

824

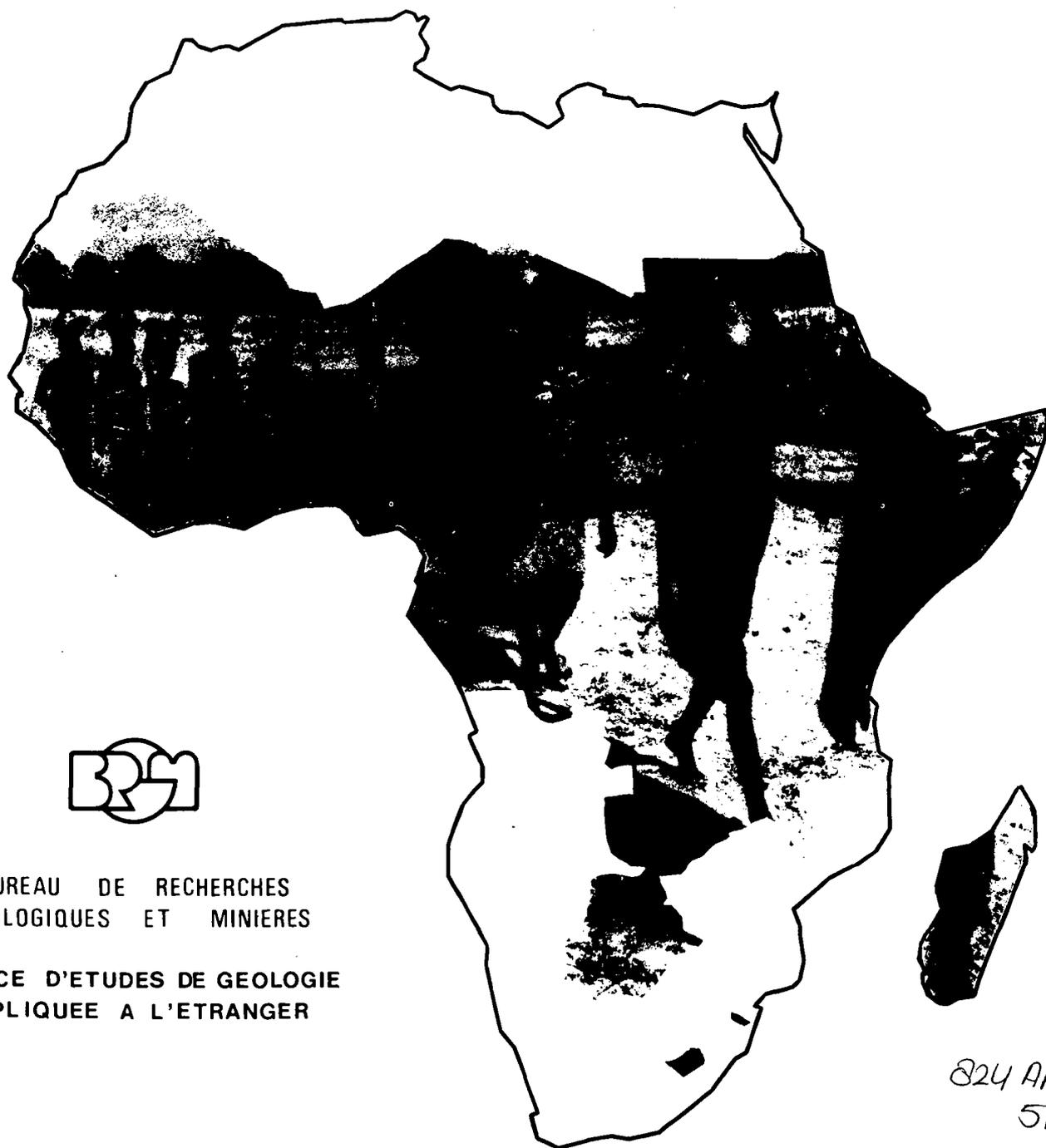
AA 77

FONDS EUROPEEN DE DEVELOPPEMENT
COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

Etude financée par le Fonds d'Aide et de Coopération
de la République Française

HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DANS LES ETATS D'AFRIQUE ASSOCIES A LA C.E.E.

carte des principaux aquifères et notice



BUREAU DE RECHERCHES
GEOLOGIQUES ET MINIERES

AGENCE D'ETUDES DE GEOLOGIE
APPLIQUEE A L'ETRANGER

824 AA 77 }
513 ... }

FONDS EUROPEEN DE DEVELOPPEMENT
DE LA COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

Etude financée par le Fonds d'Aide et de Coopération
de la République Française

513
824
MAR 77

LIBRARY
International Reference Centre
for Community Water Supply

HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DANS
LES ETATS D'AFRIQUE ASSOCIES A LA C.E.E.
carte des principaux aquifères et notice



BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIERES

AGENCE D'ETUDES DE GEOLOGIE APPLIQUEE A L'ETRANGER

Siège Social : 6-B, rue Chasseloup-Laubat - 75737 Paris Cédex 15 - Tél. : (1) 783.94.00 - Télex : B.R.G.M. 270844 F
Centre Scientifique et Technique : Avenue de Concyr, Orléans-la-Source (Loiret)
B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél. : (38) 63.80.01 - Télex : B.R.G.M. A 780258 F

77 AGE 024

SOMMAIRE

1ère PARTIE : NOTE INTRODUCTIVE

	Pages
AVANT-PROPOS	
CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA REGION ETUDIEE..	3
1.1 - SCHEMAS GEOLOGIQUES.....	3
1.1.1 - Le socle précambrien.....	3
1.1.2 - Les bassins sédimentaires.....	4
1.1.3 - Le volcanisme.....	6
1.2 - LES PRINCIPAUX AQUIFERES.....	6
1.2.1 - Aquifères discontinus.....	7
1.2.2 - Aquifères continus.....	7
1.3 - REPARTITION DE LA POPULATION RURALE.....	8
1.3.1 - Les zones à forte densité rurale.....	8
1.3.2 - Dans les régions à densité moyenne.....	9
1.3.3 - Les régions peu peuplées ou désertiques.....	9
1.4 - STRUCTURE DE L'HABITAT.....	10
1.5 - DEFINITION ET CHOIX DES RESSOURCES AQUIFERES SOUTERRAI- NES UTILISABLES POUR L'ALIMENTATION EN EAU DES POPULA- LATIONS RURALES.....	10
CHAPITRE 2 : NOTICE EXPLICATIVE DES DOCUMENTS PRESENTES.....	12
2.1 - CARTE DES RESSOURCES DES AQUIFERES.....	12
2.2 - LEGENDE GENERALE DES CARTES DE RESSOURCES.....	12
2.2.1 - Aquifères continus.....	13
2.2.2 - Aquifères discontinus.....	14
2.3 - UTILISATION DES DIVERS DOCUMENTS.....	15
2.4 - LIMITE D'UTILISATION.....	15

CHAPITRE 3 : EXPLOITABILITE DES DIFFERENTS AQUIFERES.....	17
3.1 - LES RESSOURCES DES FORMATIONS SUPERFICIELLES.....	17
3.2 - LES NAPPES DES BASSINS SEDIMENTAIRES.....	17
3.3 - LES RESSOURCES EN AQUIFERES DISCONTINUS.....	18
CRITIQUE ET LIMITES DES DOCUMENTS PRESENTES.....	20

2ème PARTIE : NOTICES PAR PAYS

	Carte n°	Notice page
BENIN.....	10	118
BOTSWANA.....	4	50
BURUNDI.....	6	64
CAMEROUN.....	7	70
CONGO.....	7	79
COTE-D'IVOIRE.....	10	111
E.C.A.....	7	73
ETHIOPIE.....	2	28
GABON.....	7	75
GAMBIE.....	9	99
GHANA.....	10	114
GUINEE.....	10	108
GUINEE-BISSAU.....	10	106
HAUTE-VOLTA.....	9	103
ILE MAURICE.....	5	59
KENYA.....	3	38
LESOTHO.....	4	54
LIBERIA.....	10	123
MADAGASCAR.....	5	55
MALAWI.....	4	45
MALI.....	9	95
MAURITANIE.....	9	90

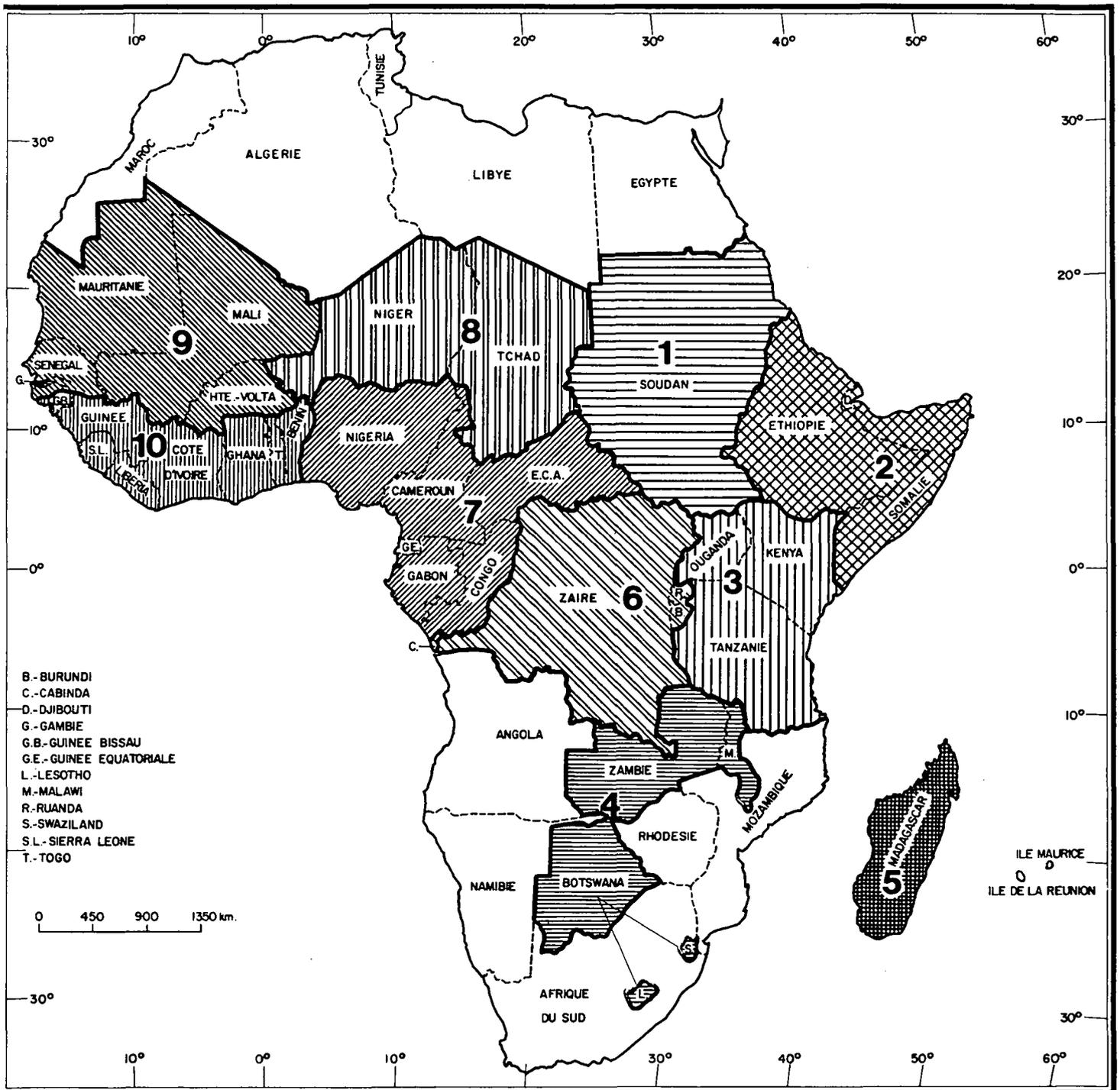
NIGER.....	8	82
NIGERIA.....	7	65
UGANDA.....	3	35
RWANDA.....	6	64
SENEGAL.....	9	99
SIERRA LEONE.....	10	121
SOMALIE.....	2	31
SOUDAN.....	1	24
SWAZILAND.....	4	53
TANZANIE.....	3	41
TCHAD.....	8	86
TOGO.....	10	116
ZAIRE.....	6	60
ZAMBIE.....	4	47

LEGENDE GENERALE..... planche hors texte

GUIDE BIBLIOGRAPHIQUE..... 125

LOCALISATION DE L'ETUDE

DETAIL DES CARTES



1ère PARTIE

NOTE INTRODUCTIVE

AVANT-PROPOS

La réalisation de points d'eau utilisant les eaux souterraines doit prendre en compte un certain nombre de contraintes qui sont d'ordre technique ou socio-économique.

