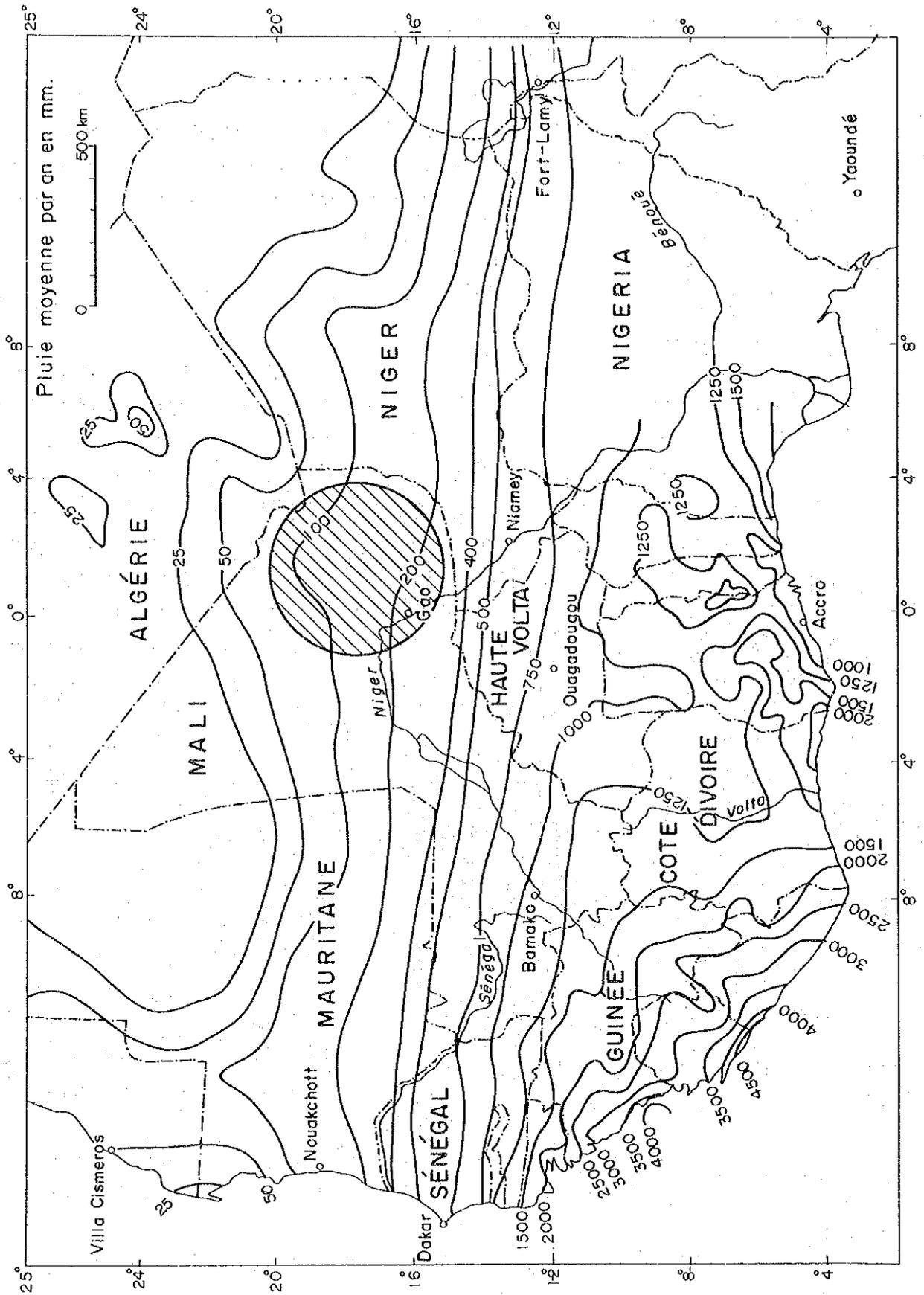
(-) moyenne de 20 ans (1941~1960)  
(+) moyenne de 17 ans (1950~1966)

en mm

Mois	Ansongo +	Gao -	Kidal -	Menaka	Tessalit
Janvier	55,2	58,2	38,4	66,0	33,2
Fevrier	122,8	95,6	68,4	104,5	57,6
Mars	160,7	157,5	142,2	163,8	123,6
Avril	180,9	180,8	173,2	184,0	166,9
Mai	201,0	202,0	198,2	201,5	200,0
Juin	192,9	190,4	200,0	198,4	204,2
Juillet	188,0	193,8	200,0	193,8	207,5
Aout	167,0	176,7	184,6	173,3	196,5
Septembre	165,0	174,5	190,2	171,4	180,5
Octobre	170,0	172,8	162,2	172,7	168,0
Novembre	142,5	142,5	167,0	147,2	111,6
Decembre	74,9	72,9	45,6	82,6	35,7
Total (mm/an)	1821	1827	1728	1859	1685

D'après Saad, 1967

Carte II-2 PLUIES ANNUELLES



## 2 - Système et état actuel de l'utilisation de l'eau

### 2-1 Points d'eau et état d'utilisation de l'eau. (Fig. II.5-6)

L'eau est nécessaire pour la vie quotidienne dans les villes, pour l'irrigation dans l'agriculture et pour les abreuvoirs dans l'élevage. En ce qui concerne l'irrigation, la plaine d'inondation du Niger a permis la création de rizières. D'autre part, un barrage a été construit dans un oued dans la banlieue de Kidal pour irriguer les champs. Il existe également des potagers de petite exploitation familiale le long du Niger.

Comme points d'eau utilisés dans la région explorée, il en existe principalement trois sortes: l'eau du Niger, les mares et l'eau souterraine.

Pour la population sédentaire, l'adduction d'eau n'est faite que pour une partie de Gao; de sorte que la plupart des habitants dépendent des puits ou du Niger. Les nomades se produisent l'eau nécessaire à leur vie et à l'élevage par les puits de l'hinterland ou les nappes d'eau.

Le Niger est évidemment utilisé par les habitants des villages riverains, mais il sert aussi à l'usage pastoral pendant la saison sèche. Quant aux nappes d'eau, il en existe deux espèces: des flaques d'eau temporaires qui se forment pendant la courte saison des pluies et qui s'assèchent dès l'arrêt de ces pluies à cause de l'évaporation et de l'infiltration dans la terre; et les mares qui conservent leur eau pendant toute l'année. On peut distinguer aussi deux sortes de puits qui exploitent chacune une différente couche aquifère: les puits ordinaires avec le revêtement en béton qui fournissent l'eau permanente et les puisards. Actuellement, l'importance de ces mares temporaires et des puisards s'est énormément accrue alors que ces points d'eau présentent un défaut fatal en raison de leur instabilité: la quantité et la durée des réserves en eau dépendent du temps. Ainsi, le plus grand problème des points d'eau dans l'hinterland consiste à prolonger la durée de la réserve d'eau aussi bien qu'à l'augmenter.

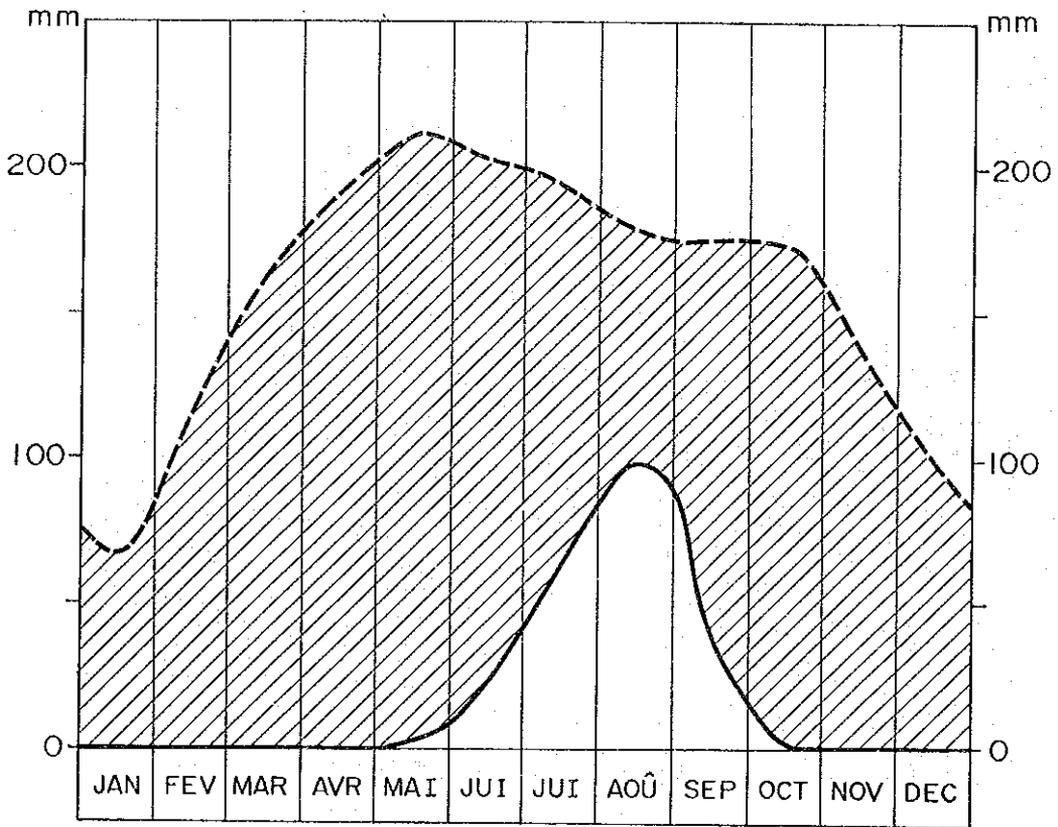
Les villages et les camps militaires de Kidal, d'Anefis, de Ménaka, etc... utilisent les puits le long de vallées mortes assez importantes, mais le débit de ces puits est assez limité. Le débit des puits dans le cercle de Kidal varie énormément au cours de l'année, puisqu'ils exploitent l'eau phréatique dans une couche alluviale peu profonde assise sur des roches de soubassement dures.

Comme le Niger change largement son débit suivant la saison humide ou sèche, le peuple sédentaire est aussi incommodé pour son utilisation: aux hautes eaux, jusqu'au mois de décembre ou de janvier, le fleuve arrive jusqu'à côté de la route ou du village, tandis qu'à partir du mois de février le fleuve ne cesse de rétrécir rapidement jusqu'à quelques km du village, ce qui oblige les habitants à parcourir une distance considérable pour aller chercher de l'eau.

En ce qui concerne la forme d'utilisation et de consommation d'eau, entre les habitants sédentaires et les nomades, il existe une grande différence, qui est certes due à la différence du mode de vie et d'activité entre les deux populations.

Les nomades ont besoin non seulement d'eau pour leur vie de tous les jours, mais aussi

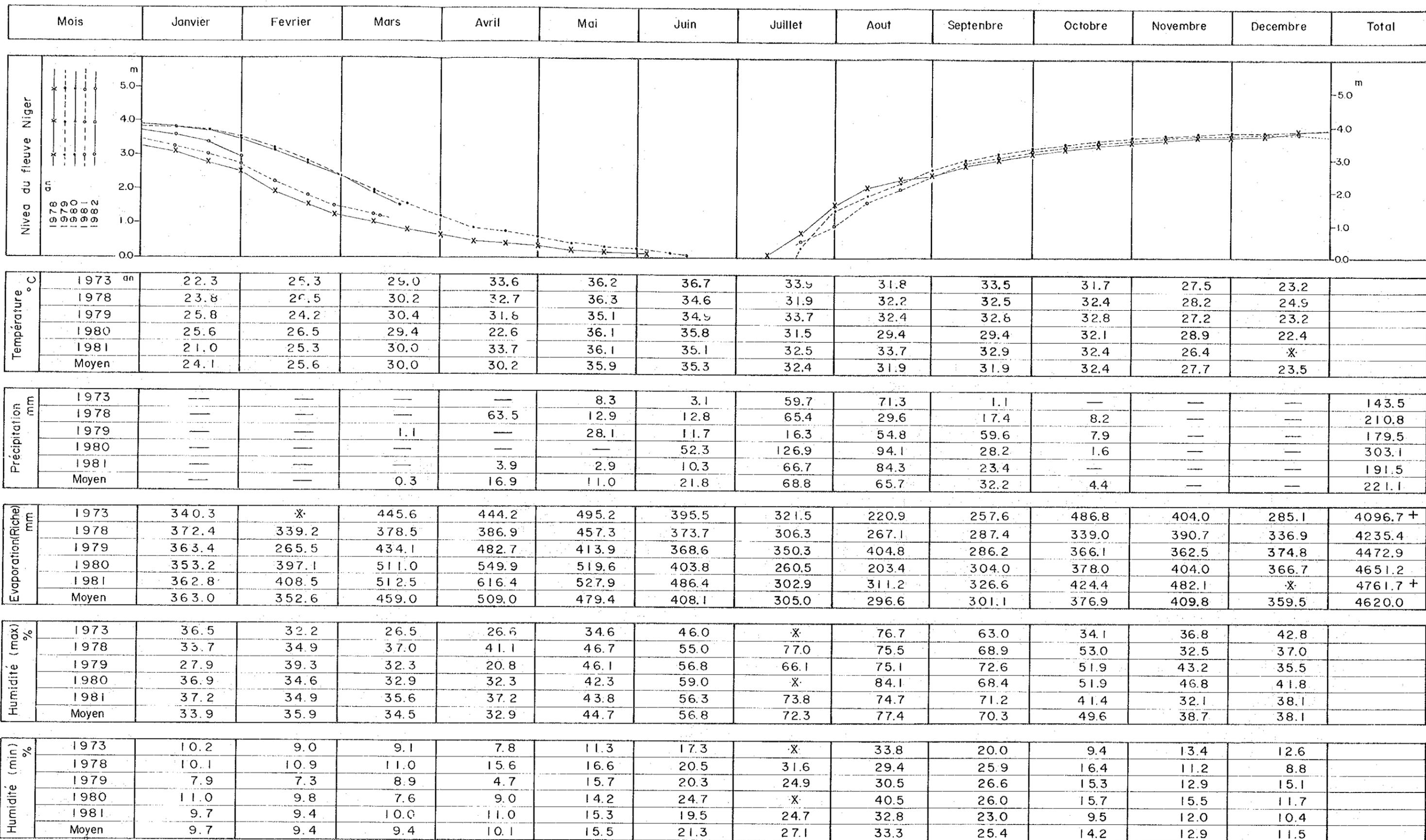
Fig. II-3 Bilan d'eau à Gao  
 がオの水収支



- - - - - Besoin d'eau mensuelle moyenne — Évapotranspiration potentielle  
 水の平均月間必要量 — 蒸発散位  
 - - - - - Période quand le besoin d'eau — Utilisation de la humidité de sol  
 dépasse la précipitation — 水の必要量が雨量を上回る部分 — 土中の湿気の消費  
 - - - - - Précipitation mensuelle moyenne  
 平均月間降水量

apre Oxford Regional Economic Atlas (AFRICA)

Fig. II-4 Niveau du fleuve Niger et la climature de Gao



X : Il n'y a pas de la inscription dan les documents  
 <Moyen> est calculé sans <X> et les valeurs des 1973 année



de points d'eau dans les pâturages pour abreuver le bétail.

Dans la prairie, la pluie de la saison humide permet aux arbrisseaux et au fourrage de pousser formant des mares temporaires et des nappes souterraines peu profondes. Les nappes souterraines se forment également le long des oueds, permettant la végétation, donc le pâturage. Les nomades utilisent les nappes d'eau ou les simples puits creusés près de ces nappes. Dès que ces puits sont asséchés, ils en creusent de nouveaux au fur et à mesure de leurs déplacements. Comme il existe des pâturages sans points d'eau et inversement des points d'eau sans pâturage, il en résulte une concentration excessive d'animaux aux pâturages avec points d'eau; ce qui occasionne des perturbations par suite de manque d'eau, ou la destruction des pâturages. C'est pourquoi il est nécessaire de construire des puits ordinaires atteignant la nappe profonde pour être assuré d'avoir de l'eau toute l'année.

Les nomades dans cette région sont plutôt des semi-nomades qui n'errent pas d'un pays à l'autre. Ils font simplement un parcours à l'intérieur de la 7<sup>ème</sup> région, cherchant l'eau, le fourrage et la terre salée, de-ci, de-là.

Nous n'avons pas d'éléments précis sur l'itinéraire et le tracé de leur parcours, mais l'aspect général semble être le suivant:

Dès la saison des pluies de juin-août, les nomades se dispersent en direction des endroits qui gardent encore du fourrage et continuent leur parcours en se dirigeant vers les pâturages riches et les terrains salés qui se trouvent le long de 17° latitude nord. C'est alors qu'une certaine concentration du bétail commence.

Après la saison des pluies en octobre et novembre, ils cherchent des flaques d'eau ou creusent de simples puits près de ces nappes d'eau. C'est la réorganisation pour la deuxième concentration qui commence.

Entre décembre et février suivants, en saison fraîche, les animaux n'ont pas besoin d'abreuvoirs importants, de sorte que leur déplacement est peu considérable.

Pendant la saison sèche et chaude, entre mars et mai, le besoin d'eau atteint son maximum. La concentration massive du bétail vers les puits permanents ou les points d'eau comme le Niger s'effectue dès lors.

La figure 11.5 représente la distribution du bétail pour la première moitié de la saison des pluies, période calme. La figure 11.6 indique l'état de concentration vers les points d'eau encore non-épuisés pour la saison sèche et chaude.

Reste un problème politique: comme chaque tribu ou chaque groupe agit collectivement, chacun possède sa propre route et sa position de base; ce qui signifie que la terre n'est pas à la libre disposition de tout le monde. Etant donnée cette inégalité entre les peuples, des facteurs politiques interviennent dans l'établissement des plans d'entretien et d'exploitation des points d'eau.

Actuellement, l'estimation de la consommation d'eau est la suivante:

Consommation de l'eau		
Dans la ville .....	Adduction individuelle	70 l/jour
	Eau courante publique	25 l/jour
Pour les nomades .....	Élevage	3 l/jour
Pour les sédentaires .....		10 l/jour
Pour les animaux .....	Chameaux	40 l/jour .... 1,0 UBT
	Chevaux	40 l/jour .... 1,0 UBT
	Boeufs	30 l/jour .... 0,8 UBT
	Ânes	20 l/jour .... 0,5 UBT
	Moutons et chèvres	6 l/jour .... 0,15 UBT

Enfin, les points d'eau actuels sont tous dépendants des conditions naturelles météorologiques. Lors de la grande sécheresse de 1972–1973, une grande partie du bétail a dû fuir vers les pays limitrophes faute d'eau et de fourrage. Selon les témoignages, les mares et les puisards peu profonds tarissaient alors que le plupart des puits ordinaires continuaient à fournir de l'eau.

## 2-2. Classement des puits (Fig. II-7)

### (1) Puisards

Il s'agit de puits très peu profonds et creusés à la main dont le diamètre est entre 0,8 et 1,2 m. Dès qu'ils sont épuisés, on les abandonne pour aller en quête d'autres puits. Ces puits tirent leur eau de couches alluviales dans le cercle de Kidal ou bien sont creusés dans des plaines pourvues de nappes d'eau.

### (2) Puits

Il s'agit des puits creusés à la main et sans revêtement de béton. Leur diamètre varie entre 0,8 et 1,8 m et leur profondeur atteint 20 m.

### 3. Puits administrés-ordinaires

C'est la Direction Nationale de l'Opération Puits qui les construit. Ces puits sont creusés à la main et revêtus de béton. Leur diamètre est entre 1,2 et 2,0 m et la profondeur dépasse 80 m, pour certains puits.

### (4) Forages (Puits forés)

Ils sont forés par des foreuses. On y installe une pompe à main ou à pied, une pompe émergée, un air-lift, un moulin à vent ou encore une pompe à piston pour pomper l'eau.

### (5) Puits-citernes (P-C) (Fig. II.7)

On creuse un puits à environ 50 cm d'un puits foré et l'on perce un trou de communication entre ces deux puits à une certaine profondeur. La profondeur varie entre 70 et 150 m pour le forage et entre 50 et 70 m pour le puits qui lui est juxtaposé. L'eau qui monte dans le puits

foré se maintient au niveau statique. Elle passe au puits-citerne (puits qui sert de réserve) à travers le trou de communication percé 5 à 10 m en-dessous de ce niveau d'eau. On la puise au moyen de poulies et de puisettes en peau munies de cordes, à la façon des nomades.

Les nomades choisissent l'endroit à creuser pour faire un puisard en fonction de leur déplacement, tandis que les puits sont construits par le gouvernement dans les villes ou dans les endroits où la nappe n'est pas très profonde.

La profondeur d'un puits ordinaire ne peut dépasser actuellement 60 m. Il faut recourir au forage pour atteindre des nappes aquifères plus profondes. Dans l'hinterland, le puits-citerne est considéré comme le plus apte à servir le pâturage.

Selon l'Expertise de 45 forages dans la région nord-est de Gao de 1977, E.L.A.F. réalisa 19 puits forés avant 1963 pour la pâturage dans l'hinterland et installa une pompe à moulin à vent sur 11 de ces 19 forages, une pome à moteur sur deux d'entre eux qui restaient. Entre 1963 et 1968, 24 forages furent effectués avec l'aide de l'U.R.S.S. et de la Hongrie; 9 d'entre eux furent équipés d'une pompe à piston. Jusqu'en 1968, 50 puits forés furent réalisés au total et la capacité d'exploitation de l'eau atteignit 9.400 m<sup>3</sup> par jour. Cependant, les puits pourvus de pompes à moulin à vent et à piston sont actuellement tous hors d'usage. Seuls, trois puits-citernes fonctionnent encore. "La région nord-est du Mali présente, conclut l'Expertise de 1977, des ressources appréciables en eaux souterraines, mais la profondeur des nappes aquifères impose le plus souvent d'avoir recours aux forages. L'équipement des forages avec puits citernes. . . . est certainement actuellement la solution la mieux adaptée à cette région, en raison de l'éloignement et des difficultés d'entretien."

### 2-3 Résultat des enquêtes d'après les travaux préliminaires. (Tableau II-3)

Le résultat des enquêtes est résumé dans le tableau II.3. Ces enquêtes ont été effectuées sur 20 puits existants en 17 endroits différents dans les cercles de Gao, d'Ansongo et de Kidal. On a rassemblé des données et documents concernant le type et l'entretien de ces puits, l'hydrogéologie, etc...

Problèmes:

#### (1) Qualité de l'eau

La pollution de l'eau souterraine n'est pas due à la pénétration d'excréments et d'urine d'animaux à travers les couches de terre aux alentours des puits, mais elle est due, dans la plupart des cas, à la façon de puiser l'eau: la boue ou la terre sur lesquelles le bétail a piétiné salissent les cordes ou les puisettes en peau qui pénètrent dans le puits. Pourtant, on n'a pas encore constaté de cas où l'eau polluée du puits causait ou propageait une maladie. On dit que la contagion a lieu principalement par l'intermédiaire du foin souillé d'excréments, d'urine, ou par les bestioles. Toutefois, comme quelques cas d'intoxication par les phosphates ou les sulfures ont été signalés à certains endroits, il faudra prévenir cette nuisance due à la matière minérale.

## (2) Equipement de pompage

L'ancienneté des installations explique en partie le fait que la plupart des puits soient hors d'usage par suite d'ensablement, ou pannes des machines, etc.. Mais, la raison principale de cet état de choses vient de ce que les puits n'ont jamais été désensablés et que l'entretien et l'outillage des puits forés était rendus insuffisants par suite de manque de pièces de rechange. Il faudrait examiner en priorité, pour y remédier, les mesures à prendre lors des futurs travaux principaux.

## (3) Ensablement des forages

Le sable entrant dans les forages bouche les crépines, car la plupart des couches aquifères constituées de sable très fin sont fragiles. Il faudrait donc en tenir compte en faisant le plan de cette partie du forages et faire un choix de crépines mieux adaptées.

### 2-4 Répartition et situation des puits existants (Tableau II.4-5)

On a indiqué au tableau II.4 le nombre des puits dans la 7<sup>ème</sup> région en 1974 et au tableau II.5 le nombre des puits classés selon l'année de construction.

Il existe actuellement plus de 185 puits comme le montrent les tableaux. Cinq ou six puits sont construits chaque année. On peut trouver l'eau dans 70 % des puits pendant toute l'année. Les puits sont regroupés ou concentrés dans une partie de la région de sorte qu'une répartition équitable des puits n'existe pas dans les pâturages entiers.

Jusqu'à présent ont été construits 50 puits forés, dont trois seulement fonctionnent à l'heure actuelle. On pourra remettre en valeur 12 d'entre eux si on les transforme en P-C

Il n'est pas certain que les puits cités dans les tableaux soient tous encore prêts à fonctionner. D'après le plan malien de 1979, la réfection des puits existants est déjà demandée à 54 endroits différents dans les seuls cercles de Gao, d'Ansongo et de Kidal. Cela montre que la majorité des puits ne sont pas exploités à fond de leurs performance et capacité. Selon Mr. Diallo, directeur régional à Gao de l'Opération Puits, la plupart de ces puits ont été construits avant la fondation de la République du Mali, c'est-à-dire qu'ils sont vieux de plus de vingt ans. Leur incapacité est due, en grande partie, à l'ensablement et à l'éboulement, résultats de l'abandon des travaux de désensablement et d'entretien pendant longtemps.

L'ensablement est causé, continue le rapport du directeur régional, par l'amoncellement du sable venant de la surface de la terre, d'une part, et, d'autre part, par la sédimentation de la vase entraînée par la nappe d'eau.

Une des raisons pour lesquelles les puits exceptés ceux dans le village sont abandonnés pendant longtemps est qu'aucun système efficace n'existe pour entretenir les puits destinés aux nomades et au bétail.

Quoi qu'il en soit, c'est principalement le manque de fonds qui empêche la réparation et le nettoyage des puits. En fin de compte, il est donc urgent de rassembler les fonds nécessaires.

Si l'on examine le détail des puits dans l'Annuaire préfectoral de Gao (1974) qui est la source

des tableaux II.4 et II.5 précédents, on peut dire comme suit:

La proportion entre les puits profonds (plus de 40 m) et les puits peu profonds (moins de 40 m) est d'environ 4 contre 6. A peu près 30 % des puits profonds se trouvent dans les villages et sont destinés aux habitants.

Si l'on compare le nombre des puits entre les cercles de Gao, d'Ansongo et de Kidal (région à explorer par cette mission), d'une part, et les cercles de Bourem et de Menaka, d'autre part, on trouve une proportion presque égale pour les puits profonds, tandis que celle des puits peu profonds est de 85 contre 15. Les cercles de Kidal et d'Ansongo sont riches en puits peu profonds; par contre, dans le cercle de Bourem, la grande majorité consiste en puits profonds. Dans le cercle de Gao, le nombre est à peu près égal entre ces deux types de puits, ce qui signifie que les habitants sédentaires sont nombreux.

Quant au nombre de mares, il est environ deux fois plus grand que celui des puits dans les cercles de Bourem et d'Ansongo, alors que dans le cercle de Gao, ces deux nombres sont presque les mêmes.

Toujours selon l'Annuaire préfectoral de Gao, l'ordre en décroissance du nombre de bétail est le suivant: Bourem, Ansongo, Menaka, Gao et Kidal. Cependant, il n'existe pas une différence sensible entre les cercles pour le nombre de bétail sauf avec le cercle de Kidal. On peut donc en définitive considérer la distribution comme presque uniforme.

## 2-5 Structure des besoins en eau (Fig. II.8)

Le problème de l'eau concerne uniquement les habitants sédentaires, les nomades et le bétail. En effet, on puise du Niger l'eau nécessaire à l'agriculture et on n'en a presque pas besoin pour l'industrie.

Comme la forme actuelle d'utilisation de l'eau est déjà décrite à la section précédente, nous résumons ici le résultat d'examen numériques sur la structure des besoins en eau.

En ce qui concerne la consommation pour la vie quotidienne des sédentaires, elle atteint 70 l/jour-personne par l'adduction individuelle à Gao et 25 l/jour-personne par l'adduction publique. Quant au puits, la consommation est environ de 10 l/jour-personne pour les sédentaires et de 3 l/jour-personne pour les nomades. On peut l'estimer en moyenne à 10 l/jour-personne. Effectivement, la dépense totale pour 370.000 habitants dans la 7<sup>ème</sup> région, atteint à peu près 3.700 m<sup>3</sup>/jour en 1967.

A propos de l'eau destinée à l'élevage du bétail des nomades, il ne suffit pas d'obtenir de l'eau, mais il faut aussi tenir compte de la distance entre le pâturage et le point d'eau qui est fondamentale. Car, après avoir mangé, le bétail cherche à s'abreuver. Après s'être abreuvé, il se déplace en quête d'herbe et ainsi de suite. C'est pourquoi un éloignement trop important entre les points d'eau surmènerait le bétail; il est donc nuisible à l'élevage; tandis que si les points d'eau sont trop près les uns des autres, ce n'est pas pratique non plus. En réalité, on trouve

partout une mauvaise répartition, déséquilibrée: il existe des pâturages non utilisés faute de points d'eau alors que certaines pâtures pourvues de rares points d'eau sont dévastées par une trop forte concentration du bétail.

Il est aussi nécessaire d'établir un plan pour aménager des points d'eau en fonction du comportement de chaque espèce d'animaux. Le boeuf, par exemple, ne s'abreuve qu'une fois tous les deux jours quels que soient la saison et le temps, tandis que le chameau ne boit qu'une fois tous les cinq jours. On a avancé, par expérience, le chiffre de 10 à 15 km comme distance moyenne de déplacement par jour pour les animaux, sauf les chameaux. C'est pourquoi la limite de 20 ou 30 km ne doit pas être dépassée entre deux points d'eau.

Quant au fourrage, il constitue évidemment la condition primordiale sans laquelle tout pâturage est impossible. Selon l'estimation expérimentale, il faut 10 ha pour chaque U.B.T. dans les zones sahéniennes tandis que le chiffre atteint 25 ha dans les zones pré-sahéniennes qui se situent au nord.

L'isohyète de 100 mm/an indique à peu près la limite septentrionale des pâturages sahéniens dont la végétation est différente de celle des pâturages pré-sahariens. Dans cette zone sahénienne les herbes et les arbustes sont plus denses et répartis de façon plus uniforme. On y trouve également des flaques d'eau et des prairies aquatiques qui se forment à la saison des pluies. Ainsi, si l'on construit des puits aux endroits appropriés dans ces pâturages, il sera possible de profiter de toutes les surfaces aptes à l'élevage. (Il sera aussi nécessaire d'exploiter l'eau superficielle par l'agrandissement des mares et des flaques ou par la construction de nouveaux réservoirs.)

Si l'on pouvait profiter de tous les pâturages dans la 7<sup>ème</sup> région, ils pourraient entretenir 1.100.000 U.B.T. qui auraient besoin de  $1.100.000 \text{ U.B.T.} \times 0,04 \text{ m}^3/\text{jour U.B.T d'eau}$ , soit  $44.000 \text{ m}^3/\text{jour}$ .