Parmi les premières on peut citer :

- l'adaptation au contexte hydrogéologique local : les ressources des différentes formations géologiques sont d'importance et de qualité très variables et leur utilisation suppose que soit traité un certain nombre de problèmes concernant l'implantation précise de l'ouvrage et les techniques de réalisation qui varieront en fonction de la nature du sous-sol, de la profondeur du niveau à capter, du niveau d'équilibre de la nappe dans le sol et des éventuelles variations de la potabilité de l'eau prélevée.

- la nécessité de créer des ouvrages qui constituent une amélioration par rapport aux points d'eau traditionnels tant sous le rapport de la quantité que sous celui de la qualité.

Cette dernière contrainte fait la transition avec les contraintes d'ordre proprement économique dont les principales seraient :

- une adaptation à l'importance de la population rurale, et à la structure de l'habitat

- un aménagement qui soit en accord avec les modes de vie et les traditions locales, mais aussi avec les projets de développement économique en cours de réalisation, ou prévus à moyen et long terme dans la région considérée. Il s'agit ici d'un ensemble d'éléments souvent antinomiques qui inclut aussi bien le climat conditionnant l'importance des ressources en eaux superficielles, la densité des voies de communication, l'existence de structures coopératives, l'importance des moyens de financement qui peuvent être mis en oeuvre, le type d'économie rurale : agriculture intensive ou extensive, cultures de subsistance ou d'exportation.

Dans cette optique, il est apparu aux services spécialisés de la Communauté Economique Européenne (C.E.E.), qu'il serait nécessaire de définir

en fonction de ces différentes contraintes les techniques les plus appropriées et les plus économiques pour la réalisation de points d'eau villageois. Le volet proprement technique réalisé sur un financement de la C.E.E. a été confié au Bureau d'études et de géologie appliquées (BURGEAP). Il traite plus spécifiquement des moyens de captage et d'exaure et fait l'objet d'un rapport séparé.

Le volet ressources en eau souterraine développé dans la présente étude a été réalisé par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) sur un financement du Fonds d'Aide et de Coopération (F.A.C.) de la République Française. Il traite des problèmes proprement hydrogéologiques en procédant à une analyse des principales caractéristiques des conditions hydrogéologiques et géomorphologiques existantes.

Cette étude qui se veut pratique est accompagnée de documents cartographiques portant sur l'ensemble des pays africains associés à la C.E.E.. Elle résulte d'une enquête réalisée dans un temps relativement court à partir de la seule documentation disponible essentiellement au CNRS, à l'UNESCO et au BRGM. Elle doit donc être considérée comme une synthèse approchée des problèmes hydrogéologiques particuliers que seule une enquête sur place permettrait de cerner.

CHAPITRE 1

CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA REGION ETUDIEE

Les états associés d'Afrique occupent en totalité la zone sahélienne ainsi que la plus grande part des zones équatoriales et tropicales.

Comme partout ailleurs l'importance et les caractéristiques des ressources en eau souterraine dépendent en première analyse de la nature et de la structure des formations géologiques affleurantes, ou situées à faible profondeur, dans la mesure où l'on admet que les ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable ne dépassent qu'exceptionnellement 500 m. Ces "faciès" géologiques déterminent un certain nombre "d'aquifères" de potentialités très variables et dont, en conséquence, les conditions d'utilisation sont elles-mêmes variables.

Par ailleurs l'analyse de ces possibilités d'exploitation varie en fonction de l'importance de la population rurale et de la structure de l'habitat. De ce fait, il a paru nécessaire de schématiser rapidement le contexte géologique et la répartition de la population rurale ceci permettant d'esquisser une première définition régionale des principales ressources aquifères.

1.1 - SCHEMAS GEOLOGIQUES

L'examen de la carte géologique simplifiée (1/10 000 000) hors texte permet de mettre immédiatement en évidence l'importance des zones du "socle" constituant des sortes de mûles autour desquels s'articulent des bassins sédimentaires côtiers ou continentaux.

1.1.1 - Le socle précambrien

Il apparaît le plus souvent sous forme de massifs pénéplanés, plus ou moins isolés en Afrique de l'Ouest et centrale ("boucliers" mauritaniens, guinéen, voltaïen, nigérien, du Congo-Gabon), plus continus en Afrique de l'Est où, du Soudan à la Zambie, ils forment plus des 2/3 des affleurements.

Il s'agit de formations géologiques "anciennes" regroupées sous des vocables divers : socle, complexe de base, précambrien indifférencié, et au sein desquelles on distingue en fonction de la stratigraphie et des cycles orogéniques et en partant des terrains les plus anciens :

- Précambrien D constitué essentiellement de granites, gneiss et roches fortement métamorphisées ; les principales séries qui lui sont rapportées sont le "Dahoméen" en Afrique occidentale, les séries de Nyanzian en Afrique de l'Est, le Suggarien au Sahara, le système Androyen à Madagascar.

- Précambrien C et Précambrien B : il s'agit de séries à dominante schistes quartzites et roches peu ou moyennement métamorphisées, Pharusien du Sahara, Birrimien, Tarkwaïen et Buem d'Afrique occidentale, Francevillien et Ruzizi du Congo-Gabon, séries de Kyoga, Buganda, Karagwe-Ankolean, Kigoma de l'Afrique de l'Est ; séries de Vohibory de Madagascar.

- Précambrien A, souvent mal séparé des séries infracambriennes supérieures, représenté également par des schistes, des quartzites des formations volcaniques : séries d'Idouban en Afrique occidentale, Atacorien du Nigéria, système du Congo occidental au Congo et au Gabon, séries du Bunyoko, Bukoda, Malagarasi de l'Afrique de l'Est, séries de quartzites de Madagascar.

1.1.2 - Les bassins sédimentaires

Seul le bassin de Taoudeni au Nord-Ouest de la région étudiée et son prolongement le bassin du Tchad ont une importance inter-régionale. Partout ailleurs, il s'agit de bassins locaux (Zaïre) ou côtiers dont les plus importants sont ceux du Sénégal, de la Mauritanie, du Nigéria, de la Somalie et du Kenya, de Madagascar.

On y distingue des séries marines qui n'intéressent les bassins continentaux que jusqu'à la fin de l'ère primaire, et des séries continentales dont le développement est considérable.

- Les séries marines, les plus caractéristiques du point de vue hydro-géologique sont :

. l'Infracambrien surtout remarquable par des niveaux de calcaires à stromatolithes qu'on rencontre aussi bien en Afrique de l'Ouest qu'en Zambie et à Madagascar.

. le Cambrien est à dominante schisteuse et argileuse et n'est important que dans le domaine saharien de même que les séries gothlandiennes et dévoniennes à dominante gréseuse. Le Carbonifère et le Dévonien avec des calcaires terminent les séries primaires uniquement au centre du bassin de Taoudeni. La plupart des affleurements sont recouverts par les formations continentales postérieures.

. le Jurassique et le Crétacé ne sont bien représentés sous la forme de séries carbonatées ou gréseuses que dans les bassins côtiers, particulièrement en Afrique de l'Ouest et en Afrique orientale.

. les sédiments tertiaires marins alternent dans les mêmes bassins côtiers avec des formations continentales. Ils sont également à dominante marno-calcaire.

- Les sédiments continentaux couvrent d'immenses surfaces sur des épaisseurs atteignant localement plus de 1 000 m tant au Nord qu'au Sud, les épisodes les plus importants étant :

. le Continental Intercalcaire s'étendant de la fin du Primaire au début du Tertiaire surtout dans l'Afrique saharienne du Centre et de l'Ouest et dans le bassin du Congo.

. le Karoo en Afrique sud équatoriale et à Madagascar avec des formations gréseuses et schisteuses (séries du Dwyka - Ecca - Beaufort) terminées par un épisode volcanique sous forme de laves basaltiques.

. les grès de Nubie équivalents du Continental Intercalcaire où on compte plusieurs épisodes marins.

. le Continental Terminal (Tertiaire et Quaternaire) de l'Afrique sahé-
lienne qui a son équivalent dans les formations de Kalahari au Sud.

- Les formations quaternaires bien que d'extension et d'épaisseur beaucoup moins considérables ont une grande importance parce que plus facilement accessibles ; les sédiments fluviolacustres peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres dans les bassins des fleuves (Congo - Niger - Nil supérieur) ou en bordure des lacs. Les dépôts d'estuaire sont très importants dans tout le golfe de Guinée. Enfin des formations dunaies sont très développées dans tout le domaine saharien.

D'une façon tout à fait générale pour la région considérée les formations granitiques ou schisteuses sont profondément altérées et masquées par des produits d'altération ; arènes granitiques, altérites argileuses, des schistes, etc.

1.1.3 - Le volcanisme

Le socle africain a été affecté par un réseau de fractures selon deux directions principales orthogonales SW-NE et NW-SE. Ces fractures ont donné naissance à des fossés d'effondrement très développés en Afrique de l'Est ("Rift Valleys") où se sont manifestés des phénomènes volcaniques particulièrement importants à la fin du Tertiaire et au Quaternaire. Les massifs volcaniques formés surtout de roches basaltiques sont importants au Tibesti, en Ethiopie, au Kenya et du Cameroun à l'île de Ste Hélène. Des épanchements plus localisés sont signalés aux îles du Cap Vert, à Madagascar et au Lesotho.

1.2 - LES PRINCIPAUX AQUIFERES

A partir de cette différenciation schématique des principaux faciès géologiques il est commode de distinguer deux types principaux de ressources aquifères souterraines :

- les "aquifères discontinus" correspondant à ceux existant dans des formations géologiques cohérentes et compactes, peu ou pas perméables, mais ayant acquis localement une perméabilité secondaire soit par altération physicochimique, soit par fissuration ou fracturation : on les rencontre presque exclusivement dans les terrains anté-crétacés donc "anciens".

- les "aquifères continus" correspondant à des nappes généralisées d'extension au moins régionale situées dans des formations ayant une lithologie et une structure homogènes à l'échelle considérée : ils correspondent sensiblement aux formations sédimentaires post-jurassiques.

Cette différenciation qui reste schématique puisque par exemple une fracturation suffisamment importante, interconnectée et généralisée aboutit à la mise en place d'un aquifère pratiquement continu, permet, à partir de l'étude géologique définie plus haut, de classer les différentes formations passées en revue.

1.2.1 - Aquifères discontinus

- Granites et gneiss du complexe de base
- Schistes et grès des formations précambriennes
- Calcaires de l'Infracambrien
- Formations basaltiques récentes
- Formations continentales anciennes, type Karoo.

Ces trois dernières formations ont des caractéristiques très hétérogènes et localement la fissuration y est suffisamment importante pour donner naissance à des nappes quasi continues.

1.2.2 - Aquifères continus

- Formations du Continental Intercalaire, du Continental Terminal, et des grès de Nubie
- Séries carbonatées et gréseuses du Secondaire et du Tertiaire
- Formations quaternaires alluviales, dunaires ou lagunaires.

Dans ce dernier cas les variations d'épaisseur et de lithologie peuvent conduire à un compartimentage en petites nappes de faible importance pratiquement isolées les unes des autres.

D'une manière générale les zones de formations géologiques "anciennes" qui recouvrent près des 2/3 de la surface étudiée dans la région prise en compte, ont des ressources aquifères souterraines très inférieures à celles des zones de dépôts récents.

1.3 - REPARTITION DE LA POPULATION RURALE

La carte à 1/10 000 000 (hors-texte) fournit une représentation schématique de la densité de la population en Afrique. Etablie à partir de documents synthétiques d'origine diverse (en particulier les atlas nationaux des divers pays concernés), donc non homogènes, elle ne peut constituer qu'une première analyse de cette densité d'autant plus qu'on ne dispose pas partout de statistiques de même qualité.

Le rapprochement du schéma géologique de l'Afrique et de cette carte de densité de population conduit aux observations générales suivantes.

1.3.1 - Les zones à forte densité rurale (> 100 hab/km²) correspondent à trois types d'ensembles géologiques :

- les massifs de roches volcaniques récentes, qu'ils apparaissent sous forme de basaltes effusifs ou de coulées stratoïdes : massifs éthiopiens, régions volcaniques du Kenya et de la Tanzanie, et dans une moindre mesure, du Cameroun et du Zaïre.

- certaines formations précambriennes anciennes à dominante granites et gneiss au voisinage du lac Victoria, et dans le massif nigérien de part et d'autre de la vallée du Niger.

- la vallée du Nil et ses affluents lorsque le fleuve coule sur des formations sédimentaires, ce qui permet un développement plus important des zones alluviales (delta intérieur du Nil) ; inversement lorsque le fleuve coule sur des terrains anciens (Nord d'Altbarah), la population est beaucoup moins nombreuse.

De plus, certaines zones côtières correspondant à des bassins sédimentaires peuvent être très peuplées. En fait, il s'agit souvent d'une concentration de population en relation avec la présence d'une ou plusieurs villes importantes, le phénomène étant particulièrement net en Afrique de l'Ouest.

1.3.2 - Dans les régions à densité moyenne (30 à 100 hab/km²) on retrouve deux des ensembles géologiques définis plus haut :

- les zones de plateaux correspondant aux massifs précambriens pénéplanés. A cette échelle, il est difficile de préciser si certains "faciès" semblent plus favorisés que d'autres mais les affleurements de roches quartzitiques et arkosiques semblent les moins peuplés.

- les vallées des grands fleuves (sauf le Congo) lorsque le développement alluvionnaire y est important.

D'autres régions, correspondant en particulier aux affleurements des roches carbonatées infracambriennes, présentent localement une assez forte densité de peuplement mais dans la mesure où il s'agit aussi de région à forte potentialité économique (zone minière de Zaïre - Zambie par exemple) des phénomènes autres que géologiques interviennent sûrement.

1.3.3 - Les régions peu peuplées ou désertiques correspondent :

- à tous les grands bassins sédimentaires de la zone sahélienne, de la Mauritanie au Soudan et à la Somalie incluse.

- aux bassins sédimentaires intérieurs en zone subtropicale (bassins de la Benoue et du Niger, bassins fluviolacustres de l'ECA, du Congo et du Zaïre),

- à certains bassins côtiers en liaison avec des zones marécageuses.

Ce classement ne doit néanmoins pas être appliqué systématiquement à l'ensemble des pays concernés. Ainsi en zone de forêt équatoriale la densité de population est pratiquement partout faible, et inversement des concentrations se produisent localement en lisière de forêt sur une profondeur de 50 à 100 km quel que soit le type de terrain sous-jacent (Côte d'Ivoire - Zaïre). De même on connaît certaines zones de massifs précambriens pratiquement désertes en Afrique subtropicale (E.C.A, Côte d'Ivoire...).

Il reste qu'à pluviométrie égale les régions à aquifères discontinus et donc à ressources en eaux souterraines faibles et difficiles à capter sont sensiblement plus peuplées que les bassins sédimentaires correspondants où des nappes continues et importantes permettraient la réalisation systématique d'un réseau de points d'eau à fort débit fournissant une eau généralement de bonne qualité.

1.4 - STRUCTURE DE L'HABITAT

Le problème de la structure de l'habitat est pratiquement impossible à traiter à l'échelle choisie. Selon le schéma traditionnel cet habitat est très généralement dispersé en zone équatoriale, regroupé sous forme de villages de 3 à 500 habitants en zone subtropicale et soudanaise, et à nouveau plus dispersé en zone sahélienne et désertique. Pour visualiser ce schéma on a porté sur la carte les limites des grandes zones de végétation. Ce schéma très général est en cours de modification spontanée (sédentarisation des peuples sahéliens) ou délibérée (expériences de Tanzanie) : globalement il semble qu'on puisse considérer qu'on tend vers des "unités", dont la population serait comprise entre 200 et 1 000 habitants suivant les régions, même si dans beaucoup de cas on ne peut encore parler de "communautés villageoises" au sens traditionnel du terme.

Pratiquement et au niveau du besoin en eau actuellement estimé ou projeté à court et moyen termes (de 20 à 50 l/j par habitant) le débit du point d'eau villageois devrait être compris entre 0,5 et 5 m³/h en supposant une utilisation moyenne de 10 heures par jour (la moyenne dans plus de 50 % des cas étant comprise entre 1 et 2 m³/h).

1.5 - DEFINITION ET CHOIX DES RESSOURCES AQUIFERES SOUTERRAINES UTILISABLES POUR L'ALIMENTATION EN EAU DES POPULATIONS RURALES

A partir des différentes contraintes recensées ci-dessus (contexte hydrogéologique et répartition de la population rurale) et pour définir les ressources aquifères souterraines utilisables par les populations rurales on aboutirait donc :

- à une étude détaillée des formations géologiques du socle précambrien
- partout ailleurs, à une recherche des formations superficielles susceptibles de fournir à faible profondeur des débits suffisants pour alimenter une communauté villageoise (2 m³/h en moyenne).

Néanmoins cette étude, qui au niveau cartographique se limiterait alors à figurer les seules formations du socle et des recouvrements superficiels, est apparue trop limitée pour les raisons suivantes :

- dans de nombreux cas ces formations superficielles ne sont pas toujours d'une qualité telle qu'elles puissent être systématiquement utilisées pour l'alimentation en eau potable

- les besoins villageois croissent au niveau de l'individu mais également de la collectivité, le développement des techniques agricoles supposant très souvent une augmentation des besoins en eau

- d'une manière très générale, les techniques d'hydraulique rurale, variables selon les pays concernés, tendent toutes à moyen ou long terme vers un certain développement d'unités équipées de pompes manuelles dans un premier temps, mécaniques ultérieurement. Ceci implique la mise en place d'ouvrages ayant des débits supérieurs aux besoins actuellement exprimés. Même si la justification économique de tels ouvrages est encore loin d'être évidente partout, il a paru nécessaire dès à présent de schématiser l'ensemble des ressources hydrauliques souterraines disponibles même si elles sont pour le moment mal connues, et peu ou pas utilisées pour l'alimentation en eau des populations.

CHAPITRE 2

NOTICE EXPLICATIVE DES DOCUMENTS PRESENTES

Deux problèmes principaux étaient à traiter simultanément : définir les caractéristiques des différentes zones hydrogéologiques et en déduire les problèmes posés par leur exploitation. Compte tenu de l'échelle choisie la quasi-totalité des données recueillies et synthétisées pour l'étude de ces problèmes a été répertoriée cartographiquement.

En dehors des cartes générales au 1/10 000 000 qui ont été présentées ci-dessus et qui schématisent le contexte géologique et la répartition de la population, l'essentiel des documents fournis est donc constitué par des cartes de ressources à l'échelle du 1/5 000 000. Ces cartes sont établies essentiellement à partir des caractéristiques des grandes unités hydrogéologiques. Le regroupement des pays au niveau de chaque carte s'est fait en s'efforçant de tenir compte d'une certaine unité climatique (pays sahéliens par exemple) ou socio-économique (Afrique de l'Est anglophone).

2.1 - CARTE DES RESSOURCES DES AQUIFERES

Ces cartes s'efforcent de traiter région par région le problème des ressources effectivement disponibles à partir d'une cartographie des grandes unités hydrogéologiques. On y trouve également le tracé des isohyètes annuels qui exprime schématiquement la possibilité de renouvellement de ces ressources ; en deçà d'une pluviométrie de 400 mm ce renouvellement est négligeable en dehors des zones de ruissellement.

2.2 - LEGENDE GENERALE DES CARTES DE RESSOURCES

Cette légende est basée sur la définition des principales unités hydrogéologiques. A partir d'une différenciation simple entre aquifères continus et discontinus, on a procédé à une analyse plus détaillée qui a conduit à créer 9 divisions principales, correspondant à 9 unités hydrogéologiques dont les ressources aquifères peuvent être caractérisées avec assez de précision, ces caractéristiques permettant par ailleurs d'apprécier les problèmes posés par l'utilisation de ces ressources.

La légende générale hors texte donne donc sous ces deux aspects les caractéristiques générales des unités ainsi définies. On se bornera donc ici à fournir quelques précisions supplémentaires qui ont pour but essentiel de corriger ce que cette division commode peut avoir de trop systématique.

2.2.1 - Aquifères continus

- Recouvrements superficiels (c_1) : l'épaisseur de ces formations peut atteindre 100 m et même localement plus (vallée du Congo) mais reste très généralement inférieure à 50 m. Ces ressources sont celles qui sont le plus exploitées traditionnellement. Quand cela est possible, nombre d'ouvrages de captage modernes cherchent à les isoler car elles sont très souvent vulnérables aux pollutions superficielles.

- Formations de bassins sédimentaires (c_2) et (c_3) : dans les bassins sédimentaires, il existe très généralement plusieurs nappes superposées d'importance et de qualité variables. On a établi une différenciation qui localement peut paraître arbitraire, selon que les nappes les plus proches de la surface sont utilisables pour l'alimentation en eau potable ou non. Le chiffre de 100 m choisi comme référence correspond à celui au-delà duquel la construction d'un puits à main par des méthodes traditionnelles ou par des méthodes modernes devient aléatoire. On pourrait aussi se baser sur le chiffre du niveau d'équilibre de l'eau dans le sol. Au-delà de 50 m, le puisage à main n'est généralement plus pratiqué. Ces deux références cohérentes correspondent sensiblement aux limites d'exploitation des nappes phréatiques ou subphréatiques.

Des critères de qualité interviennent également pour empêcher l'exploitation des nappes proches de la surface ; le caractère impropre à la consommation peut tenir à une contamination par des eaux superficielles au voisinage de la mer ou de lacs saumâtres par exemple, ou par des faciès lithologiques particuliers : niveaux de gypse ou d'argiles par exemple.

Cette différenciation, qui reste valable à l'échelle choisie, peut dans le détail se révéler inopérante. Une nappe phréatique globalement exploi-

table à des profondeurs inférieures à 50 m, peut localement présenter un niveau d'équilibre à 80 ou 100 m sous la surface du sol, ou être contaminée en bordure de mer (bassin sénégal-mauritanien). Inversement, une nappe profonde captive ou en charge sur une grande partie du territoire considéré peut localement être libre et utilisable à des profondeurs faibles (nappe des Grès de Nubie). Il reste que l'utilisation des ressources aquifères classées dans la catégorie c_3 nécessite généralement une étude locale des conditions et caractéristiques de gisement avant toute implantation d'un ouvrage d'exploitation.

2.2.2 - Aquifères discontinus : la définition des différentes catégories est essentiellement basée sur la nature de la roche-magasin, les ressources aquifères pouvant exister soit dans la frange altérée soit dans les secteurs fracturés. Trois grandes unités ont été sélectionnées.

- Les formations du socle (d_1) très généralement d'âge précambrien parmi lesquelles on isole le faciès granite-gneiss (d_{1a}) qui a des caractéristiques assez constantes. Tous les autres faciès où dominent schistes et quartzites souvent très affectés par le métamorphisme ont été cartographiés sous la même rubrique, sans distinction de faciès (d_{1b}). Lorsqu'une distinction de faciès a été possible, ceux-ci ont été cartographiés en (d_4).

- Les formations primaires et infracambriennes (d_4). On y rencontre tous les faciès des roches sédimentaires (calcaires, grès, argiles) mais très souvent indurés et légèrement métamorphisés. Les potentialités de ces différents faciès sont très variables même localement, et l'attribution de caractères spécifiques à chacun d'eux procède souvent d'une extrapolation à partir d'études partielles localisées dans l'un ou l'autre des pays concernés.

Quatre faciès ont été distingués :

- (d_{4a}) schistes dominants
- (d_{4b}) grès-quartzites dominants
- (d_{4c}) roches carbonatées dominantes
- (d_{4d}) argiles dominantes.

- Les roches volcaniques (d_2) + (d_3). On a pris ici en compte les roches volcaniques récentes du Tertiaire et du Quaternaire qui seules semblent avoir des caractéristiques spécifiques. La distinction entre roches acides et

basiques tient au fait que seules ces dernières semblent avoir une fracturation bien développée en profondeur, et peuvent donc contenir des ressources importantes, assimilables parfois à un aquifère continu si cette fracturation est suffisamment généralisée. On notera cependant que les roches acides, apparemment beaucoup moins fréquentes, ont été moins prospectées et une étude plus détaillée montrerait peut-être que leurs caractéristiques du point de vue hydraulique sont sensiblement équivalentes à celles des roches basiques.

2.3 - UTILISATION DES DIVERS DOCUMENTS

- La lecture de la carte des ressources permet de replacer la région étudiée dans l'une ou l'autre des catégories ainsi définies, le report à la légende générale permettant d'en déduire les principales caractéristiques. Cette première approche générale a été complétée partout où cela a paru possible par une étude plus détaillée au niveau de chaque pays.

- Chaque carte des ressources porte en légende un cartouche remplaçant les principales unités hydrogéologiques cartographiées dans la légende générale définie plus haut. Ces différentes unités sont reprises au niveau d'une notice explicative plus détaillée qui fait l'objet de la deuxième partie de cette étude. Chaque notice par pays s'efforce de fournir des caractéristiques plus précises entre autres sur la profondeur de l'eau dans le sol, et sur la qualité des eaux utilisables au moins là où des données ont pu être recueillies. On a complété chaque notice par un schéma géologique général du pays, et une étude plus détaillée de la répartition de la population.