Ce chiffre atteindra  $50.000 \text{ m}^3/\text{jour}$ , soit  $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  si l'on tient compte de l'augmentation de la population et de la consommation.

## **2-6. Liste des emplacements proposés par le Mali pour l'exploitation des eaux souterraines**

La République du Mali a proposé la liste suivante pour les emplacements destinés à l'exploitation des eaux souterraines (voir Fig. II.9) au début des travaux de la mission, en demandant que soit réalisé ce plan selon l'ordre successif des puits.

Les principaux points sont les suivants:

1. Cercles où la construction de nouveaux puits est demandée			
Cercle	Pour les villages	Pour le pâturage	Total
Gao	17	24	41
Ansongo	6	10	16
Kidal	6	9	15
Total	29	43	72
2. Cercles où l'amélioration des puits existants est demandée			
Cercle	Pour les villages	Pour le pâturage	Total
Gao	1	6	7
Ansongo	6	9	15
Kidal	11	11	22
Total	18	36	54
Total général	47	79	126

On a déjà cité les cercles importants qui ont besoin d'urgence d'une exploitation des eaux souterraines en ce moment. Il existe d'autres cercles qui en ont besoin ou qui souhaitent avoir plus de puits. Bien que la modification de l'ordre de priorité soit probable lors de l'exécution, l'importance du nombre des puits semble bien déterminée étant donné que la liste est établie sur la demande de chaque endroit même.

Cependant, il ne s'agit ici que des trois cercles de Gao, d'Ansongo et de Kidal, auxquels s'ajoutent les cercles de Menaka et de Bourem pour constituer la 7<sup>ème</sup> région économique. Ces deux derniers semblent égaler les trois premiers sur le plan de besoin d'eau, si l'on compare la statistique du nombre de la population nomade et des animaux. Ainsi, le nombre de puits nécessaires dans toute la 7<sup>ème</sup> région économique doit atteindre à peu près 250, soit deux fois plus que le chiffre total donné dans la liste précédente.



Tableau II.3 Enquêtes sur l'utilisation des puits existants et la forme d'exploitation de l'eau

Numéro de puits	Date de l'enquête 3)	Nom du cercle	Nom du village	Latitude	Longitude	Altitude	Type	Année de la construction	Diamètre 1)	Utilisation	Lors de la construction			Actuellement			Situation au moment de la sécheresse	Etat d'ensablement	Mesures						
											Profondeur (m)	Niveau d'eau (m)	Débit	Profondeur (m)	Niveau d'eau (m)	Débit			Heure	Température atmosphérique	Température de l'eau	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	EC (µs/m)
1	13/2	GAO	Argabèche	16°36'55"N	0°07'27"E	262 (m)	Puits foré	1956	6"	Non	97,70	40,40					Un peu ensablé								
2	"	"	In-Aoukert	16°49'00"N	0°09'00"E	288	P-C 2)	1962	6"	Oui	75,00	50,00		54,00	50 l/min	Pourvu d'eau		8,00	26°C	32°C	7,5	0,5	0,02	1180	
3	"	"	In-Fardan	16°42'00"N	0°07'40"E	270	P-C	1959	6"	Oui	46,94		50 l/min	42,47	50 l/min	Pourvu d'eau	230 m	10,00	32,8°C	31,5°C	7,5	1,5	0,1	1080	
4	"	"	Hamakouladji	16°37'00"N	0°05'10"W	270	Puisard	1958	1,8m	Non				66,00											
5A	14/2	"	Djebock	16°20'00"N	0°18'00"E	280	Puits ordinaire			En construction	51,00														
B	"	"	"	"	"	"	Puits foré			Non															
C	"	"	"	"	"	"	Puits foré	1956	6"	Non	89,16	57,50	2,2 l/s												
D	"	"	"	"	"	"	Puits ordinaire	1952	2m	Oui	74,00	59,00				Pourvu d'eau	Ensablé	8,15	20,5°C	31°C	7,5			1100	
6	"	"	Takalafat	16°15'00"N	0°24'00"E		Puits ordinaire		2m	Oui				54,00											0
7A	15/2	"	Gargouna	15°56'00"N	0°09'00"E	253	Puits ordinaire	1959	2m	Non	14,50	12,20	2 t/h	19,60				7,00	18°C	27°C	7,0	5,0	0,15	500	
B	"	"	"	"	"	"	Puits ordinaire	1965	1,2m	Non				11,00				8,00	21°C	27°C	7,0	1,0	nul	2000	
8	16/2	ANSONGO	Tin-Tafagat	15°42'00"N	0°42'50"E	260	Réservoir			Oui						Pourvu d'eau		10,00	26°C	15,5°C	8,8	2,0	nul	180	
9	"	"	Tangaragabout	15°47'00"N	0°59'00"E	270	Puits ordinaire	1952~1959	1,8m	Oui	65,60	50,30		50,85		Pourvu d'eau	Ensablé	11,12	29°C		7,5	0,5	0,02	580	
10	"	"	(UNDP) puits	15°51'00"N	1°21'00"E	308	Puits foré	1979	6"	Oui					7 m <sup>3</sup> /h			14,30	32,5°C	32,5°C	8,0	0,01	nul	1120	
11	"	"	In-De'limane	15°52'00"N	1°30'00"E	278	Réservoir			Oui						Pourvu d'eau		15,10	31°C	21°C	7,5	1,0	0,05	130	
12A	20/2	KIDAL	Irrakadene	18°10'50"N	1°40'00"E		Puisard		1,5m	Interrompu	6,00														
12B	"	"	"	"	"		Puisard	1978	1,2m	Interrompu	40,00														
13	21/2	"	Tagararat	18°36'00"N	1°22'50"E	450	Puisard		1,2m	Oui				6,68	5,75	Pourvu d'eau									
14	"	"	In-Tedéinit	18°36'50"N	1°22'00"E	432	Puits ordinaire		1,75m	Oui				17,00	15,75	Pourvu d'eau	Ensablé	7,50	17,6°C	27,5°C	7,0	0,5	0,3	540	
15	"	"	Essouk	18°47'50"N	1°11'50"E		Puisard		1,2m	Oui				10,20	9,80	Pourvu d'eau		11,50	29°C	27,5°C	7,5	0,5	0,05	440	
16	22/2	"	(PNC) puits	18°28'00"N	1°23'00"E		Puisard	1978	1,5m	Oui	9,40			8,42	7,65		Ensablé	8,00	20°C	27,5°C	7,0	0,5	0,02	280	
17	"	"	Kidalcity	18°26'00"N	1°24'50"E		Puisard		0,8m	Oui				16,25	14,90	Pourvu d'eau		11,40	27°C	29,5°C	7,0	nul	0,05	130	

Notes: 1) Il s'agit du diamètre intérieur du tubage pour le puits foré, du diamètre intérieur du revêtement pour le puits ordinaire et du diamètre intérieur du puits foré pour le P-C.  
 2) Puits-citerne  
 3) 1979



Tableau II.4 Nombre de puits et de mares dans chaque cercle

(1974)

Cercle	Arrondissement	Puits à revêtement en béton	Puisards	Total	Pourvus d'eau toute l'année	Taris à la saison sèche	Nombre de Mares
Bourem	Almoustrat	5	3	8	8	0	8
	Bamba	1	7	8	6	2	4
	Central	8	0	8	7	1	6
	Téméra	5	0	5	4	1	24
	Total	19	10	29	25	4	42
Gao	Commune	16	0	16	9	7	0
	Central	12	0	12	6	6	—
	Djebock	25	0	25	17	8	25
	Haoussa-Foulane	5	0	5	4	1	—
	N'tillit	3	0	3	2	1	28
	Total	61	0	61	38	23	>53
Ansongo	Central	16	0	16	11	5	14
	Ouatagouna	7	0	7	1	6	5
	Talataye	12	0	12	8	4	19
	Tessit	2	0	2	0	2	12
	Total	37	0	37	20	17	50
Ménaka	Anderamboukane	6	3	9	7	2	2
	Central	9	2	11	11	0	4
	Tidermene	1	0	1	1	0	3
	Waritefoulout	—	—	—	—	—	—
	Total	>16	>5	>21	>19	>2	>9
Kidal	Aguel Hoc	5	3	8	8	0	—
	Borissa	2	1	3	2	1	—
	Central	—	—	—	—	—	—
	Tessalit	3	1	4	4	0	—
	Tinessako	2	2	4	3	1	—
	Tin-Kar	—	—	—	—	—	—
	Tinzawatene	2	0	2	2	0	—
	Total	>14	>7	>21	>19	>2	—
Région	Total général	>147	>22	>169	>121	>48	>154

Tableau II.5 Nombre de constructions de puits par année

(1974)

Cercle	Avant 1960			1960-1969			Après 1969			Autres			Total général
	En béton	Sans revêtement	Total	En béton	Sans revêtement	Total	En béton	Sans revêtement	Total	En béton	Sans revêtement	Total	
Bourem	6	3	9	10	0	10	0	0	0	3	7	10	29
Gao	10	0	10	8	0	8	1	0	1	42	0	42	61
Ansongo	13	0	13	23	0	23	0	0	0	1	0	1	37
Ménaka	2	2	4	15	2	17	—	—	—	—	—	—	>21
Kidal	14	7	21	3	1	4	—	—	—	—	—	12	>37
Région	45	12	57	59	3	62	>1	>0	>1	>46	>7	>65	>185
%			31			34			—			35	100



Tableau II.3.2

Numéro de puits	Date de l'enquête	Végétation	Caractéristiques géologiques des alentours	Nombre de maisons dans le village	Nature du tubage ou du revêtement	Prospection électrique	Observations
1	13/2	Arbustes dispersés très peu denses	Désert		Tubage en acier inoxydable		Achévé en 1956, le puits fonctionnait, mais l'équipement du pompage reste détraqué depuis 1965.
2	"	Sans végétation à quelques centaines de mètres autour	Dunes	Avec école	"		Le réservoir a 2,5 m de diamètre et 75 m de profondeur. La couche aquifère se trouve entre 61 et 72 m.
3	"		Plaine		"		Le réservoir a 1,8 m de diamètre et avait 48,7 m de profondeur en 1959 et 51,0 m en 1977. Le dallage n'est pas fait autour du puits.
4	"		"	Plus de 110			Ce puisard creusé à la rive gauche du Niger exploite la nappe d'eau dans le continental terminal. Il n'est pas utilisé actuellement.
5A	14/2	Sans végétation à 500 m autour	"	Une dizaine	Revêtement en béton	X	Actuellement en construction.
5B	"		"	"	Tubage en acier inoxydable	X	Une pompe à piston avec l'engrenage d'angles pour puits profond avait été installé. Il n'est plus en usage actuellement.
5C	"		"	"		X	Les crépines étaient installées entre 78,8 et 87,2 m de profondeur et une pompe à piston à moulin à vent était fixée. Actuellement, le puits n'est plus utilisé.
5D	"		"	"	Revêtement en béton	X	Ce puits exploite l'eau du continental terminal. Il était ensablé, mais il a été désensablé en 1978.
6	"	Sans végétation à 300 m autour	"		"		Un réservoir de 0,4 m x 2,0 m se trouve au bout de chaque petit fossé qui rayonne du puits. Il est destiné au bétail.
7A	15/2	Herbes, arbustes		420	"		Le puits était achevé en 1959; mais comme depuis le vent l'a ensablé, il a été mis hors d'usage au bout de deux ou trois ans.
7B	"	Avec végétation		"	"		Achévé en 1962, il a été mis hors d'usage deux ou trois ans plus tard à cause de l'ensablement provoqué par le vent.
8	16/2						Bien que l'eau s'y trouve en général de juillet à mars ou avril, on n'en a pas vu l'année précédente. Cette eau sert aussi d'eau potable. La dimension du réservoir est de 1.000 m x 200 m.
9	"	Avec végétation	Plaine		Revêtement en béton		Le puits s'est vidé après deux heures de pompage. L'eau y est revenue au bout de deux heures, ce qui a permis le repompage.
10	"	"			Tubage en acier inoxydable		On y a installé une pompe à moteur immergée, qui donne actuellement un débit de 7 m <sup>3</sup> /h (25 m <sup>3</sup> /h au maximum).
11	"	"					On y trouve de l'eau de juin-juillet (saison des pluies) à octobre ou décembre en général ou même, si les conditions sont favorables, jusqu'en avril. Sa dimension: 500 m x 200 m.
12A	20/2		Plaine			X	Il a été entrepris sur l'ordre de MANABOUTS. On a creusé 6 m, mais on a été obligé de l'interrompre, étant empêché par la présence d'une roche dure.
12B	"		"			X	Il a été entrepris par les notables de Kidal. Après avoir creusé 40 m, on a dû interrompre le travail en raison de l'insuffisance de l'eau captée.
13	21/2		Oued				Il est creusé au milieu d'un oued large de 500 m.
14	"	Avec végétation	"		Revêtement en béton	X	On a creusé jusqu'à 25 m en 1976, mais le puits s'est ensablé de 8 m en l'espace de trois ans, ce qui fait qu'il n'a que 17,0 m de profondeur actuellement.
15	"		"				Il se trouve au milieu d'un oued large de 300 m.
16	22/2	Avec végétation	"			X	Le PNC a refait en 1978 un puisard de 0,5 – 0,6 m de diamètre que les nomades avaient abandonné. On y a constaté 1,0 m d'ensablement en un an.
17	"					X	Il existe à 10 m du puisard un oued large de 100 m.