2.4 - LIMITE D'UTILISATION

La présente étude fondée sur une documentation qualitativement hétérogène et quantitativement non exhaustive doit être considérée comme une synthèse hydrogéologique essentiellement axée sur un objectif d'équipement hydraulique villageois.

L'échelle utilisée dans cette étude a impliqué certaines simplifications et/ou extrapolations qui peuvent dans certains cas, localement, s'avérer abusives. De ce fait les documents et cartes établis ne doivent être

considérés que comme un outil de planification permettant d'orienter à l'échelon national ou régional les projets d'équipement hydraulique rural. Ils ne peuvent en aucune manière dispenser d'une étude hydrogéologique détaillée au stade de la réalisation de l'aménagement.

CHAPITRE 3

EXPLOITABILITE DES DIFFERENTS AQUIFERES

Le report aux notices rédigées pour chaque pays permet malgré l'hétérogénéité des données recensées, de synthétiser schématiquement les potentialités aquifères des différents faciès hydrogéologiques reconnus.

3.1 - LES RESSOURCES DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

A peu près uniformément réparties, elles sont d'épaisseur et de faciès très variables, mais leur caractère général est la présence de niveaux plus argileux provoquant des cloisonnements entre les différents niveaux aquifères et ayant souvent une influence néfaste sur la qualité de l'eau. Par ailleurs, les ressources locales peuvent y être contaminées soit par des eaux de mer, soit par des eaux saumâtres à proximité des grands lacs en particulier.

Les ressources en eau des formations superficielles pourraient, dans la quasi-totalité des cas, couvrir les besoins actuellement exprimés par les communautés villageoises, partout où l'épaisseur de ces formations est supérieure à 20 m. Le mode d'exploitation le plus adapté reste le puits de grand diamètre, mais le maintien du paysage à main pose des problèmes de pollution des eaux prélevées.

3.2 - LES NAPPES DES BASSINS SEDIMENTAIRES

La plupart des bassins sédimentaires contient plusieurs nappes superposées, les potentialités les plus importantes correspondant aux formations continentales sableuses ou gréseuses, que l'on retrouve avec une plus ou moins grande extension dans tous les bassins sédimentaires recensés.

La première des nappes rencontrées ne se prête pas toujours à une utilisation pour l'alimentation en eau potable, essentiellement à cause des problèmes de qualité, ceci étant vrai aussi bien dans certains bassins côtiers

(Mauritanie - Sénégal ou Kenya) que dans les bassins intérieurs (Tchad). Sauf cas local, on trouvera pratiquement toujours une nappe plus profonde susceptible d'assurer le relai de ce premier niveau. Dans ces conditions, on peut penser que dans la quasi-totalité des cas, il est possible dans tous les bassins sédimentaires de réaliser des ouvrages ayant une profondeur maximum voisine de 100 m, en utilisant une nappe dont le niveau d'équilibre ne s'établit qu'exceptionnellement au-delà de 50 m.

Dans la mesure où il s'agit très souvent de zones désertiques ou très peu peuplées, l'équipement actuel est encore basé sur le puits à main traditionnel ou moderne. Seuls, certains pays comme le Soudan multiplient les sondages, ou même les groupes d'ouvrages. Il est certain que les énormes potentialités de la plupart de ces bassins seraient du point de vue hydrogéologique mieux utilisées par des forages. Ces ouvrages permettent en effet de sélectionner la nappe présentant les meilleures caractéristiques (débit - qualité - niveau d'équilibre par rapport au sol) et en particulier d'utiliser les phénomènes d'artésianisme très fréquents dans les nappes profondes. Il semble néanmoins que la réalisation de tels ouvrages ne puisse se concevoir que dans le cadre de projets de développement complets, et dont les finalités ne seraient pas simplement l'alimentation en eau potable des habitants.

3.3 - LES RESSOURCES DES AQUIFERES DISCONTINUS

Rappelons que plus des 2/3 des populations des pays africains associés ne peuvent faire appel aux eaux souterraines que dans des zones à aquifères discontinus. La documentation disponible en ce domaine ne permet pas d'obtenir des informations suffisamment précises et confirmées par recouplements. De cette enquête, il est possible néanmoins de dégager un certain nombre d'indications qui complètent la légende générale de la carte.

- L'effort de recherche actuel porte de façon générale sur les phénomènes de fissuration. Contrairement à ce que l'on pensait encore il y a quelques années, sous la roche altérée la fissuration peut se poursuivre localement sur plusieurs dizaines de mètres. Cette extension en profondeur

paraît développée aussi bien au niveau des roches volcaniques que granitiques ou schisteuses mais également dans certaines formations gréseuses, quartzitiques et carbonatées. Dans ce dernier cas, elle donne naissance à un karst.

- Cette fissuration profonde paraît souvent assez généralisée dans les faciès volcaniques récents et dans les faciès carbonatés dès que les séries concernées ont été plissées. Dans les autres faciès, les guides de recherches pourraient être les zones de failles, les zones filoniennes, les contacts entre autres formations...

- Dans les séries granitiques et schisteuses, les données obtenues sont beaucoup moins nettes. Ici et en première analyse la fissuration ne semble pas sensible au-delà de 50 m de profondeur en moyenne, mais ces indications semblent le plus souvent obtenues à partir d'ouvrages anciens et les données des ouvrages récents ne sont pour le moment que pas ou peu accessibles en particulier en Afrique anglophone.

- La recherche de zones fissurées profondes a conduit à porter la profondeur moyenne des ouvrages réalisés dans l'ensemble de ces formations de 20 m à plus de 50 m ces dernières années et même 100 m dans les faciès schisteux carbonatés ou gréseux. Dans ces conditions, il apparaît nettement que, du point de vue hydrogéologique, seul le forage de petit diamètre (< 6" à la base) est l'équipement adapté à ce type de formations. Par ailleurs, on notera qu'il permet de limiter l'influence des fluctuations saisonnières du niveau de l'eau, dans la mesure où il capte des ressources plus profondes et moins immédiatement influencées par la pluviométrie.

L'ensemble de ces données reste très fragmentaire, mais pourrait sans doute être complété par une enquête plus détaillée au niveau de certains pays (essentiellement : Kenya - Tanzanie - Zambie) où des milliers d'ouvrages ont été réalisés dans ces formations. L'établissement de séries statistiques en fonction de la profondeur, de la pluviométrie, de la nature de la formation géologique, et leur analyse critique devraient permettre d'orienter l'ensemble des travaux futurs dans tous les pays d'Afrique tropicale ou subtropicale.

CRITIQUE ET LIMITES DES DOCUMENTS PRESENTES

- La présente étude constitue une synthèse relativement rapide d'une documentation qui n'était qu'incomplète. Dans la mesure où un certain nombre de conclusions et de choix ont été faits, ces choix et conclusions pourront être localement sans objet, ou dépassés à la suite de travaux récents. En ce domaine, rien ne peut remplacer le contact avec les réalités locales, un grand nombre de données brutes n'étant accessibles que sur place. Ceci est vrai en particulier en ce qui concerne les caractéristiques techniques des ouvrages, ces caractéristiques étant souvent les seules données sur les potentialités réelles des formations aquifères. Même si l'échelle choisie peut atténuer ces insuffisances, elle conduit obligatoirement à des simplifications abusives.

De plus, l'hétérogénéité de cette documentation conduit corrélativement à une hétérogénéité dans la précision et la valeur de la synthèse qui en a été faite.

D'une façon générale, les études synthétiques étant plus nombreuses en Afrique de l'Ouest surtout francophone, on peut considérer que les ressources des grands bassins sédimentaires sont bien connues dans cette région mais beaucoup moins ailleurs. Inversement, les formations du socle plus systématiquement prospectées en Afrique orientale, peuvent paraître de ce seul fait y avoir des potentialités supérieures. C'est surtout en ce domaine, qu'une synthèse des données brutes disponibles à partir des résultats des milliers d'ouvrages réalisés depuis 30 ans dans les pays concernés, devrait permettre de caractériser les ressources aquifères en tenant compte des facteurs climatiques et socio-économiques, et de définir ainsi dans chaque cas les types d'ouvrages adaptés.

- On a insisté au début de cette étude sur les différences de conception qui président à l'élaboration et à la réalisation des points d'eau de village. Si par exemple, en Afrique de l'Ouest francophone, on procède souvent à des études préliminaires systématiques, régionales ou locales, ces études sont souvent réduites au minimum en Afrique anglophone, où l'on préfère le plus souvent réaliser immédiatement des ouvrages utilisables. Si dans le

premier cas, on limite en principe les risques d'échec, la nécessité de multiplier les ouvrages conduit en Afrique anglophone à l'utilisation et à la généralisation de techniques de réalisation rapides, basées surtout sur le forage qu'il faut, dans tous les cas, équiper au moins d'une pompe à main. Un certain nombre d'habitudes ont été ainsi prises, habitudes dont on devra tenir compte dans le choix de l'équipement le mieux adapté, même si au terme de cette étude qui se veut essentiellement hydrogéologique, il apparaît que la technique de l'équipement par forage paraît dans la majeure partie des cas la mieux adaptée au contexte hydrogéologique des pays associés africains.

- Lors de l'étude des différentes zones hydrogéologiques cartographiées, on a rappelé que les limites entre les deux catégories d'aquifères (continus ou discontinus) pouvaient être assez floues, et que par exemple, une fracturation ou fissuration suffisamment généralisée et importante pouvait conduire à la présence d'une nappe locale présentant tous les caractères d'un aquifère continu alors même que l'on se trouve en zone d'aquifères discontinus. Ceci amène à poser la question de la validité des différenciations établies.

D'autres schémas étaient imaginables et on a déjà signalé celui conduisant à cartographier les seules formations superficielles et du socle, dans la mesure où elles sont presque toujours susceptibles de couvrir les besoins actuellement exprimés des communautés villageoises.

Dans le même esprit, et sachant donc que les premières formations affleurantes quelles que soient leurs natures lithologiques, sont susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation en eau potable, on aurait pu établir une distinction en se basant uniquement sur la profondeur de l'eau dans le sol, et sur la qualité des eaux, données qui apparaissent fondamentales puisqu'elles conditionnent la nature du point d'eau et son mode d'exploitation.

D'autres critères, relatifs en particulier à la nature du terrain qu'il est nécessaire de traverser et d'exploiter (dureté et cohérence - nature lithologique...) aux fluctuations des niveaux selon les saisons... peuvent intervenir. Divers essais ont été faits pour introduire au moins partiellement ces différents aspects dans les caractéristiques générales des formations. Il est apparu qu'à l'échelle choisie, il est pratiquement impossible de les faire

figurer soit faute de renseignements précis, soit en raison des marges d'erreur qu'il faudrait prendre et qui enlèveraient aux renseignements fournis tout caractère significatif.

Il n'en reste pas moins que les différents problèmes évoqués doivent être pris en compte dans toute étude régionale détaillée.

- Il apparaît donc nettement que les documents présentés constituent une première approche des problèmes posés par l'exploitation des eaux souterraines. Ces cartes devraient permettre d'orienter, à l'échelon national ou régional, les projets d'équipement destinés à améliorer l'économie rurale. Prenant en compte les seules contraintes hydrogéologiques, elles doivent obligatoirement être complétées par d'autres documents étudiant le contexte socio-économique local, et permettre ainsi de définir en connaissance de cause l'équipement le mieux adapté en fonction du but poursuivi. Par ailleurs au niveau de l'exécution, ces cartes ne peuvent en aucune manière dispenser d'une étude hydrogéologique détaillée.

2ème PARTIE

NOTICES PAR PAYS

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU SOUDAN

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit de l'état le plus vaste d'Afrique (2,6 M km²), le centre du pays étant occupé par une dépression encadrée à l'Est par le massif éthiopien, à l'Ouest par les plateaux séparant le bassin du Nil de celui du Tchad.

Le climat très désertique au Nord du 18e parallèle passe à un climat de type équatorial continental au Sud du pays, les isohyètes étant sensiblement ouest-est sauf à la frontière éthiopienne.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- Les formations précambriennes qui recouvrent 49 % du territoire sont surtout représentées au Centre et au Nord-Est du pays.

- Tout le Nord-Ouest du pays est le domaine des "grès de Nubie" formations continentales d'âge secondaire et tertiaire et dont l'épaisseur atteint 500 m localement. Symétriquement affleure au Sud la formation d'Um-Rubawa d'âge tertiaire et quaternaire. L'ensemble de ces séries est formé de sables, grès, conglomérats séparés par des niveaux lacustres et argileux.

- Les formations alluvionnaires sont surtout développées au Sud de Khartoum (delta intérieur du Nil) et au niveau du Bahr el Ghazal, leur épaisseur pouvant atteindre une centaine de mètres.

- Des dépôts continentaux et marins, calcaires coralligènes grès plus ou moins consolidés, argiles, évaporites bordent la mer rouge.

- Les formations volcaniques récentes recourent l'ensemble de ces séries géologiques au Nord-Est et dans le Darfur.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

La population (environ 20 M d'habitants) est essentiellement concentrée dans la vallée du Nil (sauf quand celui-ci recoupe le socle précambrien) et dans celles du Bahr el Abyadh et du Bahr el Ghazal.

Le Kordofan et les régions formant frontière avec l'Ouganda et le Kenya sont également assez peuplées. Ces régions correspondent à des affleurements du socle précambrien. Le reste du pays est quasi désertique, en particulier les grands bassins sédimentaires correspondant aux formations des grès de Nubie et d'Um Rubawa.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Pays en grande partie aride, le Soudan utilise de façon intensive ses ressources en eaux souterraines. Néanmoins seules quelques régions (Kordofan - Darfur - Delta intérieur du Nil) ont fait l'objet d'études et de prospections systématiques. Ailleurs les données disponibles sont fragmentaires et recueillies à partir de points d'eau traditionnels.

4.1 - (c₁)

- *Les dépôts alluvionnaires* du Nil et de ses affluents (Bahr el Arab, Bahr el Azrag, Bahr el Ghazal...) présentent une lithologie très hétérogène : sables et graviers entrecoupés de nombreux niveaux argileux. On dispose donc de nappes locales (parfois superposées) toujours exploitables à des profondeurs inférieures à 30 m et de qualité très variable. Dans le delta intérieur du Nil (Sud de Khartoum) on a une nappe phréatique généralisée dont le niveau d'équilibre est à moins de 50 m sous le sol.

- Il n'existe de nappe dunaire que là où l'épaisseur des *sables* dépasse 50 m c'est-à-dire au Nord-Ouest du pays et localement dans le Kordofan ; le niveau d'équilibre de ces nappes, généralement de bonne qualité, est voisin de 50 m sous le sol.

4.2 - (c₂)

- La nappe des *grès de Nubie* est utilisable dans tout le Nord-Ouest du pays et localement au Kordofan et au Darfur. Sauf en bordure d'affleurement, le niveau d'équilibre s'établit à 100 m sous la surface du sol avec une nappe légèrement en charge. Les débits obtenus sont très généralement supérieurs à 10 m³/h. Dans le Kordofan, les ouvrages récents (forages) ont des profondeurs variant entre 60 et 500 m.

- L'épaisseur de la formation d'Um-Rubawa étant très variable et la lithologie très hétérogène, la nappe correspondant à ces formations a des caractéristiques très variables. Le niveau d'équilibre s'établit généralement au-delà de 50 m, sauf dans la province d'Al Jazirah au Sud de Khartoum seule région où ces ressources sont exploitées systématiquement.

4.3 - (c₃)

- En bordure de la mer Rouge, *les formations calcaires et gréseuses* contiennent des nappes localisées dans les zones fracturées. L'eau y est très souvent de mauvaise qualité du fait de la présence de niveaux gypseux et/ou de contacts avec les eaux de mer. Pratiquement dans cette région les seules ressources exploitables sont celles des alluvions d'oueds creusés dans le socle.

- Localement dans le Darfur et le Kordofan, les formations continentales (*grès de Nubie - Um-Rubawa*) se présentent sous forme de dépôts lenticulaires au-dessus du socle. On dispose alors de nappes locales mais généralement exploitables à faible profondeur (\leq 50 cm).

4.4 - (d₁)

- *Les formations précambriennes* ont été regroupées ici sous le terme de "complexe de base" sans qu'une distinction lithologique ait pu être établie. Les granites et gneiss sont fréquents mais on rencontre également schistes et roches métamorphiques et les ressources au Nord-Est et au Sud sont limitées aux zones fracturées et faillées. Les techniques modernes de recherches et d'exploitation ne semblent être encore utilisées qu'exceptionnellement.

Dans le Darfur et le Kordofan au contraire, la présence de recouvrements superficiels (dunes - alluvions - grès de Nubie) peut favoriser la concentration de ressources plus importantes en liaison avec la fracturation et l'altération du socle.

4.5 - (d₂ + d₃)

Les affleurements de *roches volcaniques* sont peu importants au Soudan. Par analogie avec ce que l'on connaît ailleurs, on peut penser que la fissuration est bien développée dans les roches basiques proches du lac Rudolf qui contiendraient alors des ressources relativement importantes. Ailleurs (NE d'Atbarah) les ressources doivent être faibles (zone aride).

4.6 - (d₄)

Il existe des niveaux équivalents à ceux des *grès* de l'Ennedi du Tchad au Nord-Ouest de l'Oued el Hawar, ainsi qu'une série de *roches schisto-gréseuses* au Nord du Bahr el Ghazal. Ces zones étant désertiques aucune prospection n'y a été entreprise.

ETHIOPIE

1 - CARACTERES GENERAUX

- Deux massifs montagneux couvrant l'Ouest et le Centre du pays, où l'altitude est presque partout supérieure à 2000 m, encadrent une dépression centrale qui s'élargit en bordure de la mer Rouge. Au Sud du pays, l'Ogaden forme un plateau d'altitude décroissante du Nord (1000 m) au Sud (500 m).

- Les massifs montagneux de l'Ouest sont très arrosés, mais le reste du pays est aride (Erythrée) ou semi-aride (Ogaden). Le seul fleuve important (Awash) n'atteint pas la mer.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- La quasi-totalité des massifs montagneux éthiopiens est formée par des coulées volcaniques, le plus souvent basiques (basaltes - phonolites) d'âge divers mais postérieur au Crétacé moyen.

- Ces formations volcaniques reposent sur des assises jurassiques et crétacées localement plissées et faillées (Est du pays et Harrar) essentiellement formées de grès et de calcaires. Ces assises constituent l'essentiel du plateau de l'Ogaden. Des séries continentales équivalentes aux grès de Nubie sont représentées à l'Est de l'Ogaden.

- Le socle précambrien affleure au Nord (Erythrée) et aux frontières ouest et sud-ouest.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION (environ 30 M d'habitants)

Seuls les massifs montagneux correspondant aux zones d'affleurement des roches volcaniques sont très fortement peuplés. Ailleurs la densité est importante également en Erythrée du Nord, domaine du socle précambrien. Dans l'Ogaden vit une population semi-nomade, sauf au Nord (Harrar) où on retrouve des densités importantes dans un massif montagneux composé de formations sédimentaires fracturées et plissées au sein du socle précambrien.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

- Les ressources hydrauliques potentielles de l'Ethiopie sont parmi les plus importantes du monde. Les écoulements superficiels représentent environ 110 milliards de m³ par an. Dans tout le massif abyssin, les villages sont situés à flanc ou au sommet des montagnes, et l'alimentation en eau se fait donc essentiellement à partir de sources ou de retenues collinaires. Seules l'Erythrée, la dépression centrale et l'Ogaden font appel aux eaux souterraines pour satisfaire les besoins villageois.

- Aucune étude synthétique n'a été réalisée tant au niveau régional qu'au niveau national. La plupart des ouvrages d'exploitation sont des puits traditionnels et les campagnes de prospection ont été limitées à certaines zones de l'Ogaden ; dans ces conditions les potentialités des différentes formations ont souvent été déduites de ce que l'on connaît ailleurs.

4.1 - (c₁)

- Dans la vallée de l'Awash, une campagne de forages a confirmé l'hétérogénéité des ressources contenues dans les *formations alluvionnaires et lacustres*. Localement les niveaux aquifères, toujours situés à faible profondeur, sont de mauvaise qualité.

- En bordure de la mer Rouge, une nappe doit exister à la base des *formations dunaires* lorsque celles-ci ont une épaisseur suffisante.

4.2 - (c₂)

- Au Nord de l'Ogaden (plateau de Hawd), *les grès du Crétacé supérieur* équivalents des grès de Nubie contiennent une ou plusieurs nappes superposées exploitables au niveau des formations conglomératiques avec des niveaux d'équilibre compris entre 50 et 100 m.

4.3 - (c₃)

- Dans les bassins des oueds Giuba et Scebeli, *les assises jurassiques et crétacées* contiennent probablement plusieurs nappes superposées. La présence

de gypse et d'anhydrite dans les niveaux supérieurs conduit à penser que seules les nappes profondes (au-delà de 200 m), et qui sont sans doute en charge, sont exploitables.

4.4 - (d₁)

Dans *les formations précambriennes* de l'Erythrée et du bassin supérieur de l'oued Giuba où dominent granites et gneiss, le développement de la fracturation n'a pas été étudié. En Erythrée la faible pluviométrie (< 200 mm) pose des problèmes de qualité des eaux. La mise en place des points d'eau permanents suppose l'emploi de techniques modernes de fonçage.

4.4 - (d₂ et d₃)

- *Les formations volcaniques* basiques forment la quasi-totalité du massif éthiopien. La présence de nombreuses sources indique une fracturation importante en profondeur, indice de ressources aquifères souterraines importantes actuellement non utilisées par ouvrages modernes : la profondeur de ceux-ci devrait varier entre 50 et 200 m.

- *Les niveaux volcaniques acides* de plus faible importance ont été signalés. La fracturation y est en principe moins développée que dans les roches basiques, mais leurs ressources aquifères sont en fait inconnues.

4.5 - (d₄)

Dans les vallées supérieures du Nil bleu et de l'oued Scebeli, *les formations jurassiques et crétacées* sont plissées. Aucune prospection systématique n'y a été entreprise ; des nappes locales, de bonne qualité, utilisables à des profondeurs inférieures à 100 m, pourraient y exister.

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DE SOMALIE

1 - CARACTERES GENERAUX

On distingue en Somalie (640 000 km²) 3 unités morphologiques principales :

- les plaines côtières surtout développées au Sud ;
- des plateaux occupant le Centre et l'Est du pays (ex. Mudugh) interrompus par des dépressions où se perdent des écoulements temporaires (Nogal valley) ;
- des massifs montagneux en bordure du golfe d'Aden.

Sur la quasi-totalité du territoire règne un climat de type aride, et même désertique au Sud du pays.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- Les formations précambriennes affleurent au Nord-Ouest en bordure du golfe d'Aden et au Sud entre Giuba et Scebeli (Bur area).

- La majeure partie du territoire est constituée par des plateaux jurassiques crétacés et éocènes. Les formations continentales équivalentes des grès de Nubie affleurent de part et d'autre du Scebeli et à la frontière éthiopienne.

- Les plaines littorales sont constituées de dépôts tertiaires et quaternaires marins lacustres ou continentaux (dunes) surtout développés au Sud d'une grande fracture parallèle à la côte entre le Giuba et la vallée de Nogal (faille de Banda Ghialassi).

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

En dehors des basses vallées du Giuba et Scebeli, la densité de la population (3 M d'habitants) est très faible, correspondant à celle d'un pays semi-désertique et où règne donc un élevage pastoral extensif semi-nomade.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Seules les régions au Sud de Mogadiscio ont fait l'objet de prospections systématiques au moins locales. Ailleurs, aucune reconnaissance des ressources potentielles n'a été effectuée sauf au voisinage de quelques ports (Berbera).

4.1 - (C₁)

- *Les remplissages alluvionnaires* des dépressions des plateaux nord (ex. Nogal Valley) sont exploités à faible profondeur par des points d'eau de type traditionnel. La qualité de l'eau y est souvent médiocre.

- *Les formations dunaires* des zones côtières ont été systématiquement prospectées dans la région de Mogadiscio. L'exploitation est limitée par la nécessité d'éviter la contamination par l'eau de mer ou les eaux salées des formations sous-jacentes.

- *Les alluvions* du Giuba et du Scebeli sont exploitées par des ouvrages traditionnels. Les ressources y semblent suffisamment importantes et de bonne qualité pour couvrir la quasi-totalité des besoins villageois sous réserve de construction de points d'eau modernes.

- Dans la plaine côtière nord, *les recouvrements superficiels fluvio-lacustres* contiennent à des profondeurs faibles (< 50 m) des ressources exploitables par des ouvrages à débit moyen voisin de 10 m³/h, l'eau étant souvent de qualité médiocre.

4.2 - (C₂)

- En zone côtière sud, des nappes exploitables existent dans *les sables tertiaires supérieurs et les niveaux coquilliers du Pleistocène*. L'eau est localement à plus de 100 m sous le sol et des phénomènes d'interface eau douce/eau salée compliquent l'exploitation en bordure de mer ; les forages réalisés en 1965 et 1970 ont des débits variant entre 20 et 70 m³/h.