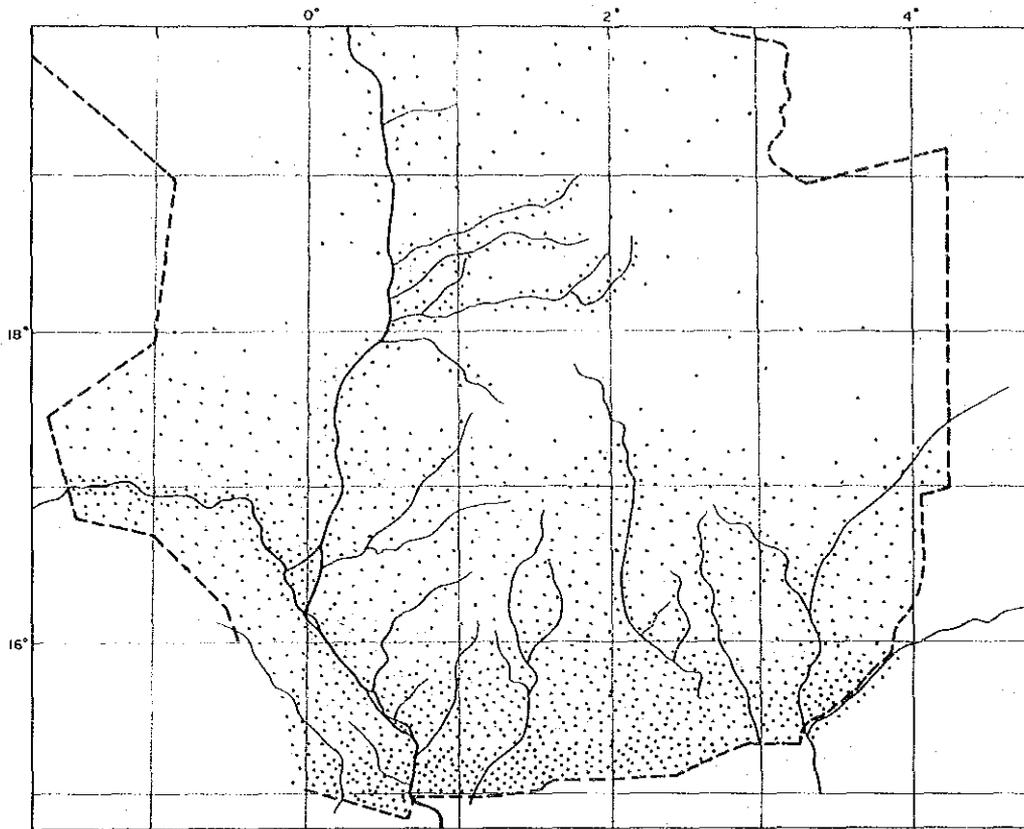


Fig II-5 Carte de la densité des pâturages

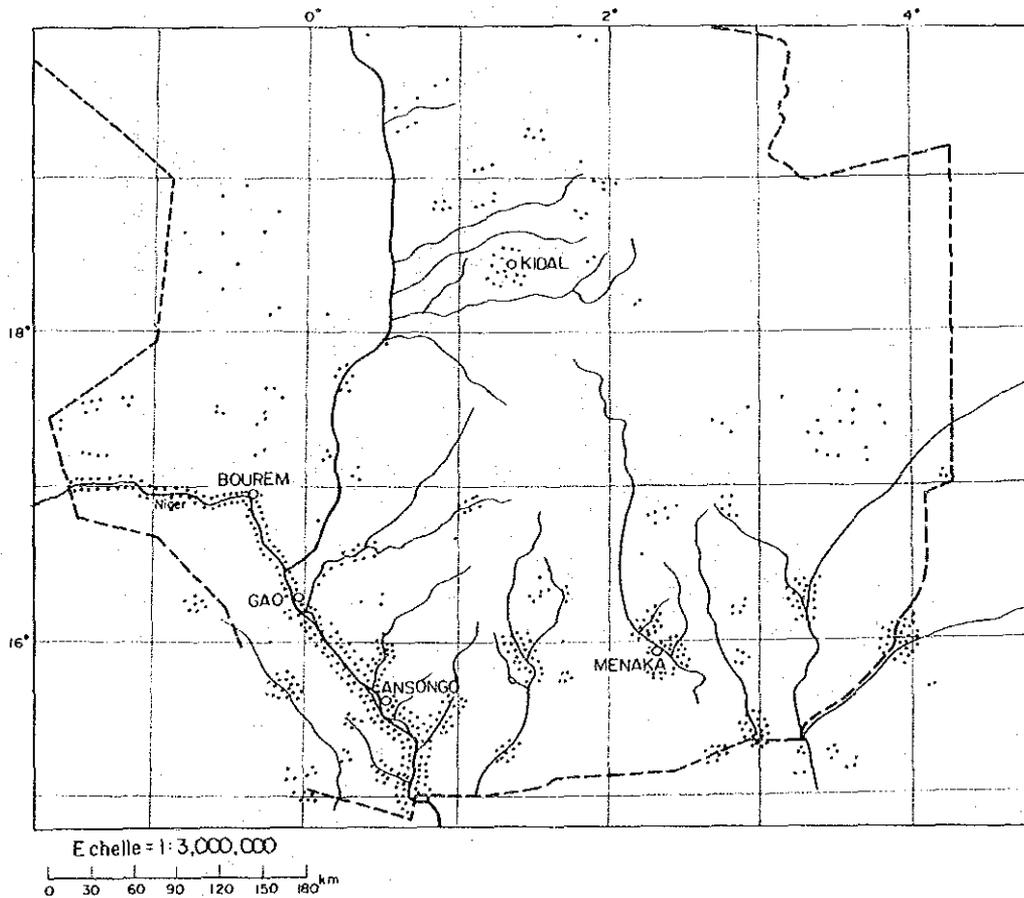
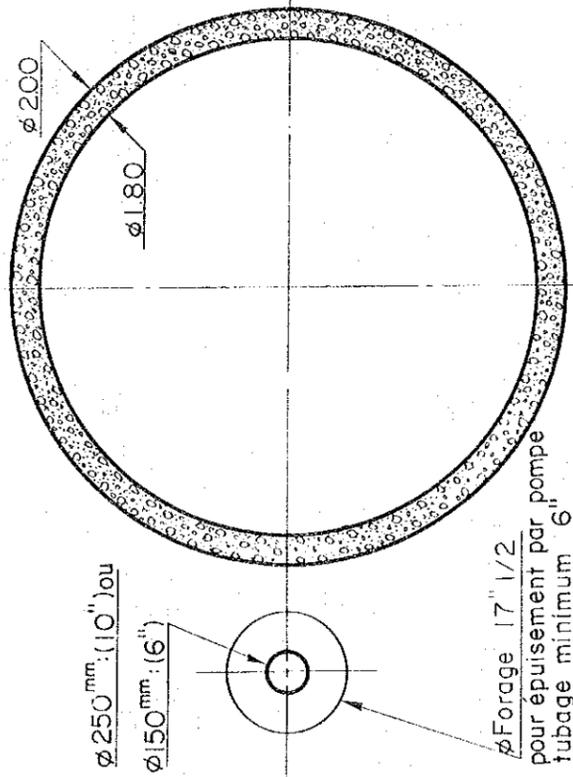
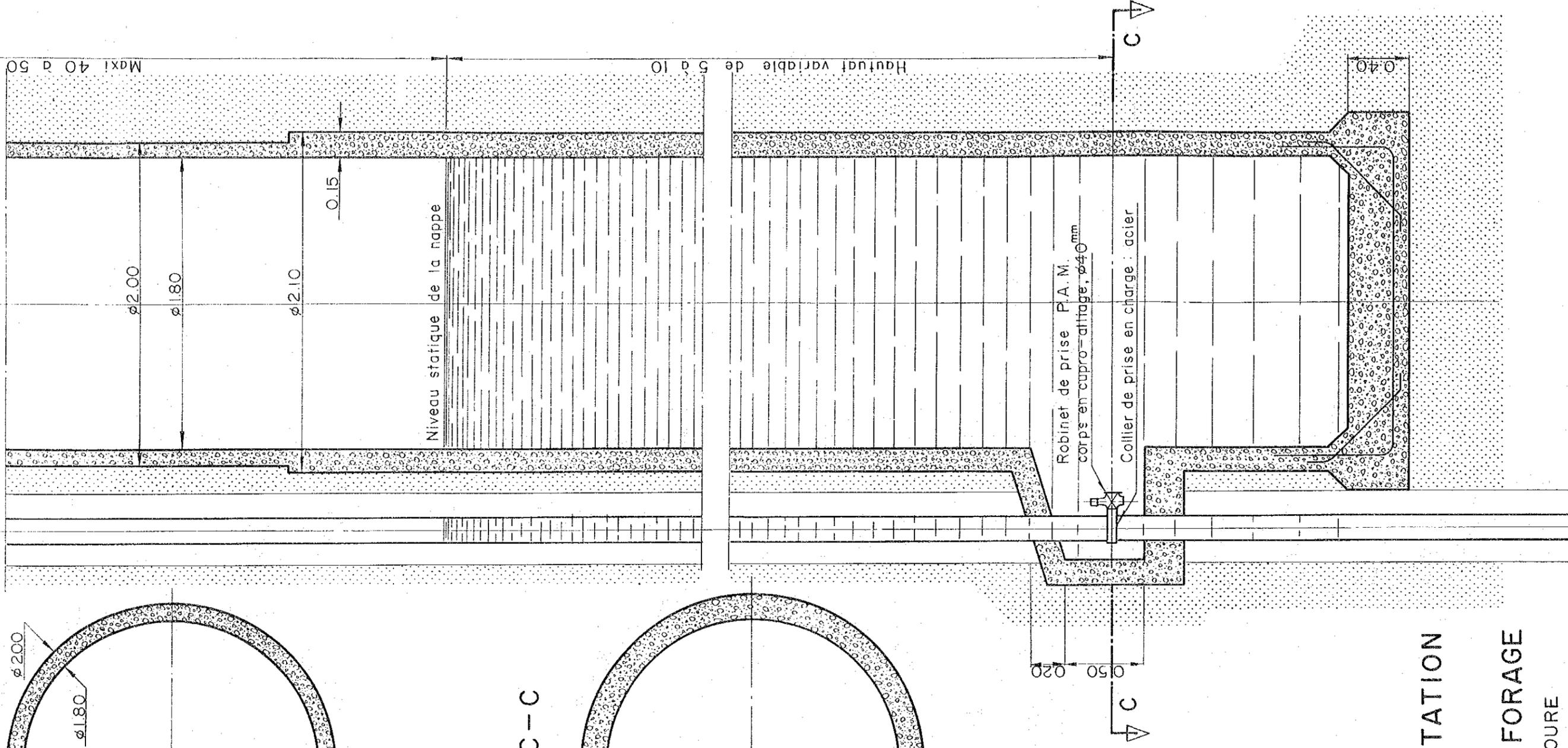
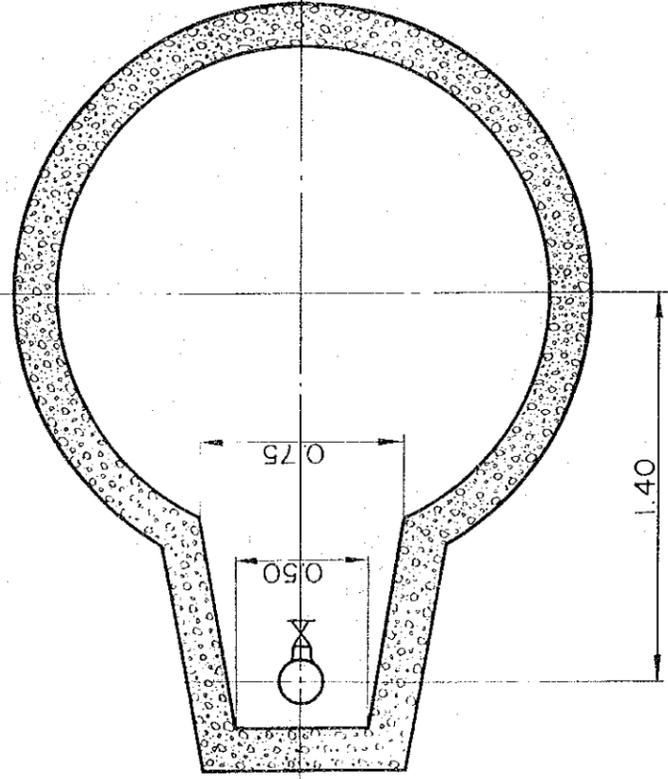


Fig II-6 Carte de la répartition du cheptel en saison sèche  
(chaque point représente 1,000 unités-bétail).





COUPE C-C



Puits d'exploitation  
 $\phi 180$   
 d'un tube de forage

SYSTEME J.ROURE  
 Echelle 1/25  
 Unité : Metre









### III. MÉTHODE ET RÉSULTATS DES RECHERCHES



### III. MÉTHODE ET RÉSULTATS DES RECHERCHES

#### 1. Prospection électrique

Le tableau III.1.1 donne le schéma des travaux de recherches entrepris entre 1978 et 1981.

Tableau III.1.1 Travaux de recherches

Rubrique	1978	1979	1980	1981	Total
Durée des travaux	8/1/1979 - 26/2/1979 50 jours	26/12/1979 - 21/3/1980 81 jours	4/11/1980 - 19/3/1981 109 jours	1/11/1981 - 20/3/1982 (15/1/1982 - 20/3/1982 pour la mission japonaise) 140 jours	380 jours
Zones explorées	8 <sup>ème</sup> arr. de Gao, Djebok Majibo Kidal	8 <sup>ème</sup> et 2 <sup>ème</sup> arrond. de Gao, Hama- kouladji	8 <sup>ème</sup> , 7 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> arrond. de Gao, 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> arrond. d'Ansongo, Majibo, Tin-Tafagat	4 <sup>ème</sup> , 7 <sup>ème</sup> et 8 <sup>ème</sup> arrond. de Gao, Bagoundje, Magnadoue, Hamakouladji, Djebok	
Prospection électrique superficielle	20 positions	97 positions	183 positions	252 positions	552 positions
Prospection électrique en profondeur		à 3 puits	à 5 puits	à 8 puits	à 16 puits
Instruments de mesure	Prospection électrique superficielle,	Emetteur: Modèle G-5003A, B; récepteur: Modèle 7505VSP (fabrication de YOKOHAMA Electronique)			
	Carottage électrique	YEW3244 (fabrication de YOKOKAWA Electrique)			

## 1-1. Prospection électrique superficielle

### (1) Résultats des recherches

Les tableaux III.1.2a – III.1.2d montrent les résultats obtenus année par année entre 1978 et 1981 et les figures IV. 2. 1 indiquent les lignes et les points de mesure dans chaque zone.

Tableau III.1.2a Résultats des recherches de 1978

Zone	Nombre de points de mesure
8 <sup>ème</sup> arrond. de Gao	6
Djebock	5
Majibo	2
Irrakaden	1
In Tedenit	3
Kidal	3
Total	20

Tableau III.1.2b Résultats des recherches de 1979

Zone	Forage	Ligne de mesure	Nombre de points de mesure
8 <sup>ème</sup> arrond. de Gao (Goulgoundje)	G – 2	A	12
		B	12
	G – 1	C	12
		D	8
		X	4
		Y	6
		Z	7
		XY	2
2 <sup>ème</sup> arrond. de Gao (Gadeye)	G – 3	W	4
		EA	8
		EB	6
		EC	6
Hamkouladji		HA	5
		HB	5
Total		14	97

Tableau III.1.2c Résultats des recherches de 1980

Zone	Forage	Ligne de mesure	Nombre de points de mesure
8 <sup>ème</sup> arrond. de Gao (Boulgoondje)	G - 4 G - 5	I	8
		J	14
		K	14
		CE	1
7 <sup>ème</sup> arrond. de Gao (Sosso Koirra) 4 <sup>ème</sup> arrond. de Gao (Alzana Bandia)		S	5
		L	7
3 <sup>ème</sup> arrond. d'Ansongo	A - 1	M	7
		A	10
		B	7
2 <sup>ème</sup> arrond. d'Ansongo	A - 2	C	11
		D	12
		E	8
1 <sup>er</sup> arrond. d'Ansongo	A - 3	F	12
		G	12
		H	10
		I	10
		J	4
Banlieue d'Ansongo		IJ	7
Majibo		K	10
Tin-Tafagat		Ma	7
Total		T	183
		21	

Tableau III.1.2d Résultats des recherches de 1981

Zone	Forage	Ligne de mesure	Nombre de point de mesure
4 <sup>ème</sup> arrond. de Gao		R	8
7 <sup>ème</sup> arrond. de Gao	G - 6	P	7
		N	15
8 <sup>ème</sup> arrond. de Gao	G - 10 G - 7 G - 9 G - 8	F	10
		G	10
		H	12
		O	16
		Q	9
		T	9
		U	10
		V	11
		Z	7
AB	3		
Bagoundje	BA - 1	A	12
		B	9
		C	13
		D	7
		E	7
		F	10
Magnadoué		A	13
		B	13
		C	10
Hamakouladji	HA - 1	HC	8
		HD	8
Djebock	D - 1	DA	9
		DB	6
Total		26	252

(2) Appareils de mesure et équipement accessoire

Emetteur: Fabrication du Centre de Recherches Electroniques de YOKOHAMA

Modèle: G-5003 A, B

Tension du courant d'output: 100 – 800 V

Intensité du courant d'output: 0,1 – 1 A

Fréquence: ondes carrées: 3; 0,3; 1; 0,1 Hz

Indicateur de l'intensité du courant: Modèle 1010

Récepteur: Fabrication du Centre de Recherches Electroniques de YOKOHAMA

Modèle: 7505VSP

Sensibilité: 1; 10; 100; 1000 mV, 10 V. Réglage par degré et réglage fin.