- Dans la province d'Upper-Giuba, les principales formations aquifères sont des *calcaires karstiques massifs*, mais l'intercalation de niveaux de gypse rend leur exploitation aléatoire. Le meilleur aquifère est celui des grès de Jesoma contenant à des profondeurs comprises entre 50 et 100 m des eaux de bonne qualité en liaison avec des zones de recharge par l'intermédiaire des cours d'eau.

4.3 - (c₃)

Les plateaux de Mudugh, Skol, Taleh, la vallée de Nogal correspondent à des régions très peu prospectées. Les niveaux aquifères supérieurs (< 50 m) dans des *calcaires gypsifères et dolomitiques* fournissent des eaux très chargées. Les niveaux profonds ne sont pas connus.

- La province de Lower Giuba est constituée de différentes *assises calcaires et gréseuses*. Actuellement, les seules ressources utilisées y sont celles des recouvrements superficiels. Une prospection des niveaux profonds permettrait probablement la mise en évidence de ressources nouvelles.

4.4 - (d₁)

La "Bur area" a fait l'objet d'une prospection systématique et l'épaisseur des formations altérées peut atteindre 40 m, le débit des ouvrages les exploitant étant compris entre 0,5 et 1 m³/h. L'amélioration de ces ouvrages, nécessaire dans cette région relativement peuplée, passe par une prospection systématique de la fracturation.

- En zone montagneuse nord, le *socle précambrien* n'affleure que localement et est très fracturé. Aucune prospection systématique de l'importance de cette fracturation n'a été faite, la conservation des eaux infiltrées pouvant être facilitée par la présence de recouvrements superficiels, localement importants.

4.5 - (d₂)

Des coulées basaltiques forment des massifs à la frontière nord-ouest. Même si la fracturation est importante, les ressources superficielles doivent être faibles à cause de l'aridité de la région. Seuls des ouvrages profonds (> 100 m) seraient utilisables.

4.6 - (d₄)

Dans la région nord, *les assises jurassiques et crétacées plissées* apparaissent entre les affleurements précambriens. Des ressources locales en charge y existent peut-être à certains niveaux.

D'une manière générale, nombre d'aquifères superficiels sont de qualité médiocre, et utilisables seulement pour l'alimentation des troupeaux en zone rurale. Pour l'alimentation humaine, on compte actuellement environ 2000 ouvrages traditionnels (prof. 5 à 30 m) et 1000 forages récents dont la profondeur varie entre 50 et 300 m.

OUGANDA

1 - CARACTERES GENERAUX

- 20 % de la surface du pays, 236 000 km², correspondent à des lacs (Victoria - Albert - Edouard - Kyoga). Sauf au niveau de ces lacs, l'altitude est partout supérieure à 1000 m, la frontière ouest étant constituée par une chaîne de montagnes (Ruwenzori).

- Le système de drainage est commandé par le lac Victoria. A l'époque quaternaire, des mouvements tectoniques ont provoqué une modification de la direction principale d'écoulement de l'Ouest (bassin du Congo) vers le Nord (bassin du Nil) ce qui a provoqué l'inondation de nombreuses vallées.

- Les précipitations sont partout supérieures à 1 m sauf au Nord où existe un secteur semi-aride (Karamoja).

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- La quasi-totalité du territoire est le domaine du socle précambrien, les niveaux les plus anciens étant formés de granites et de gneiss, les plus récents de conglomérats, schistes et roches métamorphiques diverses.

- Les formations volcaniques acides s'alignent selon un axe nord-sud à l'Est du pays.

- Dans les principales dépressions tectoniques, des remplissages fluviolacustres ont des épaisseurs atteignant localement plusieurs dizaines de mètres.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

L'Ouganda est un pays peuplé (8 M d'habitants, densité moyenne 35 hab/km²). Autour du lac Victoria, cette densité dépasse 100 hab/km², seul le district de Karamoja étant faiblement occupé.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINNES

Dans tout le pays, l'utilisation des eaux superficielles est très développée. Il existait en 1970 plus de 1000 barrages ou retenues collinaires en activité au niveau des principales zones d'écoulement, la retenue moyenne étant de l'ordre de 5000 m³.

Par ailleurs, les 9/10 du territoire sont concernés par des formations précambriennes où les seules ressources exploitables sont celles des zones altérées et fracturées, les débits unitaires par ouvrage restant limités.

4.1 - (c₁)

Les *formations fluviolacustres* du Nil bleu et du lac Kyoga sont constituées de sables, graviers, avec de nombreux niveaux argileux, l'épaisseur totale pouvant dépasser 50 m. Les ressources aquifères exploitables à faible profondeur sont généralement de bonne qualité.

4.2 - (d₁)

Les *formations précambriennes* à dominante granite-gneiss et roches métamorphiques couvrent les 9/10 du territoire. De 1920 à 1970, environ 5000 ouvrages y ont été réalisés à des profondeurs variant entre 30 et 100 m et fournissant des débits de 5 à 40 m³/jour.

Des données statistiques sont disponibles sur le secteur de Karamoja :

a) de 1930 à 1960, 390 forages y ont été réalisés, 256 étant exploités en 1965, 207 par pompe à main (0,5 m³/h en moyenne) et 47 par pompe à moteur (4 m³/h), la salinité de l'eau variant entre 0,3 et 0,9 g/l.

b) Les ouvrages réalisés dans le même secteur de 1966 à 1970 (92) ont permis l'installation de 69 points d'eau productifs (> 0,5 m³/h), les débits optimaux (moyenne 10 m³/h) étant obtenus à des profondeurs comprises entre 60 et 110 m, l'eau de bonne qualité étant souvent en charge.

En conséquence, la majeure partie des ouvrages doit atteindre 100 m, la fracturation de ces roches se maintenant jusqu'à ces profondeurs.

4.3 - (d₄)

Les formations schisteuses et gréseuses de Bunyoro à l'Est du lac Albert n'ont pas été prospectées systématiquement. Les ressources y sont probablement négligeables hors des zones fracturées.

KENYA

1 - CARACTERES GENERAUX

- Ouvert sur l'océan Indien et le lac Victoria, le Kenya (582 000 km²) est coupé en deux dans le sens nord-sud par un fossé tectonique ("Great Rift Valley") bordé au Sud-Ouest par une chaîne de montagnes incluant le Mt Kenya. D'une manière générale les altitudes augmentent d'Est en Ouest et plus de la moitié du territoire se trouve au-dessus de 1000 m.

- L'isohyète 800 limite à l'Ouest et au Sud une zone humide où l'on trouve en abondance des cours d'eau et des lacs. A l'Est, seules les rivières Tana et Galana sont permanentes. Au Nord des cours d'eau temporaires se perdent dans des zones d'épandage marécageuses au moment des pluies.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- La partie occidentale et centrale du pays est le domaine des formations précambriennes : les mouvements tectoniques du Tertiaire et du Quaternaire y ont donné naissance à des épanchements volcaniques de laves basaltiques rhyolitiques et phonolitiques qui ont plus de 100 m d'épaisseur.

- La partie orientale correspond à un bassin sédimentaire où sont représentés, à l'extrémité nord-est le Jurassique et le Crétacé (calcaires), à l'Est le Quaternaire.

- En bordure d'océan, le long des principaux cours d'eau et dans les zones déprimées ou effondrées sont localisés des recouvrements superficiels, dunaires ou fluviatiles.

- A l'extrémité sud-est en bordure du socle les sédiments gréseux du Karoo affleurent parallèlement à la côte sur une longueur de 80 km.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Tout le secteur est et nord, et donc la plus grande partie du bassin sédimentaire, constitue une zone d'élevage extensif semi-nomade, donc peu peuplée.

La quasi-totalité de la population du pays (12 M d'habitants) est répartie selon un axe NW-SE de 100 km de large entre le lac Victoria et Mombasa, donc presque toujours sur des régions à soubassement précambrien ou volcanique.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les études synthétiques régionales sont peu nombreuses, les potentialités des différentes formations ayant jusqu'à présent paru supérieures aux besoins exprimés. Les données les plus complètes concernent les zones arides de l'Est et du Nord, en liaison avec la transformation de l'économie rurale.

4.1 - (c₁)

Les ressources superficielles des *dunes côtières* ne sont exploitées que de façon traditionnelle, sauf au niveau du fleuve Tana.

- *Les remplissages des dépressions* de la Great Rift Valley et des *zones lacustres* peuvent avoir une épaisseur localement supérieure à 100 m, permettant la mise en évidence de plusieurs niveaux aquifères superposés toujours exploitables à faible profondeur. La qualité de l'eau est souvent médiocre à proximité des lacs.

4.2 - (c₃)

- *Le bassin sédimentaire est* contient des ressources potentiellement importantes mais de qualité très variable. Les nappes supérieures sont généralement saumâtres sauf au voisinage de la rivière Tana. Les nappes inférieures (au-delà de 100 à 150 m) sont mal connues mais il y aurait des possibilités d'artésianisme.

- Les formations jurassiques et crétacées du Nord-Est ont été cartographiées en catégorie c_2 , c'est-à-dire aquifère généralisé accessible par des ouvrages de moins de 100 m, pour des raisons de continuité avec la Somalie (Upper-Giuba) où ces formations calcaires et gréseuses sont aquifères.

- Dans *les formations gréseuses du Karoo*, seules les zones fracturées fournissent des débits voisins de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ à des profondeurs comprises entre 50 et 150 m.

4.3 - (d_1)

- Les ouvrages réalisés dans *les formations précambriennes* sont très nombreux : (1000 de 1927 à 1970 dont 80 % avec un débit supérieur à $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$), l'expérience montre que les débits moyens atteignent $2 \text{ m}^3/\text{h}$ dès que la fracturation des roches reste importante au-delà de 60 m de profondeur sous le sol. La construction de forages en petit diamètre, généralisée depuis 20 à 30 ans, conduit à des points d'eau dont la profondeur moyenne est de 100 m, la qualité de l'eau étant bonne sauf localement en région aride.

4.4 - (d_2)

- *Les formations volcaniques récentes* peuvent contenir des ressources importantes notamment au niveau de la Great Rift Valley. Dans la région d'Ewazo-Ngira, il apparaît que les débits maximaux ($3,5 - 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$) sont obtenus dans les forages de petit diamètre (4") de 100 à 150 m de profondeur, le niveau d'équilibre de la nappe étant voisin de 80 m.

4.4 - (d_4)

Les formations gréseuses infracambriennes du lac Victoria sont mal connues, mais les ressources y sont potentiellement faibles en dehors des zones de fractures.

Au Kenya, le développement de nombreux projets hydro-agricoles avec tentatives d'irrigation tend à limiter l'utilisation des eaux souterraines aux zones arides ou semi-arides où ces ressources sont réservées à l'alimentation humaine des troupeaux. Ailleurs, l'utilisation des eaux superficielles prédomine (Hafirs, retenues et barrages, bassins d'orage...).

REPUBLIQUE UNIE DE TANZANIE

1 - CARACTERES GENERAUX

- Outre une façade sur l'océan Indien, la Tanzanie (937 000 km²) inclut partiellement 3 des grands lacs africains. Sauf à l'Est, il s'agit d'un plateau, dont l'altitude moyenne est supérieure à 1000 m, plateau coupé par une chaîne de montagnes sinuant entre le Kilimandjaro et le Nord du lac Malawi. Des fossés tectoniques bordent cette chaîne au Sud-Est.

- Seule la partie sud-ouest du pays est bien drainée par l'intermédiaire de fleuves permanents (Rufiji). Au Nord, existent de vastes zones de dépression, mal drainées, marquées par des lacs plus ou moins temporaires (ex. lac Natron).

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- En bordure d'océan et sur une largeur maximale de 150 km le bassin sédimentaire est constitué par des formations jurassiques et crétacées (arkose, grès, conglomérats, calcaires, évaporites...). Des recouvrements superficiels (argiles, tourbes, sables, graviers...) couronnent le tout (Continental terminal, Quaternaire).

- Les formations du socle précambrien occupent près des 3/4 du territoire : séries de Dodoman - Nyangia - Ubedian - Ankolean - Karague sous forme de schistes, granulites, migmatites, gneiss et granites. Les séries de Bukoba (Infracambrien) entre les lacs Tanganyika et Victoria sont formées de schistes, pélites, grès et basaltes.

- Dans les fossées tectoniques entre Rufiji et lac Malawi les conglomérats et grès du Karoo ont des épaisseurs parfois supérieures à 500 m. A la frontière du Kenya, les formations volcaniques récentes couvrent de vastes étendues.