Impédance d'input: 2 MΩ

Fréquence: 3; 0,3; 1; 0,1 Hz

Groupe électrogène à moteur: Fabrication de SHIN-DAIWA

Modèle EG: 1801-B

Output: 100 V; 1,8 KW

Talkie-walkie: SONY ICB350

Output: 0,5 W

Alimentation électrique: UM-3 (1,5 V) x 8

Tentes contre le soleil et le vent:

Protection des appareils de mesure contre la chaleur et le sable

Pour la sonde: 1,8 m x 2,5 m x 2 m

Pour le moteur: 1 m x 3 m (Paravent à 10 pieds)

(3) Travaux de mesurage

Composition de l'équipe:

2 Mesureurs (technicien et aide technicien)

6 personnes pour déplacer les électrodes (Maliens)

2 personnes pour installer les fils électriques (Maliens)

2 conducteurs (Maliens)

Horaire du travail:

de 7h30 à 14h30 (entre novembre et février)

de 7h00 à 14h00 (mars)

Véhicules: 1 break pour le technicien et l'aide-technicien

1 pick-up pour les membres de l'équipe et ceux de l'appareillage de mesure

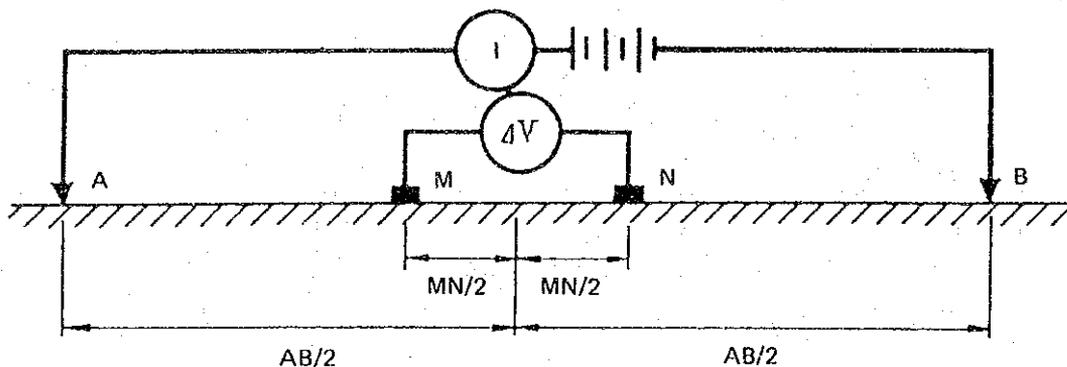
Pour les travaux dans l'hinterland, une camionnette-grue servant à transporter l'eau nécessaire à la mesure électrique (pour diminuer la résistance du contact), l'eau potable, l'essence et en plus du matériel de camping pour la surveillance nocturne.

#### (4) Méthode de mesure

La méthode de prospection électrique en profondeur consiste à mesurer suivant la profondeur la résistivité du sol à travers lequel on fait passer un courant continu normal, ou un courant équivalent, comme un courant d'impulsion de très basse fréquence. Le résultat obtenu sur la répartition de la résistivité permet de tirer au clair la structure géologique verticale au-dessous de la ligne de mesure.

Cette méthode de prospection verticale se subdivise encore en plusieurs méthodes en fonction de la disposition des électrodes de courant et des électrodes de potentiel. Nous avons eu recours à configuration de Schlumberger. Selon ce dernier, on passe le courant  $I$  au sous-sol par une paire d'électrodes de courant A et B (Fig. III.1.1) et l'on mesure la différence de potentiel  $\Delta V$  entre ces deux points avec une paire d'électrodes de potentiel M et N. Les électrodes sont installées d'une façon symétrique par rapport au point de mesure O ( $OA = OB = AB/2$ ,  $OM = ON = MN/2$ ), quant à la distance à l'intérieur de chaque paires d'électrodes, elle doit être limitée en principe comme  $AB/2 \geq 3 MN/2$ .

Fig. III.1.1 Configuration de Schlumberger



La résistance du sous-sol est calculée de la manière suivante:

$$\rho_A = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$\rho_A$  : résistivité apparente ( $\Omega\text{-m}$ )

$\Delta V$  : différence de potentiel entre les électrodes MN (mV)

$I$  : intensité du courant de l'émetteur (mA)

$K$  : coefficient de configuration d'électrodes

La résistance du sous-sol est calculée de la manière suivante:

Le coefficient K est calculé de la façon suivante:

$$K = \frac{[(AB/2)^2 - (MN/2)^2] \cdot \pi}{MN}$$

Le tableau III.1.3 représente les coefficients de configuration d'électrodes employés pendant les travaux.

On pourra obtenir les résistivités de chaque profondeur si l'on mesure  $\Delta V$  correspondant à chaque déplacement des électrodes de courant A et B en augmentant la distance A B. Dans ce processus, les électrodes M et N sont fixées en principe, mais au fur et à mesure que la distance A B augmente, la différence de potentiel  $\Delta V$  diminue comme l'équation suivante le montre à tel point que le mesurage devient difficile:

$$\Delta V = \frac{\rho_a}{\pi} \cdot \frac{MN}{(AB/2)^2 - (MN/2)^2} \cdot I = \frac{\rho_a}{K} \cdot I$$

Ainsi faudra-t-il élargir successivement la distance MN pour augmenter convenablement la valeur  $\Delta V$ . Nous avons en principe adopté les combinaisons indiquées dans le tableau III.1.4 en ce qui concerne la distance des électrodes.

Tableau III.1.3 Coefficients de l'intervalle des électrodes

MN/2 (m) AB/2 (m)	1	5	25
3	12,57		
4,5	30,24		
6	54,98		
8	98,96		
10	155,5		
12	224,6		
15	351,9		
20	626,7	117,8	
25	980,2	188,5	
32		313,8	
40		494,8	
50		777,5	
65		1.319	
80		2.003	
100		3.134	589,0
120		4.516	865,5
150			1.374
200			2.474
250			3.888
300			5.616
350			7.658
400			10.010

Tableau III.1.4 Intervalles des électrodes

AB/2 (m)	1 (m)	MN/2 (m)	25 (m)
3	↑ ↓		
4,5			
6			
8			
10			
12			
15			
20			
25			
32			
40	↑ ↓		
50			
65			
80			
100			
120			
150			
200			
250			
300			
350	↑ ↓		

(5) Méthode d'analyse

On enregistre dans le cahier de mesures sur le terrain l'intensité du courant entre les deux électrodes A et B et la différence de potentiel entre les deux électrodes M et N. On calcule, d'après ce résultat, les valeurs de la résistivité apparente de la couche et trace le graphique de ces valeurs pour le même intervalle des électrodes M N. L'abscisse représente la moitié de l'intervalle en mètre des deux électrodes du courant AB/2 et l'ordonnée représente la résistivité apparente  $\rho_a$  ( $\Omega$ -m) (voir la figure III.1.2). Ces courbes VES (vertical electrical sounding) sont représentées par l'échelle logarithmique.

L'analyse de ces courbes VES est faite principalement par comparaison avec les courbes VES standard représentant 2, 3 et 4 couches.<sup>\*1, 2, 3</sup> et les courbes auxiliaires. Pour calculer la profondeur jusqu'à la couche inférieure, on a appliqué le principe d'équivalence en supposant la valeur de la résistivité de la couche du milieu.

Voici le détail de l'analyse des courbes VES:

D'abord, il faut savoir si ces courbes représentent le cas de deux couches, ou de trois, ou de quatre et plus.

Ici, on prend, comme exemple, le cas de 3 couches.

Les courbes VES peuvent être distinguées, selon la variation en fonction de la profondeur, des résistivités, de la couche supérieure ( $\rho_1$ ), de la couche du milieu ( $\rho_2$ ) et de la couche inférieure ( $\rho_3$ ), en quatre types caractéristiques, d'après le tableau.

Type H:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$  ... cas où il existe au milieu une couche de basse résistivité

Type A:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$  ... cas où la résistivité augmente avec la profondeur

Type K:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$  ... cas où la couche du milieu a une résistivité plus grande

Type Q:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$  ... cas où la résistivité diminue avec la profondeur

Ici,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  et  $\rho_3$  représentent la résistivité de chaque couche et  $E_1$  et  $E_2$  l'épaisseur de chaque couche.

On choisit la courbe standard qui ressemble le plus à la courbe VES d'observation selon les types. Voici un exemple d'analyse (voir la figure III.1.3):

On trouve d'abord que la courbe VES d'observation s'identifie par sa forme au type K par exemple, qui correspond au cas où la couche du milieu a une résistivité plus grande. Ensuite, choisissant parmi les courbes standard du type K la courbe qui ressemble le plus à la courbe VES d'observation (courbe principale K.14), on superpose les deux graphiques.

Si les deux courbes coïncident ainsi (on peut aussi faire l'interpolation nécessaire) le point de départ de la courbe standard (soit  $\rho_1 = 1$  et  $AB/2 = 1$ ) qui tombe sur la courbe d'observation indique la résistivité et l'épaisseur de la première couche ( $\rho_1 = 85 \Omega\text{-m}$ ,  $E_1 = 23 \text{ m}$ ). On peut calculer la résistivité de la deuxième couche ( $\rho_2 = 850 \Omega\text{-m}$ ) à partir de la résistivité de la première couche et du coefficient de la courbe standard (10) qui est superposée à la courbe d'observation.

---

1 Courbes standard de 3 et 4 couches  $\Gamma\Gamma\Gamma$  T

2 Courbes standard de 3 et 4 couches de Schlumberger

3 "Master Curves for Vertical Electrical Sounding Layered Structures,, par E. ORELLANA et M. MOONEY.

Ensuite, après avoir tracé une courbe auxiliaire du type K ayant le même coefficient (10) sur le graphique de la courbe VES d'observation, on superpose sur la partie droite de cette dernière la courbe standard de deux couches qui coïncide le mieux. On s'arrange pour que le point de départ de cette deuxième courbe standard tombe juste sur la courbe auxiliaire tracée. (Il est important que les axes des graphiques soient toujours parallèles quand on utilise des feuilles transparentes pour l'opération de superposition).

Si ces deux courbes superposées coïncident bien, le point de départ de la courbe standard tombant sur la courbe auxiliaire indique le rapport d'épaisseur des couches  $E_2/E_1$ , qui permet en définitive de déterminer l'épaisseur de la deuxième couche. La résistivité de la troisième couche ( $\rho_3$ ) est évaluée à partir du coefficient de la courbe standard de deux couches.

On détermine la structure souterraine à partir des résistivités obtenues après avoir corrigé le résultat de l'analyse précédente compte tenu du relief et de l'hétérogénéité géologique du terrain. On a ainsi établi le plan de section par l'étude de la résistivité le long de la ligne de mesure.

On a, de plus, opéré la simulation automatique par l'ordinateur (voir la figure III.1.4) afin d'augmenter la précision des résultats et on a procédé à l'analyse globale en comparant ces résultats avec ceux de la prospection électrique et de l'examen géologique.

## 1-2. Carottage électrique dans les forages

### (1) Résultats des travaux

Les résultats sont montrés au tableau III.1.5

Tableau III.1.5 Résultats des travaux

Cercle	Numéro de puits foré	Date de mesurage	Profondeur de mesurage (m)	Mesures	
Gao	G - 1	22/1/1980	58	Polarisation spontanée,	Résistivité apparent
	- 2	4/2	56	"	"
	- 3	25/2	132	"	"
	- 4	28/11/1980	54	"	"
	- 5	12/12	47	"	"
	- 6	21/11/1981	36	"	"
	- 7	4/12	42	"	"
	- 8	18/12	42	"	"
	- 9	28/12	38	"	"
	- 10	15/1/1982	36	"	"
Bagoundje	B - 1	2/2/1982	30	"	"
Ansongo	A - 1	8/1/1981	123	"	" Température
	- 2	20/1	139	"	" "
	- 3	16/2	87	"	" "
Djebock	D - 1	17/2/1982	118	"	"
Hamakouladji	Ha - 1	8/3/1982	114	"	"

Fig. III.1.2 COURBE DE LA RESISTIVITE APPARENTE

LEGENDE

GAO 8

↑ Région de la mesure

A-10

↑ Point de la mesure et son numéro

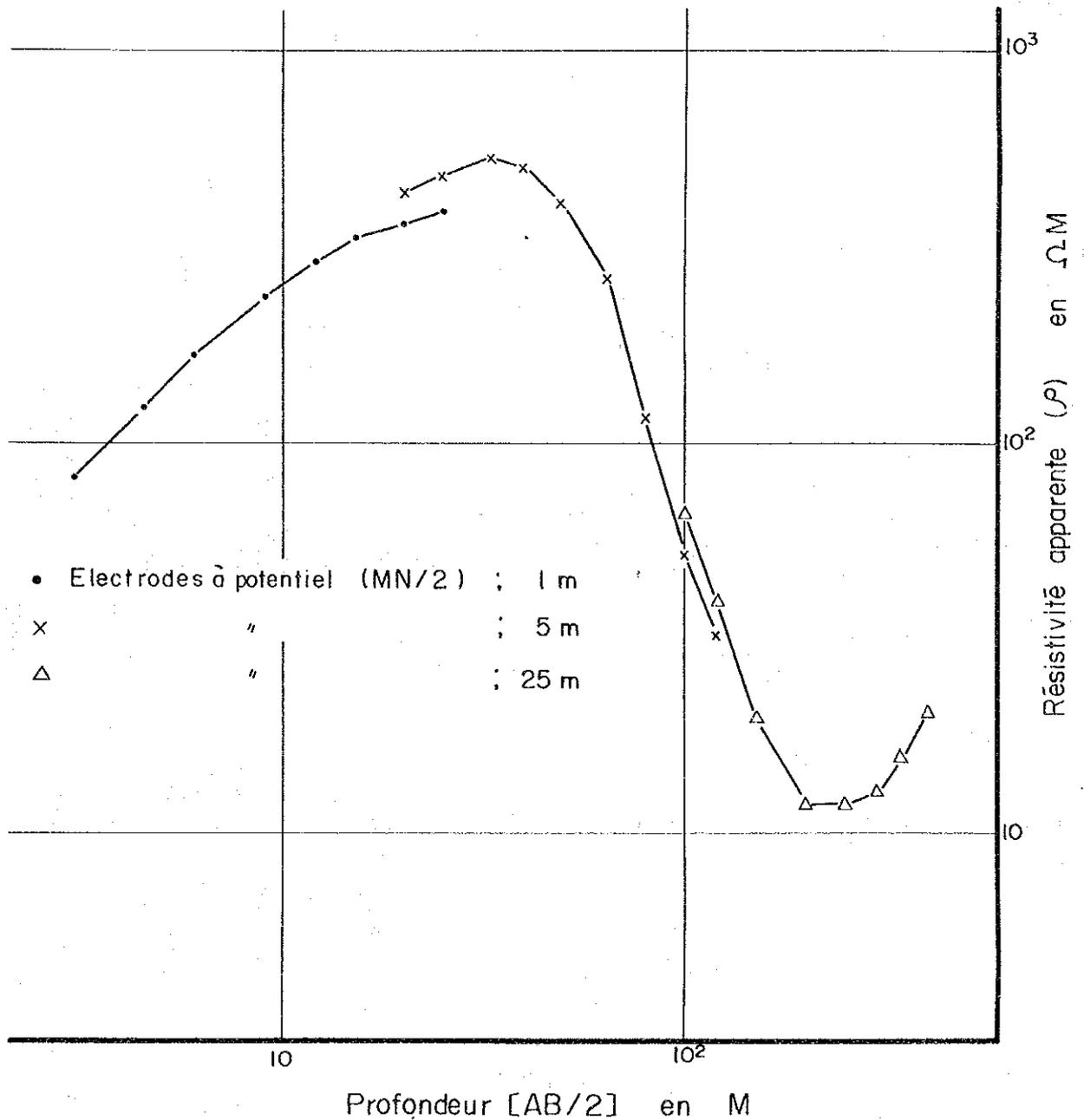
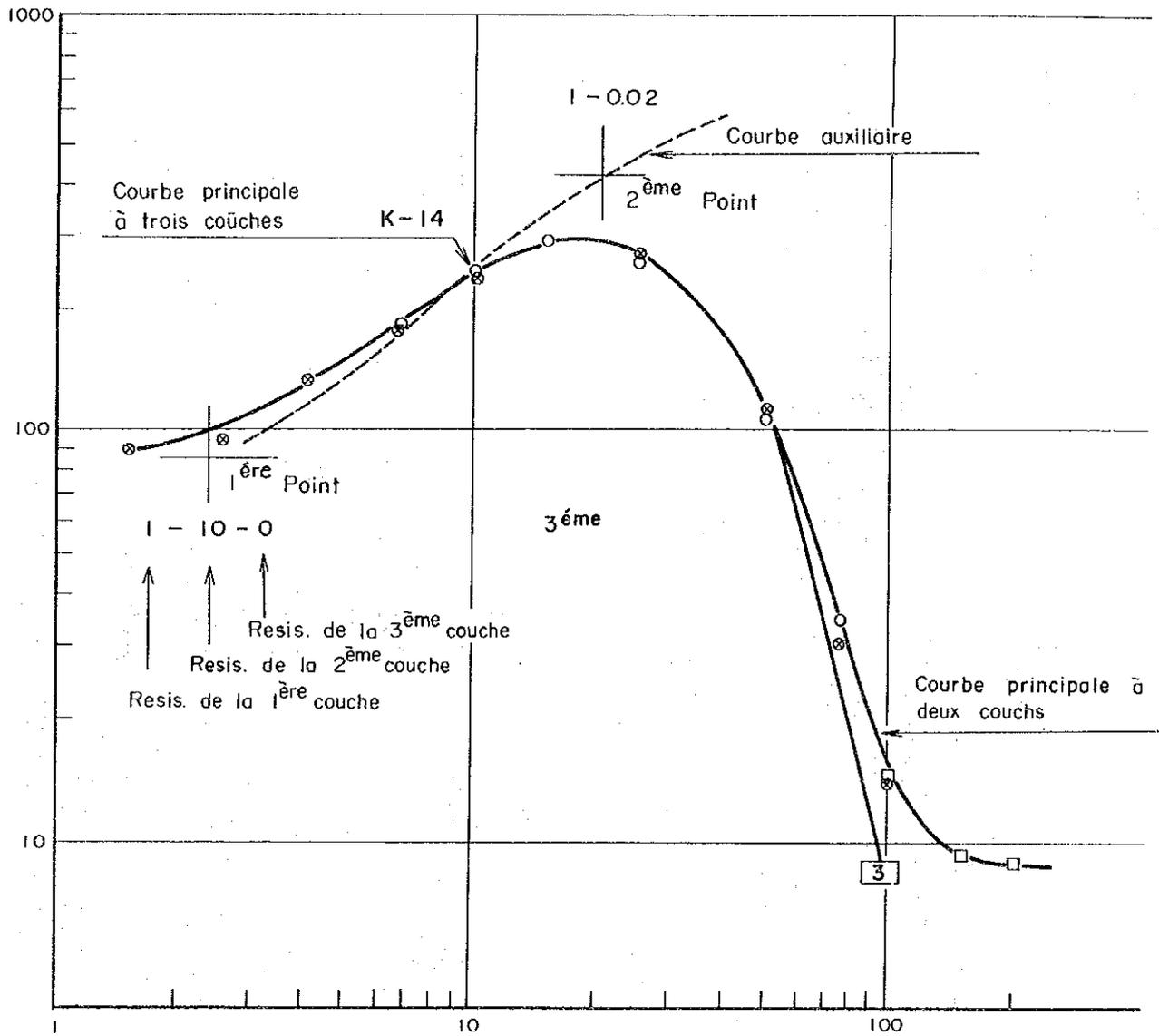




Fig. III-1-3 Exemple de l'analyse de courbe V.E.S



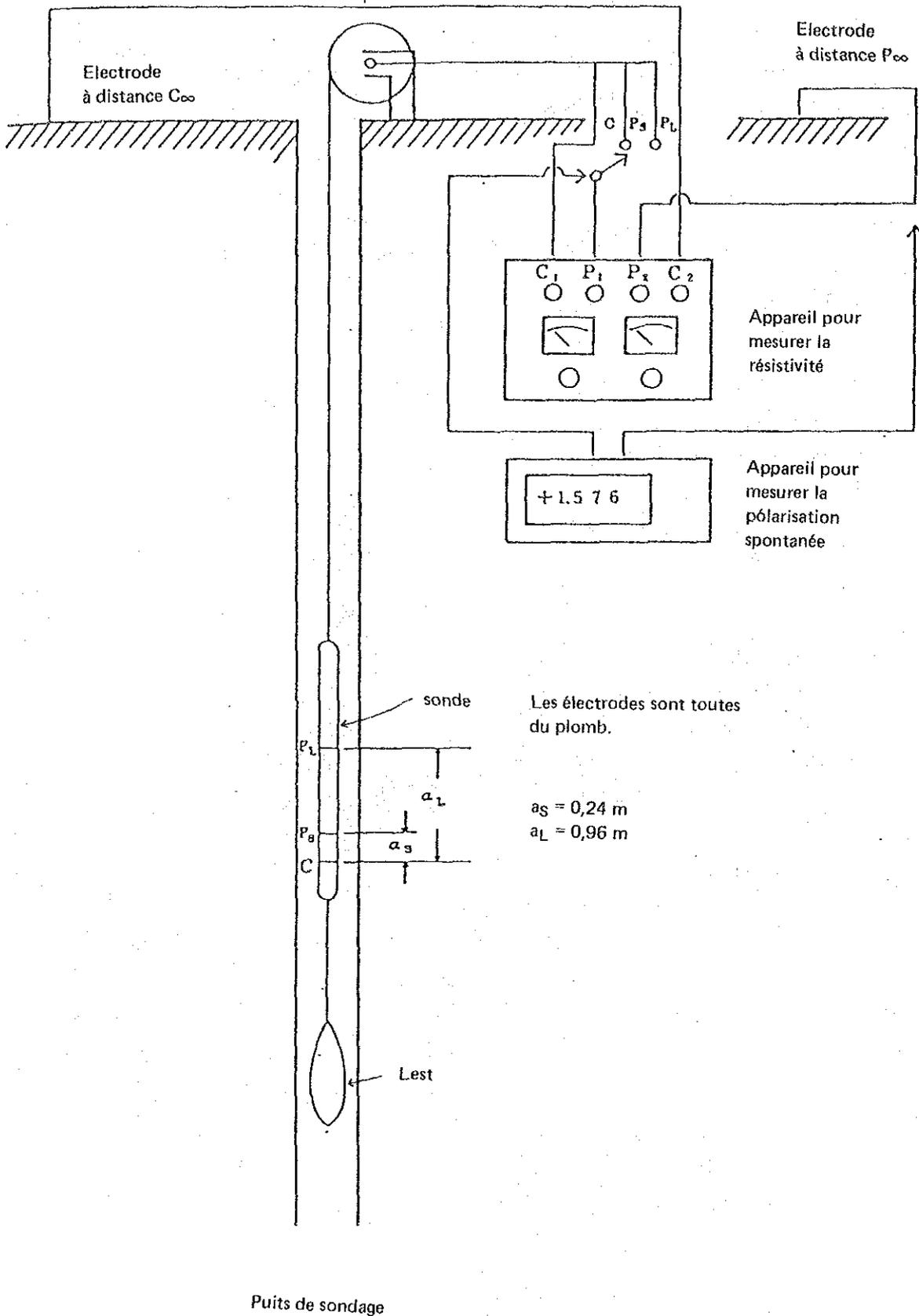
$P_1$	$P_2$	$P_3$
85	850	8
E1	E2	







Fig. III.1.5 Système de mesure



(2) Méthode d'opération de mesure

Méthode S R bipolaire (voir fig. III.1.5)

Descente de l'instrument à la main à chaque mètre

Distance entre les deux électrodes: 2 sortes:  $a_S = 0,24$  m et  $a_L = 0,96$  m

(3) Appareils de mesure et équipement accessoire

Appareils de mesure:

Résistivité (pour S.R.)

Appareil pour mesurer la résistivité spécifique de la terre TYPE 3244

Fabrication de YOKOKAWA Electric

Capacité de mesure:  $\rho_S$  0 – 900  $\Omega$ -m

$\rho_L$  0 – 3.600  $\Omega$ -m

Tension de courant d'output: 150; 300; 600 V (trivoltage)

Fréquence: ondes carrées 10 – 40 Hz

Alimentation: UM-1 (8 piles)

Batterie en plomb NS-120

Polarisation spontanée (pour S.R.):

Multimètre digital

Fabrication de DATA PRECISION

Capacité de mesure: 0 – 10 V

Sensibilité maximale: 10 V

Impédance d'input: 10 M

Alimentation: piles Ni-Cd (rechargeables)

AC 100 V

pile 006P 9 V

Équipement accessoire:

Sonde

Pour empêcher les fuites électriques, on y introduit la matière non conductible.

Poids de la sonde: 6 kg; Lest: 10 kg; En total: 16 kg.

Treuil manuel à échappement

Câble avec l'indication à chaque mètre.

Les modalités du fil électrique sont indiquées au tableau III.1.6.

Tableau III.1.6 Structure et caractéristiques des fils électriques

Noyau (A)	Nombre de fils noyaux		6
	Conduite (fils de cuivre doux étamés)	Composition (nombre/mm)	7/0,18
		Diamètre ext. (mm)	0,54
	Epaisseur de l'isolateur en polyéthylène (mm)		0,32
	Diamètre extérieur du noyau (mm)		1,2
	Nature		Cordes de piano étamées et tressées
Renforcement du noyau (B)	Composition (nombre de fils/mm)		3/0,26
	Epaisseur de la gaine en polyéthylène (mm)		0,31
	Diamètre extérieur du renforcement (mm)		1,2
Diamètre de la tresse constituée d'un noyau (A) et de six renforcements (B) (mm)			3,6
Epaisseur de la gaine en polyéthylène (mm)			1,4
Diamètre extérieur de l'assemblage des fils	Standard (mm)		6,4
	Maximum (mm)		7,0
Poids approximatif (kg/km)			50
Résistance maximale de la conduite à 20°C ( $\Omega$ /km)			113
Tension de courant en essai (V/minute)			500
Résistance minimale de l'isolateur à 20°C ( $M\Omega$ /km)			100
Charge de rupture du fil de renforcement (kg)			35
Longueur standard des fils (m)			300
Présentation			Rouleau

#### (4) Méthode de l'opération

Contact des électrodes à distance avec la terre:

Deux ou trois jours avant l'opération de prospection électrique, on installe les électrodes en plaque de plomb dans un trou de 1 m x 1 m à la profondeur de 0,5 m, éloigné de plus de 20 m du puits foré. On emploie l'eau mêlée de boue destinée au forage pour augmenter le contact avec la terre et assurer la mesure de S P.

Composition de l'équipe de l'opération:

Pour mesurer et enregistrer: 2 techniciens maliens

Pour observer la profondeur: 1 membre sachant lire

Personnes s'occupant du treuil: 2 membres

Personnes qui enlèvent la boue de l'appareillage: 2 membres

Traitement des données:

Dès l'achèvement des mesures, il faut transcrire les données obtenues sur le diagramme de prospection afin de déterminer l'endroit où installer les crépines.

#### (5) Méthode d'analyse

La figure III.1.6 représente les courbes théoriques de base d'après la configuration à deux électrodes.

La figure (A) représente plusieurs courbes variées en fonction de l'épaisseur  $e$  de la couche qui a la résistivité grande ( $R_f = 9$ ) et qui se trouve entre les deux couches de petite résistivité ( $R_s = 1$ ). La figure (B) correspond au cas où la couche de basse résistivité ( $R_f = 1$ ) se trouve entre les couches de haute résistivité ( $R_s = 5$ ). Comme ces figures le montrent, la valeur de la résistivité de la couche du milieu s'approche de la valeur véritable au fur et à mesure que cette couche devient épaisse et elle s'en écarte au contraire si l'épaisseur de la couche diminue. Si l'épaisseur de la couche du milieu est plus petite que la distance entre les deux électrodes, on observe un phénomène d'inversion de la résistivité.

Le rapport entre la résistivité apparente et l'épaisseur de la couche est représenté à la figure III.1.7. Si l'épaisseur de la couche dépasse 4 ou 5 fois la distance des électrodes, la résistivité spécifique apparente correspondra à peu près à la valeur véritable de la résistivité.

On analyse le résultat qualitativement en se basant sur ces faits. Cependant, la couche aquifère de cette région est caractérisée par une grande anomalie de la résistivité accompagnée d'une anomalie négative de P.S. Par conséquent, il faut tenir compte du sondage par le forage et de la condition géologique en plus de l'analyse sur les courbes de la résistivité et de P.S., pour déterminer l'endroit d'installation des crépines.