- Les formations récentes de remplissage (alluvions - colluvions) sont très développées au niveau des principales vallées et des zones effondrées ou déprimées où l'épaisseur de ces sédiments peut atteindre 200 m.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION (14 M d'habitants)

Les densités maximales apparaissent sur la frange côtière, autour du lac Victoria et selon un axe comprenant les Rift Valleys et les axes montagneux correspondants. Dans la quasi-totalité des cas il s'agit de régions où n'existent que des aquifères discontinus correspondant aux formations du Précambrien, de l'Infracambrien, et aux roches volcaniques. Dans ces mêmes zones l'importance des recouvrements superficiels augmente néanmoins les potentialités aquifères.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Il n'y a pas d'étude synthétique des eaux souterraines en Tanzanie. Par ailleurs, au Sud-Ouest d'une ligne lac Malawi-Dar Es Salaam elles sont très peu utilisées par suite de l'importance des aménagements réalisés au niveau des eaux superficielles.

Techniquement hors des puits traditionnels, les ouvrages réalisés sont essentiellement et dès l'origine (avant 1914) des forages, des techniques d'amélioration : foudroyage pour augmenter la fissuration, barrages semi enterrés, ayant été mis en oeuvre dès 1920, avec des succès très variables.

4.1 - (c₁)

Dans les zones de dépressions dès que *le remplissage (alluvions-colluvions)* est supérieur à 20 m, il existe un niveau aquifère superficiel utilisable pour l'alimentation des communautés villageoises, localement la qualité de l'eau peut-être médiocre.

Les alluvions du Rufiji sont exploitées surtout par des puits traditionnels, les ouvrages récents s'adressant aux ressources du bassin sédimentaire sous-jacent.

4.2 - (c₂)

Dans le bassin sédimentaire côtier il existe plusieurs nappes superposées dans *les formations néogènes crétacées et jurassiennes*. Les potentialités et la qualité des eaux y sont variables, les niveaux superficiels (eau à moins de 30 m) fournissant des débits voisins de 10 m³/h et une eau de bonne qualité.

4.3 - (c₃)

Dans *les formations gréso-argileuses du Karoo*, la fissuration est localement assez développée pour que des forages puissent être implantés systématiquement ; les profondeurs sont comprises entre 100 et 200 m et 50 % des débits obtenus sont supérieurs à 10 m³/h. La qualité de l'eau peut être médiocre.

4.4 - (d₁)

Dans *les formations du socle* la profondeur moyenne des ouvrages a tendance à augmenter. A l'origine seules étaient captées les zones altérées au niveau des principales zones d'écoulement. Dans la région de Dodoma depuis 1950 la profondeur moyenne des ouvrages (forages à percussion) est passée de 80 à 130 m. Dans celle de Morogoro le débit moyen serait de 1,5 m³/h à 80 m et 4,5 m³/h à 130 m lorsque la fissuration est profonde. Ici la fissuration en profondeur semble suffisamment généralisée pour qu'on ait pu calculer que la distance optimale entre 2 ouvrages successifs doit être comprise entre 75 et 150 m (région de Morogoro-Dodoma).

4.5 - (d₂)

Dans *les formations volcaniques récentes* la fissuration est importante et il existe de nombreuses sources susceptibles d'être exploitées, certaines ayant un caractère hydrothermal. La profondeur moyenne des forages est ici de 80 m avec une eau localement en charge.

4.6 - (d₄)

La prospection des *formations gréseuses et schisteuses* de l'Est du pays correspondant à des zones plus faiblement peuplées reste à faire. Les ressources exploitables sont limitées aux zones fracturées et pourraient être localement importantes.

MALAWI

1 - CARACTERES GENERAUX

L'ensemble du pays est constitué par une dépression tectonique occupée par le lac Malawi et dominée par des hauts plateaux formant la frontière ouest (Nyaka).

A l'Est du pays on trouve une région de lacs et de marécages (Chilwa et Chiuta).

Les précipitations sont toujours supérieures à 800 mm.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

La quasi-totalité du territoire est constituée par un soubassement de roches précambriennes : gneiss, schistes métamorphiques, granites.

A l'extrême sud, à la frontière du Mozambique, affleurent les séries du Karoo : laves basaltiques, conglomérats, grès. Dans la même région des séries infracambriennes sont formées de psammites et de pélites.

Les recouvrements superficiels (alluvions de la Shire) et remplissage de fossés d'effondrement sont particulièrement importants à l'extrémité sud du pays.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION (4,5 M d'habitants)

Les régions les plus peuplées sont la basse vallée de la Shire et la dépression correspondant aux vallées de la Bua et de la Lilungwe dans la région centrale. D'une manière générale il s'agit d'un pays relativement peuplé (densité 40 hab/km²) , seules les zones marécageuses de l'Est étant peu habitées.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

4.1 - (c₁)

De nombreux forages ont été réalisés dans *les formations superficielles* dans la région du Chilwa (profondeur 30 à 60 m). Les débits les plus importants (5 m³/h) sont obtenus par le captage de niveaux de graviers. L'eau est à faible profondeur mais de qualité souvent mauvaise.

4.2 - (d₁)

Le complexe précambrien couvre les 4/5 du territoire. Les diverses formations (gneiss, granites, dolérites) ont été testés. Il apparaît que la nature géologique de ces différentes roches intervient peu quant à leur capacité aquifère. Dans la mesure où l'épaisseur de la zone altérée ne dépasse qu'exceptionnellement 25 m c'est la fissuration qui joue, et elle peut être plus ou moins importante dans tous les types de roches. Actuellement les ouvrages modernes (120 à 150/an) dans ces formations sont des forages de 60 à 100 m de profondeur qui donnent des débits compris entre 0,5 et 20 m³/h (moyenne 4 m³/h).

4.3 - (d₂)

Seules *les séries supérieures : laves basaltiques* du Karoo ont été prospectées. La perméabilité par fissuration y est importante surtout au contact des formations encaissantes. Les forages y ont entre 60 et 150 m de profondeur pour des débits compris entre 1 et 20 m³/h l'eau étant souvent au-delà de 50 m.

4.4 - (d₄)

Les ressources des *formations schisteuses* du Sud ne sont pas connues.

ZAMBIE

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit d'un pays continental (750 000 km²) où l'altitude est presque partout supérieure à 1000 m sauf dans les vallées du Zambeze et du Luangwa. La partie ouest forme un plateau, la partie est, est coupée par une chaîne de montagnes d'axe nord-sud (Mts Muchingan).

Seule la partie sud du pays est bien drainée par l'intermédiaire du Zambeze et de ses affluents. Au Nord on trouve des bassins d'épandage intérieur dont le plus important est occupé par le lac Bangwelli. La vallée du Luangwa est un fossé tectonique.

Les précipitations sont pratiquement partout supérieures à 1 m sauf dans la vallée du Luangwa.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les dépôts alluvionnaires, lacustres ou continentaux occupent les principales dépressions particulièrement au Nord où leur épaisseur peut dépasser 50 m.

Les formations continentales récentes du Kalahari sont constituées de sables et graviers souvent cimentés : leur épaisseur augmente d'Est en Ouest et atteint 70 m au Sud (Barotseland).

Les formations du Karoo surtout développées à l'Ouest de Lusaka et dans le fossé de Luangwa, sont constituées de haut en bas par 300 m de laves basaltiques, 1500 à 3000 m de grès, sables et schistes, 500 à 1000 m de grès et argiles avec des niveaux à charbon.

Le "système du Katanga" correspondant au Précambrien tardif et à l'Infracambrien, apparaît entre les lacs Malawi et Mueru : tillites, schistes et dolomies des séries de Mwashu, quartzites, arkoses, schistes des séries de Roan. Au Nord de Lusaka, le Kundelungu (calcaires, dolomies, tillites, grès) forme des séries fracturées et plissées.

Le complexe précambrien (gneiss, granites et roches métamorphiques) affleure surtout au Nord de part et d'autre du fossé de Luangwa.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

La majeure partie de la population (4,5 M d'habitants) est concentrée selon un axe nord-sud entre le lac Kariba et la région minière, à la frontière du Zaïre et dans une moindre mesure dans les vallées du Zambeze et du Luangwa. Les régions les plus peuplées correspondent donc aux affleurements des séries gréseuses, schisteuses et calcaires de l'Infracambrien. Le reste du territoire sauf l'extrême nord (région des grands lacs) peut être considéré comme semi désertique.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

La prospection et l'utilisation des ressources en eaux souterraines ont fait l'objet d'opérations très importantes en Zambie depuis une trentaine d'années. Partout où l'importance de l'habitat le justifiait, une prospection systématique par forages de petit diamètre a été entreprise et dans ces régions on dispose de données permettant une implantation optimale des points d'eau, avec des techniques adaptées. Près de 300 forages sont réalisés chaque année, les problèmes étant actuellement ceux de l'utilisation des eaux souterraines pour le développement agricole (complément d'irrigation).

4.1 - (c₁)

Dans la province ouest l'affleurement des *sables du Kalahari* correspond à des régions désertiques où le substratum est souvent à faible profondeur. Les pointements basaltiques fragmentent les nappes en unités mal drainées et mal renouvelées, où les eaux sont souvent de mauvaise qualité. Lorsque l'épaisseur des sables est inférieure à 30 m, les forages sont poursuivis dans le substratum et tous ont des profondeurs comprises entre 50 et 100 m (débit moyen compris entre 4 et 8 m³/h, eau à moins de 50 m sous le sol).

Les alluvions du Zambeze et du Kafue peuvent être très épaisses. Hétérogènes elles sont surtout utilisées par des ouvrages traditionnels anciens.

4.2 - (c₃)

Dans les *formations du Karoo* les ouvrages caractéristiques sont concentrés dans la vallée du Luangwa. La majorité des points d'eau intéresse des formations gréseuses à des profondeurs de 50 à 100 m ; les débits horaires variant de 1 à 60 m³ s'il y a suralimentation par une rivière. Le pourcentage de réussite (débit supérieur à 1 m³/h) est de l'ordre de 80 %.

4.3 - (d₁)

Les formations précambriennes n'ont été testées que dans la province sud (Nord du lac Kariba) où les forages dans les zones altérées des gneiss et granites fournissent de 1 à 3 m³/h à des profondeurs moyennes de 35 m. Les ouvrages les plus productifs sont souvent situés au contact de filons. La province est (frontière du Malawi), est moins connue mais des débits importants y ont été obtenus à des profondeurs supérieures à 50 m.

4.4 - (d₄)

Il s'agit des formations les mieux connues.

Les calcaires et dolomies de la région de Lusaka fournissent 3 à 20 m³/h à 50 m de profondeur, et jusqu'à 100 m³/h en zone fracturée à des profondeurs comprises entre 80 et 150 m.

Les formations calcaires et dolomitiques de la région minière ont des potentialités équivalentes.

Les formations schisto-calcaires de la province nord et de la zone minière sont productives (de 2 à 50 m³/h) si les niveaux gréseux inclus sont suffisamment épais (> 50 m). Dans les schistes les débits moyens sont de l'ordre de 1 m³/h. L'ensemble de ces faciès est étroitement imbriqué du fait de mouvements tectoniques. Les ouvrages y ont une profondeur moyenne de l'ordre de 100 m. D'une manière générale une synthèse détaillée des résultats obtenus dans ces formations devrait fournir d'importantes données concernant leurs potentialités réelles, données qui pourraient être extrapolées ailleurs.

BOTSWANA

1 - CARACTERES GENERAUX

Le Botswana est formé par un plateau d'altitude moyenne égale à 1000 m, qui s'abaisse au Nord-Ouest par une série de dépressions dont la plus importante est formée par le delta de l'Okavango.

Il s'agit d'un pays aride, le seul fleuve permanent (Limpopo) formant la frontière sud-est. L'Est du territoire est pratiquement désertique.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les 2/3 du pays sont recouverts par les formations continentales du Kalahari d'âge tertiaire et quaternaire, leur épaisseur n'étant importante qu'au Sud-Ouest (> 40 m).

Les formations du Karoo (basaltes du Stormberg, grès, arkoses et schistes de Dwyka et Eccu), sont visibles sous forme d'auréoles à l'Est et disparaissent dans la région centre sous les formations du Kalahari.

Les séries de l'Infracambrien (Waterberg sous forme de schistes, quartzites, grès), affleurent à la frontière sud et au Nord. Elles constituent une grande partie du soubassement des formations de Kalahari.

Le Précambrien (complexe de base) affleure à la frontière de la République Sud africaine (granites, gneiss, roches volcaniques métamorphisées).

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Le Botswana est un pays pratiquement désertique (0,6 M d'habitants). Les seules régions relativement peuplées correspondent à la haute vallée du Limpopo (Gaborone) et à la région montagneuse de la frontière rhodésienne (Francistown) ; l'agriculture extensive est également pratiquée localement dans le delta de l'Okavango.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Compte tenu du caractère aride du pays, les ressources en eaux souterraines ont été prospectées au moins dans la frange ouest. Depuis 1945, environ 4000 forages ont été réalisés au Botswana, le rythme actuel s'établissant à 130-150 ouvrages par an, d'une profondeur moyenne égale à 100 m. Les études régionales synthétiques sont nombreuses.