Fig. III.1.6 Courbes théoriques de base selon le configuration à deux électrodes

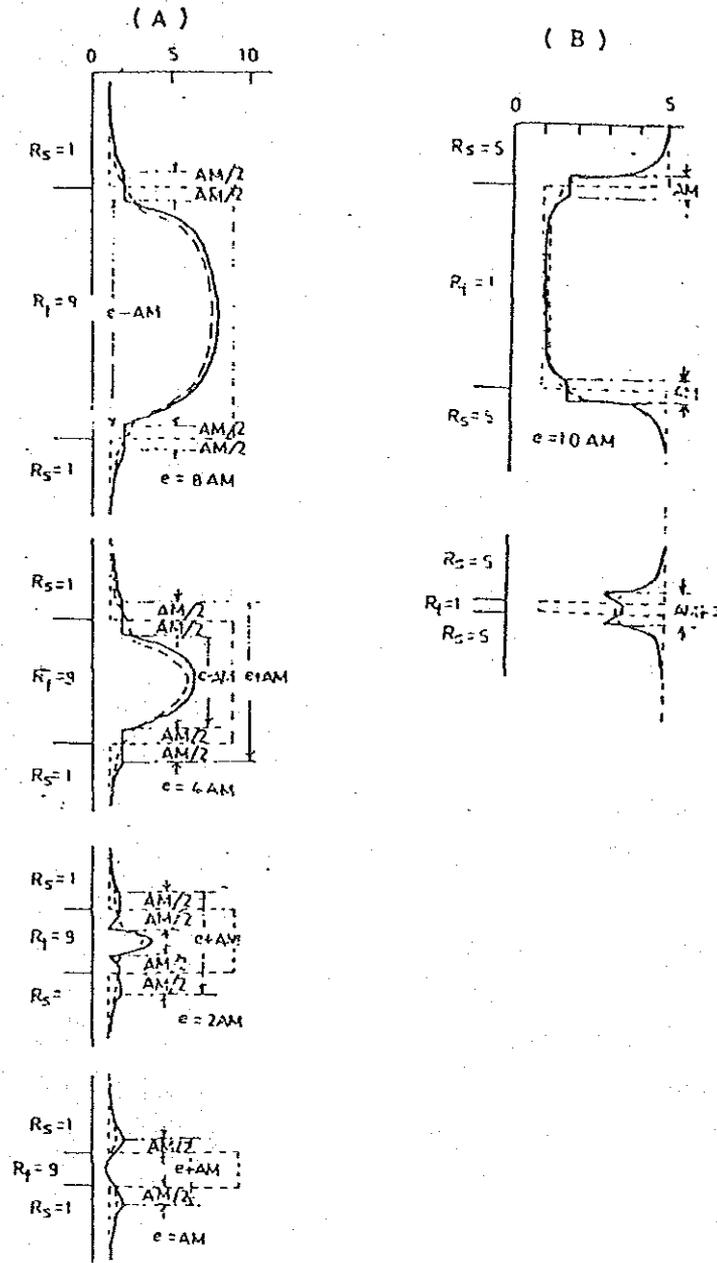
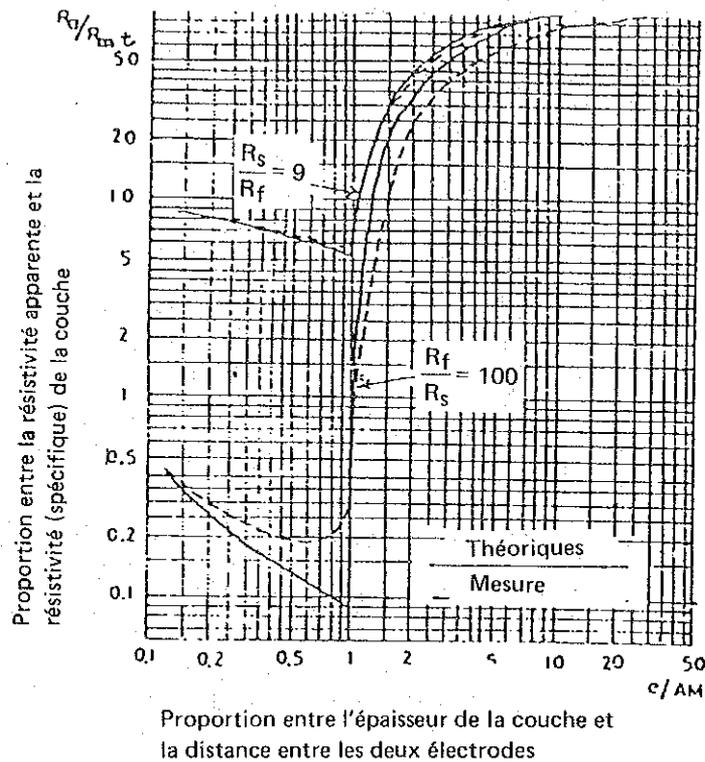


Fig. III.1.7 Rapport entre l'épaisseur de la couche et la résistivité apparente par la méthode à deux électrodes



### 1.3. Sur l'organisation autonome des techniciens du Mali.

(1) Les travaux de la dernière année ont été exécutés entièrement par l'entreprise autonome des techniciens maliens.

Depuis le début de la coopération, les techniciens maliens se sont perfectionnés dans la technique de prospection électrique; ils ont continué, en se joignant, par exemple, à une mission française pendant l'absence de la mission japonaise, à faire des efforts pour organiser les travaux d'analyse par eux-mêmes.

- Les ordres sont bien respectés: ils ont fait par exemple, le plein d'essence pour les véhicules nécessaires plus tôt que d'autres équipes.
- Ils se sont abstenus du repas du midi de peur qu'il ne cause de la lassitude.
- Ils sont à tel point motivés qu'ils ont continué les travaux d'analyse au campement après le dîner.
- Ils appliquent à l'analyse les deux méthodes, française et japonaise.

(2) Ils ont acquis une connaissance parfaite des caractéristiques électriques aux bords du Niger, dans la zone de nappes phréatiques. Il sera toutefois nécessaire qu'ils enrichissent leur expérience sur l'équipement, etc. lors des travaux dans la zone de nappes profondes de l'hinterland.

(3) Ils sont moins attentifs pendant la préparation et le rangement que pendant l'opération de mesure elle-même. On a, par exemple, construit une baraque destinée à entreposer des instruments de mesure afin d'éviter leur transport, long et fréquent, lors de l'expédition de recherches à Djebock. Mais faute de surveillance, les instruments ont failli être écrasés par un troupeau de boeufs.

(4) Par contre, ils prennent soin des objets en cours d'utilisation de sorte que ceux-ci sont bien entretenus. La prochaine étape souhaitée est qu'ils acquièrent l'esprit d'organisation à l'égard des objets de consommation à long terme.

## 2. Travaux de forage

### 2-1 Schéma des travaux de forage

Les sondages sont exécutés par la foreuse (TOP-300, avec head-drive à pression hydraulique par huile et avec percussion à air) afin de collecter les données fondamentales utiles ou nécessaires à l'exploitation future des eaux souterraines par les techniciens maliens dans la 7ème région économique. Une partie de nos objectifs était de transmettre aux techniciens maliens la technique de manoeuvre de la foreuse et les autres opérations concernées par le biais de l'exécution de ces travaux de recherches.

On a décidé d'examiner la méthode de forage apte à cette région en tenant compte de la spécificité de chaque machine et d'effectuer aux puits forés plusieurs tests nécessaires pour clarifier la nature hydro-géologique. Ainsi sont prévus l'ordre d'exécution du forage, le schéma d'exécution du forage et les plans du forage suivants :

#### (1) ordre d'exécution du forage

- Détermination des points de forage
- Transport du matériel
- Installation de campement (mise en place du circuit, adduction d'eau, etc...)
- Préparation du forage (aménagement du terrain, mise en place du matériel, montage installation, mise en place du circuit, adduction d'eau, etc...)
- Opération du forage
  - forage
    - travaux accessoires (eau pour le forage, transport du matériel, bricolage)
    - prospection électrique des couches dans le puits foré
    - installation des tubes et des crépines
    - nettoyage (lavage), remplissage de graviers
    - mise au point (surging, jetting, bailing, backwashing)
- Levée de la foreuse et de l'équipement
- Essai de pompage, examen de la qualité de l'eau
- Levée du campement
- Rangement et remise en état du terrain

## (2) Schéma d'exécution du forage

L'opération du forage est ici esquissés :

D'abord, après avoir foré la couche superficielle, on y introduit un tube de guidage. Après fixation de ce dernier, on continue le forage jusqu'à la profondeur prévue avec un foret dont le diamètre est plus petit que ce tube. Si le forage est difficile dans une zone rocheuse avec la méthode de l'eau boueuse en circulation, on choisit la méthode de percussion à air.

Après avoir fini le forage, on cherche la position de la couche aquifère en examinant l'échantillon du carottage et les données obtenues par la prospection électrique des couches.

Quand la crépine est installée en position dans la couche aquifère, on remplit l'espace entre la crépine et la paroi du puits avec les graviers qui servent de filtre.

On lave la paroi avec l'eau propre et on pratique l'air-lifting, le pompage, etc... pour la mise au point afin de pouvoir puiser l'eau dans les meilleures conditions.

Forage :

a. Le foret à ailes (wing bit) ou le foret triconique de 14 3/4 inches de diamètre (375mm) est employé pour le début du forage jusqu'à 5,0–10,0m de profondeur. Puis, on introduit un tube de guidage de 12 inches de diamètre afin d'empêcher l'éboulement ou l'entrée de débris pendant le forage.

On ne cimente pas en principe le bout du tube de guidage afin de pouvoir le récupérer après l'achèvement du forage. Ainsi, doit on bien fixer le tube de guidage en introduisant son extrémité le plus loin possible, de telle manière que l'eau qui circule ne coule pas autour.

b. Le forage est poursuivi jusqu'à la profondeur prévue avec le foret de 11 5/8 inches de diamètre (295 mm). On prend soit le foret à ailes soit le foret à drague soit le foret triconique (M), (S), en fonction de la nature géologique du terrain.

c. En continuant le forage de cette façon-là, si l'on arrive à une couche rocheuse moins profonde que prévue et si l'on ne trouve pas d'eau ou si la quantité de l'eau est insuffisante, on fait un tubage provisoire jusqu'à cette profondeur et on emploie ensuite le foret à percussion à air (145 mm de diamètre) pour forer.

On met de côté, comme échantillon, les débris du forage à tous les 3,0 m et à chaque changement de couche.

Carrotage électrique dans les forages :

Après l'achèvement du forage et avant l'installation des crépines, on mesure la résistivité spécifique et le potentiel naturel pour déterminer la position de la couche aquifère tenant également compte des observations pendant le forage.

Tubage et installation des crépines :

On installe les tubes et les crépines de 6 inches de diamètre à la position déterminée. On fixe les centralisateurs aux tubes tous les 30 m pour placer les tubes et les crépines juste au centre du puits foré de sorte que les graviers de remplissage puissent être uniformément répartis autour des crépines.

Remplissage de graviers de filtrage :

Après l'installation des crépines, on nettoie les parois. Puis on remplit l'espace entre les parois et les crépines avec les graviers de dimension appropriée à la couche aquifère pour former filtre. Ceci permettra d'augmenter le débit comme si le diamètre du puits était agrandi. C'est aussi pour empêcher l'éboulement et l'entrée du sable fin de la couche aquifère.

Mise au point .

On pratique la méthode de "houle" (surging) avec l'air-lift, le jet d'eau propre (jetting), le pompage "pour écoper" (bailing), etc.. afin d'enlever la boue attachée au puits foré et de laisser l'eau de la couche aquifère entrer à travers les crépines sans difficulté.

(2) Essais de pompage

On suppose la relation approximative entre le débit du pompage et l'abaissement du niveau d'eau à partir du pompage lors de la mise au point pour décider de la méthode de l'essai de pompage par paliers.

a. Essai de pompage par paliers de débit

On réalise cet essai en changeant au moins 3 fois de palier de débit du pompage. On passe au palier suivant du débit du pompage après que le niveau d'eau est stabilisé. Il faut consacrer en principe plus de 4 heures au pompage à chaque palier de débit. La mesure est commencée à partir du débit inférieur du pompage et de l'abaissement minimum du niveau d'eau pour arriver progressivement au débit supérieur du pompage et à l'abaissement maximum du niveau d'eau. Ces essais sont pratiqués pour évaluer le débit critique de pompage et le débit de source, enfin, pour estimer la valeur du puits.

On pratique en principe la mesure du niveau d'eau à chaque palier d'après le tableau suivant :

b. Essais de pompage à débit constant

Après que le niveau de l'eau a été rétabli à son niveau statique à la fin des essais précédents, on procède aux essais du pompage à débit constant pendant plus de 24 heures en décidant du débit d'après les données obtenues aux essais.

On se conforme au tableau précédent quant à l'intervalle de temps pour la mesure du niveau d'eau.

c. Essais de remontée

Dès que les essais précédents sont terminés, on arrête le pompage pour mesurer la remontée du niveau d'eau. On prend la fin du pompage comme temps initial pour pratiquer la mesure dans la même condition d'intervalle de temps que le tableau précédent.

Les essais du pompage à débit constant et les essais de remontée constituent l'examen de la couche aquifère pour évaluer le coefficient de perméabilité, etc...

d. Résumé des résultats sur les essais de pompage

On estime le débit critique et le débit de source à partir des données obtenues aux essais de pompage par palier du débit. On calcule le coefficient de perméabilité ( $m^3/h/m$ ), constant hydraulique, et, si ce possible, le coefficient d'emmagasinement (de la nappe), par la méthode linéaire de rétablissement de Jacob ou par la méthode de remontée de Theis.

Temps écoulé	Intervalle de temps de mesure
5 minutes	1 minute
1 heure	5 min.
3 heures	20 min.
6 heures	30 min.
Plus de 6 heures	1 heure

### (3) Levée

On met un couvercle provisoire au puits achevé. Après avoir enlevé le matériel, on procède à la remise en état du terrain.

### (4) Plans du forage

- Plan A (voir la figure insérée)

Il est destiné au puisage de la nappe aquifère.

- Plan B (voir la figure insérée)

Il a en vue le puisage de la nappe maintenue dans une faille, une anfractuosité ou sur une face fractur e dans la zone où la roche de soubassement se rouve sous la terre peu profonde.

On continue le forage avec le foret de 291 mm (11 5/8 inches) de diamètre autant que possible. On fore la couche de fracture avec le foret de 213 mm (8 1/2 inches) de diamètre. On arrive ainsi à la couche de roche.

On introduit le tube de 6 inches de diamètre, puis on remplit l'espace autour avec de l'argile. On fore la couche de roche avec le foret (145 mm de diamètre) par percussion à air. On peut déterminer la fin du forage en observant la quantité d'eau drain e de puits pendant le forage.

- Plan C (voir la figure ins r e)

Il sera mis en oeuvre si l'on ne peut pas trouver une nappe aquifère suffisante dans la roche sédimentaire, pour viser, cet fois, la nappe conserv e dans une cassure de la roche de soubassement.

Compte tenu des sondages effectués durant les travaux de recherches et de l'état géologique de la région, le plan A convient à tout le cercle de Gao et à la plus grande partie de cercle d'Ansongo. On trouve dans une partie de la ville d'Ansongo et le cercle de Kidal beaucoup de points auxquels le programme B ou C doit convenir.

## 2-2 Description des foreuses et de l'équipement accessoire

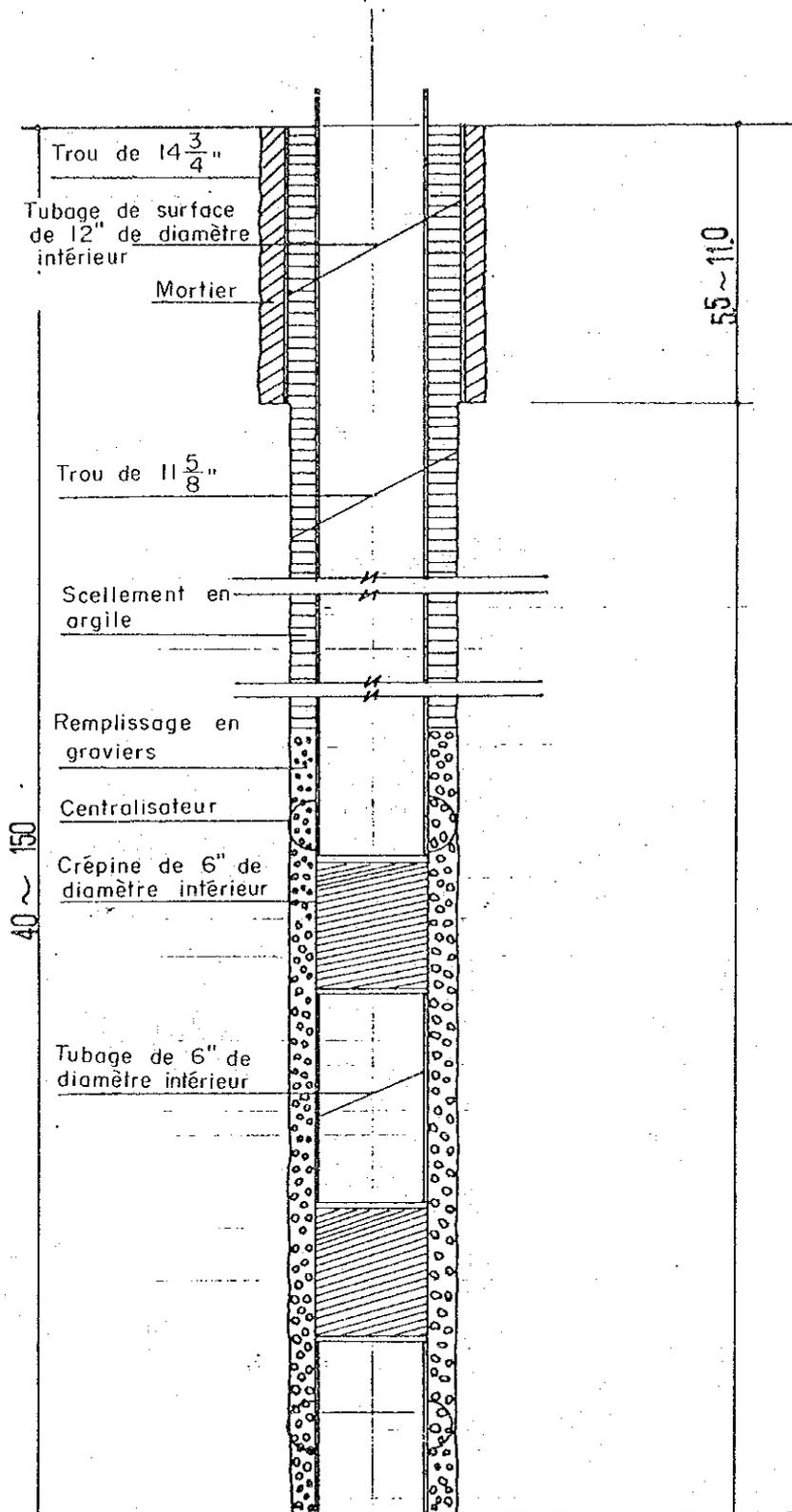
TOP-300, à 'head drive' par la pression hydraulique à huile, est une machine à forer munie du moteur, du système de la pression hydraulique à huile, des mécaniques de forage et de levée de la tour rabattable, de la pompe envoyant la boue, etc., tous montés sur le camion à remorque avec commande centralisée.

L'huile qui est envoyée par la pompe à huile actionnée par le moteur (diesel, par refroidissement à air, F6-413F r 125 P S 1800 rpm) fait fonctionner les mécanismes d'enforcement, de levée et de forage commandés par la console de contrôle. Le moteur fait fonctionner également la pompe pour l'eau boueuse (N A S-5 H à deux à pistons à double effet et à haute pression, 600 l/min.) par le système d'embrayage et si l'on change de circuit, l'eau boueuse peut être préparée grâce à un malaxeur à jet.

Si le forage à air est requis à cause de l'état de la roche, on emploie le trepan-marteau à percussion qui permet de continuer le forage avec le compresseur à air sans utiliser la pompe fournissant l'eau boueuse. Pour cela, l'équipement de la drille à marteau à air A D - 130 (diamètre de la mèche: 145 mm) est prévu.

La modalité de TOP-300 est indiquée dans le tableau suivant. On y a ajouté pour référence celle de TOP-200 qui fera l'objet d'un don à la République du Mali.

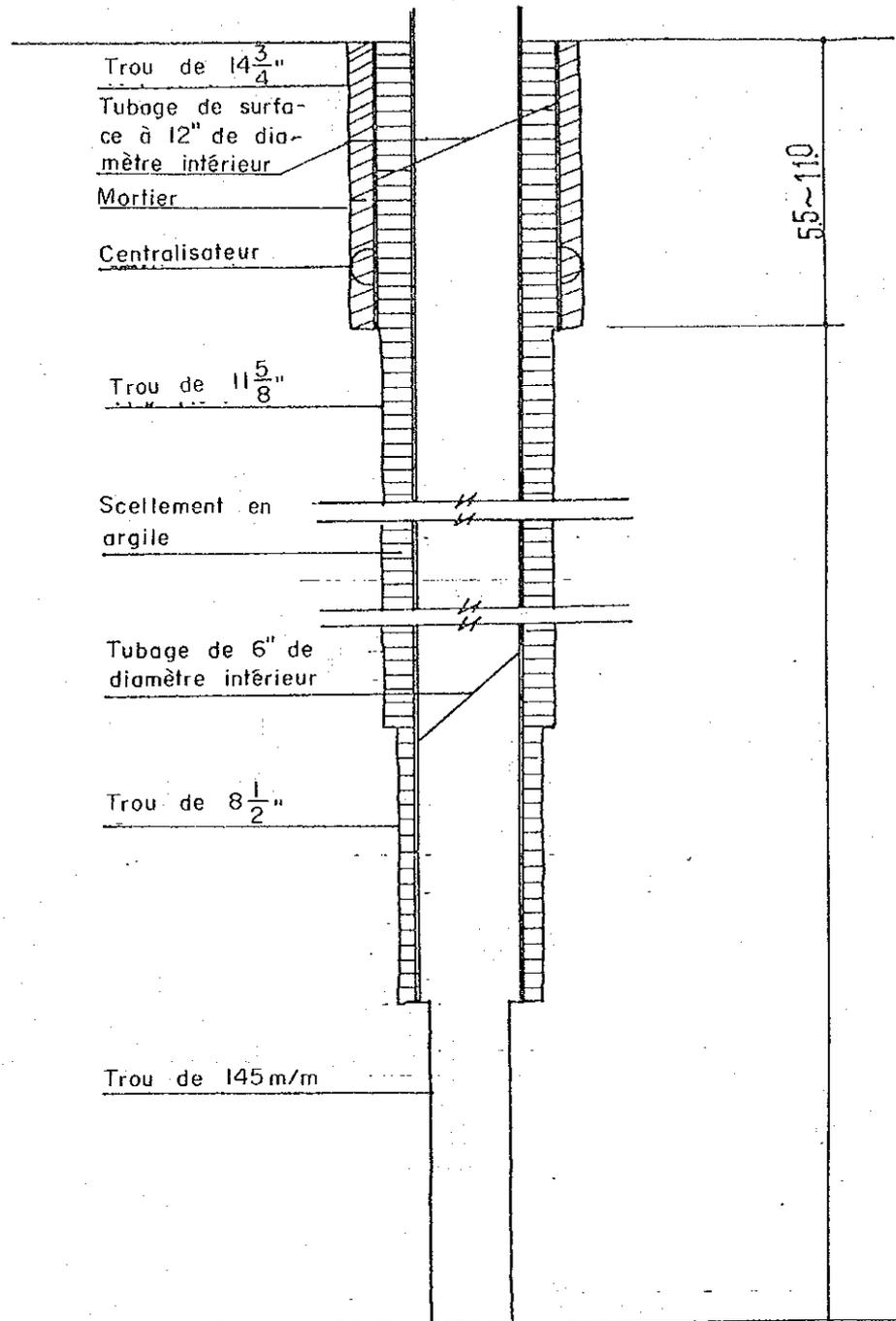
# Plan de forage "A"



La proportion est arbitraire.



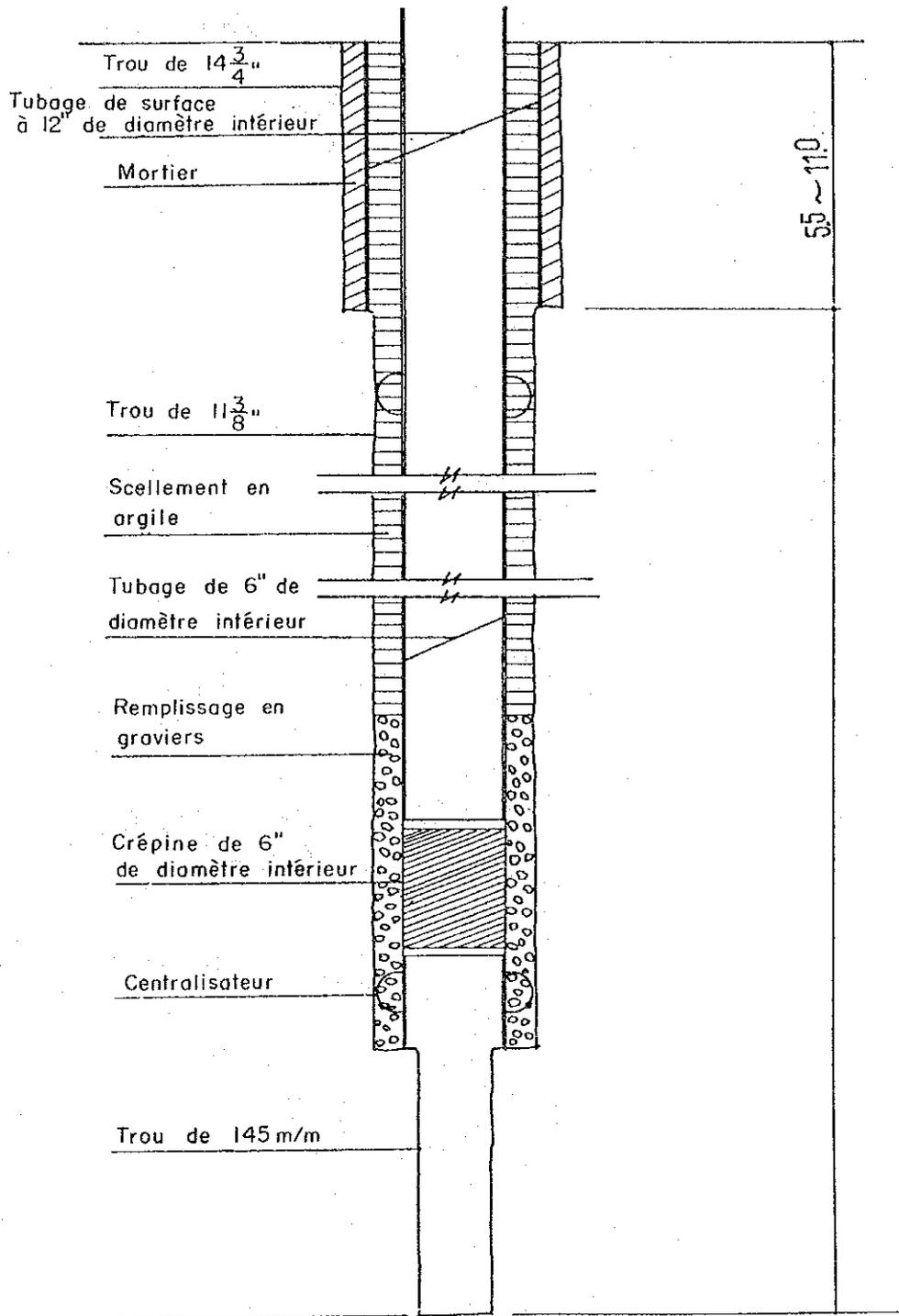
# Plan de forage "B"



La proportion est arbitraire.



# Plan de forage "C"



La proportion est arbitraire.



Modalité de la foreuse	TOP-750 (anciennement appelé TOP-300)	TOP-200
1. Mode de manoeuvre	A circulation normale de l'eau boueuse A circulation inverse de l'eau boueuse A percussion à air A forage à air	A circulation normale de l'eau boueuse A circulation inverse de l'eau boueuse A percussion à air A forage à air
2. Capacité		
Avec la tige de drille à 2 3/8 inches (60mm) de diamètre	—	—
Avec la tige de drille à 1 7/8 inches (73mm) de diamètre	500 – 750 m	150 – 200 m
Avec la tige de drille à 3 1/2 inches (89mm) de diamètre	300 – 500 m	100 – 150 m
Avec la tige de drille à 4 1/2 inches (114.3mm) de diamètre	400 m	—
Diamètre intérieur du forage	200 – 600mm	200 – 400mm

Modalité de la foreuse	TOP-750 (anciennement appelé TOP-300)	TOP-200
3. Tourillon	A pression hydraulique d'huile	A pression hydraulique d'huile
Charge maximum	14 tonnes	6 tonnes
Torsion maximum	800 kg-m	500 kg-m
Vitesse de rotation		
haut	0 – 40 rpm	0 – 45 rpm
bas	0 – 80 rpm	0 – 135 rpm
4. Pull-down	A pression hydraulique d'huile	A pression hydraulique d'huile
Pression maximum	14 tonnes	6 tonnes
Longueur du trait	8,5 m	7,5 m
5. Draw-works	A pression hydraulique d'huile	A pression hydraulique d'huile
Capacité maximum de treuil (simple)	Tambour arincipal: 5 tonnes Rouleau: 2,5 tonnes	3 tonnes
Capacité du tambour	Tambour principal: corde de 180m x 18φ Rouleau: corde de 800m x 9φ	corde de 100m x 12,5φ
6. Mât	Rabattement à pression hydraulique d'huile	Rabattement à pression hydraulique d'huile
Hauteur (fonctionnelle)	12,2 m	9 m
Charge maximum	50 tonnes	10 tonnes
7. Pompe à boue (NAS-5H)	A deux pistons à double effet	A deux pistons à double effet
Débit maximum	600 l/min.	600 l/min.
Pression maximum	25 kg/cm <sup>2</sup>	25 kg/cm <sup>2</sup>
8. Système de break-out	A pression hydraulique d'huile	A pression hydraulique d'huile
9. Système d'injection de mousse	Muni de système d'injection de mousse pour le forage à air	Id.
10. Vérin	A pression hydraulique d'huile (4 unités)	Id.
11. Moteur	Diesel 125 PS	Moteur de camion PTO
12. Véhicule	Camion à remorque pour la charge lourde	Camion à diesel à traction par toutes les roues (4 x 4)
13. Poids total	24.500 kg	14.500 kg

## 1. Essais de pompage

### Pompe immergée:

Fabrication :	FUJIGAWA-KIKAI
Modèle :	DSM 6A X 10 – 5,5
Diamètre de la bouche :	40 m/m
Débit (hauteur de pompage):	0,16 m <sup>3</sup> /min. (104m)
Vitesse de rotation :	3380 r/min.
Puissance :	5,5 KW
Alimentation électrique :	200 V
Fréquence :	60 Hz

### Groupe électrogène à diese :

#### Tuyau muni de collet pour le pompage :

50 m/m  $\varphi$  X 2,75 m

#### Accessoire à l'embout :

jauge, etc.

#### Appareil pour mesurer le niveau d'eau :

à trois cordons (dont un pour le contact avec la terre)  
avec le treuil, avec les piles

#### Tuyaux en polynite pour la mesure du niveau d'eau :

possibilité de rouler. ½inch de diamètre

#### Autres :

chronomètre, indicateur de l'arrivée à l'eau, notch tri-  
angulaire

## 2. Examen de la qualité de l'eau

Les cas de contamination par les phosphates et les sulfures ont été naguère rapportés et la pollution par le bétail due au mode de puisage a été constatée. Toutefois, cela ne constitue pas un problème sérieux actuellement. Le problème de la médecine préventive est la propagation des épidémies par la contamination des herbes souillées par les excréments des animaux ou par les bestioles, ou par les insectes.

Il a donc été décidé de faire principalement des analyses rapides sur place sur les points énumérés plus bas et de poursuivre, si nécessaire, l'analyse complète ou détaillée en fonction des résultats obtenus.

On a préparé le matériel en vue de mesurer les éléments suivants : pH, conductivité électrique,  $NH_4$ ,  $NO_2$ , fer, mercure, manganèse, fluor, etc...

### 3. Instruments de mesure sur place

1 Série de matériel simple pour l'analyse de l'eau

fabrication de Centre de Recherches physico-chimique de  
KYORITSU

3 instruments pour mesurer la conductivité électrique

Conductivity Meter TS-4, Fabrication de KURITA  
Industrial

1 série de matériel pour la mesure de pH

fabrication de NIGORIGAWA Physico-chemical Industrial

1 série de produits chimiques pour l'analyse de l'eau

Yoshi-test, fabrication de YOSHITOMI-SEIYAKU

1 série de papier à pH (divisée par 0,2 pH)

### 4. Autre matériel

Groupes électrogènes : AS-35MD, 35 KVA, 60 Hz, 220V  
et 20 KVA, 60 Hz, 220 V.

Compresseur : HOKUETSU PDSH-500  
Débit d'air  $13,5 m^3/min$ .  
Pression  $10,5 kg/cm^2$   
Moteur 183 ps