4.1 - (c₁)

Dans tout le domaine des *formations de Kalahari* les ressources en eaux souterraines sont très hétérogènes car l'épaisseur des sables est souvent insuffisante pour permettre la mise en place d'une nappe. Seule la région sud (Kalagadi district) présente des ressources importantes et généralisées dans ces formations, mais l'eau y est souvent saumâtre dans les niveaux supérieurs.

4.2 - (c₃)

Dans *les séries du Karoo* (région de Serowe), *les formations gréseuses* semblent fissurées de façon assez systématique. L'emploi des méthodes géophysiques permet l'implantation d'ouvrages de 80 à 100 m de profondeur, fournissant dans 70 % des cas des débits égaux ou supérieurs à 4 m³/h.

4.3 - (d₁)

Les formations granitiques du Botswana oriental ont été prospectées moins systématiquement. Les méthodes de recherche y sont identiques mais la moyenne des débits obtenus est de 2 m³/h : ouvrage de 60 à 80 m, niveau d'eau à 30 m en moyenne.

4.4 - (d₂)

Les formations basaltiques du Karoo semblent bien fissurées ; situées dans des régions peu peuplées, leurs ressources ne sont prospectées que localement. Les ouvrages y ont environ 100 m de profondeur et peuvent fournir jusqu'à 10 m³/h.

4.5 - (d_i)

Les formations gréseuses de l'Ecca au Nord-Est et au Sud-Est ont également été très prospectées. La fissuration semble limitée aux zones failées ou aux contacts avec les autres formations. L'emploi de méthodes géophysiques permet l'implantation d'ouvrages ayant des débits égaux ou supérieurs à 1 m³/h.

SWAZILAND

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit d'une enclave montagneuse (17 400 km²), la moitié est du pays, formant l'arrière-pays de la plaine côtière du Mozambique.

Du point de vue géologique, sur la majeure partie du territoire affleurent des formations granitiques et gneissiques avec des roches vertes. L'Est est le domaine du Karoo basaltique (Stormberg) assez fissuré.

Le Swaziland est un territoire assez peuplé (0,5 M d'hab, 30 hab/km²) cette population étant à peu près uniformément répartie.

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont assez peu utilisées compte tenu de l'abondance des eaux superficielles. Elles sont mises en valeur presque exclusivement à partir d'initiatives privées (fermes).

Les formations les plus prospectées sont *les basaltes de Stormberg et les zones de contacts entre les formations du Karoo et roches précambriennes*. Les forages ont entre 50 et 100 m de profondeur, les débits variant de 1 à 20 m³/h (moyenne 2,5 m³/h).

Dans *les granites* la zone d'altération a une épaisseur moyenne de 30 m (débits moyens obtenus : 2 m³/h). Dans *les zones métamorphisées* au contact des roches vertes, les rares ouvrages exécutés semblent donner des débits supérieurs.

LESOTHO

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit d'une enclave montagneuse à l'intérieur de l'Afrique du Sud. L'altitude est partout supérieure à 1000 m et à 2000 m sur la moitié du territoire. La pluviométrie est partout supérieure à 1 m, le pays étant bien drainé par l'intermédiaire du fleuve Orange.

A l'Ouest du pays affleure l'ensemble des formations du Stormberg (Karoo supérieur) comprenant les laves basaltiques du Drakenberg (épaisseur > 1000 m) et des grès, schistes argileux, grès feldspathiques, l'ensemble ayant environ 2000 m d'épaisseur.

La population (1,2 M d'habitants, 40 hab/km²) est nombreuse et répartie sur l'ensemble du territoire.

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont très peu utilisées, et presque uniquement à partir d'initiatives privées. Il n'y a donc pas de données synthétiques sur les potentialités des diverses formations.

Une dizaine d'ouvrages sont forés chaque année, surtout dans les zones de contact faillées entre les diverses formations (profondeur moyenne 50 m, débit moyen 5 m³/h).

MADAGASCAR

1 - CARACTERES GENERAUX

Cette île de vastes dimensions (587 041 km², 1600 km du Nord au Sud, 400 à 600 km d'Est en Ouest) est constituée par un ensemble de hauts plateaux, (> 1000 m) marqués par des reliefs essentiellement volcaniques (Ankaratra) formant à l'Est un escarpement qui domine une très étroite plaine côtière.

A l'Ouest, il existe deux bassins (Majunga et Monrojava) avec un relief de cuesta et une large dépression périphérique, l'ensemble étant drainé par les principaux fleuves de l'île.

Exposés aux alizés, le versant oriental et les plateaux reçoivent plus de 1 m d'eau. Le Sud-Ouest et l'Ouest peuvent être considérés comme semi arides. La végétation est conditionnée par ces variations de pluviométrie : forêt tropicale humide à l'Est, puis forêt savane à l'Ouest et savane à l'extrême sud-ouest. L'ensemble a été très dégradé par l'action humaine.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- Les 3/4 du pays sont constitués par un socle à dominance granite d'âge divers et gneiss injecté de roches métamorphiques.

- A l'Ouest affleurent des terrains sédimentaires formant des bassins bien développés dans la région de Majunga et Morondava. L'ensemble des formations se présente comme constituant d'un monoclinal simple à pendage peu élevé ; d'Est en Ouest on rencontre les formations du Karoo et de l'Isalo (Trias et Lias) sous forme de : grès, conglomérats avec niveaux argileux ; le Jurassique supérieur constitué de marnes et calcaires marneux, le Crétacé représenté par un complexe marno-gréseux et sableux ; enfin l'Eocène supérieur et le Néogène sous forme d'argiles, sables, grès et calcaires. Les séries quaternaires (alluvions, dunes côtières) sont très développées en bordure de la côte ouest.

- Des roches volcaniques (basaltes) d'âge crétacé néogène et quaternaire recourent l'ensemble de ces séries, particulièrement au centre et à l'Ouest du pays.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION (8 M d'habitants)

Les zones les plus peuplées (densité comprise entre 20 et 100 hab. au km²) correspondent aux hauts plateaux du Centre, la côte est, le Nord et le Nord-Ouest, donc sauf en bordure immédiate de la mer, aux terrains précambriens, et aux formations volcaniques.

La dépression des hauts plateaux, les bassins sédimentaires (et en particulier ceux drainés par la Betsiboka et le Mangoky) sont pratiquement désertiques. D'une manière générale en zone sédimentaire, la densité ne dépasse 5 hab/km² qu'aux abords immédiats de la côte, lorsque l'implantation de ports y est possible.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

L'abondance des précipitations et l'existence de puissantes formations sédimentaires sont à l'origine d'importantes ressources aquifères souterraines. Les régions du Sud-Ouest sont particulièrement favorisées à cet égard bien que relativement moins arrosées.

4.1 - (c₁)

- Dans la quasi-totalité des cas, l'épaisseur des alluvions est faible et celles-ci ne sont exploitées que par des ouvrages traditionnels de caractéristiques médiocres.

- *Les formations fluvio-lacustres* sont bien développées dans le haut bassin du Mananara et au Sud du lac Alaotra. Leur épaisseur parfois égale à plusieurs dizaines de mètres permet la mise en place de plusieurs nappes, dont les plus profondes (> 30 m) ont les meilleures caractéristiques.

- *Les dunes côtières* sont surtout exploitées dans la région sud-ouest. Les débits moyens sont compris entre 2 et 5 m³/h à des profondeurs supérieures à 50 m.

4.2 - (c₂)

Les calcaires et formations lacustres du Quaternaire et du Néogène dans les bassins sédimentaires ouest contiennent des nappes qui sont utilisables à des profondeurs inférieures à 100 m (niveaux d'équilibre < 50 m) avec des débits compris entre 10 et 100 m³/h. Des contaminations par eaux salées sont localement possibles.

4.3 - (c₃)

Les calcaires dolomitiques de l'Eocène, les calcaires marneux du Crétacé, et les calcaires du Jurassique supérieur, présentent une structure complexe avec des systèmes de failles donnant naissance à des compartiments effondrés, permettant la mise en charge de nappes de plus ou moins grande importance. Les sondages réalisés, ont une profondeur généralement supérieure à 100 m, mais le niveau statique est à faible profondeur (< 30 cm) voire artésien, les débits souvent très importants (de 10 à 200 m³/h) et les eaux le plus souvent de bonne qualité. L'exploitabilité de ces nappes à des fins agricoles, dépend de la topographie locale, et d'une bonne connaissance de la structure géologique.

4.4 - (d₁)

L'utilisation des eaux souterraines sur les hauts plateaux où dominent *les formations précambriennes* est surtout le fait d'ouvrages traditionnels. L'épaisseur des zones altérées (souvent > à 30 m) et la recherche des zones fracturées, devraient permettre l'implantation régulière d'ouvrages de bonne qualité : profondeur 50 à 100 m, eau à moins de 30 m sous le sol, débit moyen voisin de 2 m³/h.

4.5 - (d₂)

Les formations de laves basiques récentes n'ont pratiquement pas été prospectées. La fracturation semble bien développée, l'utilisation des ressources potentielles pourrait se faire par sondages en petit diamètre de 100 m de profondeur environ.

4.6 - (d₄)

Les formations gréso-schisteuses de l'Isalo (Est du bassin sédimentaire entre Diego Suarez et Tulear) sont peu connues du point de vue hydrogéologique. Il existe presque certainement des nappes profondes (au-delà de 200 m), mais les niveaux argileux présents dans ces formations permettent la mise en place de nappes superficielles (< 50 m de profondeur) de faible importance, localement utilisables pour l'alimentation villageoise.

- Dans la région d'Antsirabe *les formations gréseuses et schisteuses de l'Infracambrien* sont très mal connues. Aucune reconnaissance systématique n'y a été effectuée.

D'une manière générale, les ressources les plus connues et les plus importantes sont celles des pays arides et peu peuplés de l'Ouest. Sur les hauts plateaux et la côte est, la variété des faciès géologiques et l'importance des précipitations devraient permettre si nécessaire la création d'ouvrages adaptés aux besoins villageois traditionnels.

ILE MAURICE

De faible dimension et très peuplée, l'île Maurice est constituée quasi exclusivement de *roches précambriennes* (granites, gneiss, roches métamorphiques). Les ressources en eaux souterraines y sont donc peu importantes et limitées aux *zones faillées*. Dans tous les cas, elles ne peuvent constituer qu'un appoint pour l'alimentation en eau des populations. Les ouvrages susceptibles d'y être installés devraient avoir un débit compris entre 1 et 10 m³/h et seront à terme insuffisants pour couvrir les besoins d'une population pratiquant une culture intensive.

ZAIRE

1 - CARACTERES GENERAUX

La structure générale du Zaïre (2,4 M km²) est celle d'une cuvette en amphithéâtre ouverte vers le Nord-Ouest. Les principaux fleuves se sont encaissés sur les bords de cette cuvette dont le centre est constitué d'épaisses séries d'alluvions, les terrains sous-jacents formant des cuestas visibles surtout au Nord et au Sud-Ouest. Les séries précambriennes plissées et des mouvements tectoniques violents ont donné naissance à l'Est à un relief plus accentué, et à des fossés d'effondrement occupés par des lacs.

Traversé par l'équateur le Zaïre reçoit partout plus de 1 200 mm d'eau sauf en zone côtière, les isohyètes étant Ouest-Est sauf dans la zone montagneuse de l'Est.

2 - CADRE GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes (gneiss, phyllades, quartzites, granites, roches métamorphiques diverses) affleurent à l'Est, au Nord et au Sud-Ouest du pays. A l'embouchure du fleuve Zaïre elles sont partiellement recouvertes par des formations infracambriennes : schisto-calcaires, calcaires à stromatolithes.

Le système du Karoo se rencontre dans la partie orientale de la cuvette centrale en bordure de socle. Il est constitué de schistes, grès, tillites (500 à 700 m d'épaisseur). Il s'ennoie au Sud (Kabinda) sous le Continental Intercalaire.

Le Continental Intercalaire, formé de grès et argiles qui reposent sur le Karoo ou sur le socle, constitue le soubassement de la partie méridionale du Zaïre.

Localement (Kwango) le Continental Intercalaire est recouvert par les grès plus ou moins consolidés et argileux du Continental terminal (formation de Kalahari).

Tout le centre du pays disparaît sous un recouvrement alluvionnaire qui localement peut avoir plus de 100 m d'épaisseur.

En bordure d'océan (aval de Boma) le bassin sédimentaire côtier comporte une série compréhensive Crétacé Miocène.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION (environ 25 M d'habitants)

La densité moyenne est voisine de 10 hab/km² mais la forêt équatoriale humide est pratiquement vide d'habitants. Les seules régions assez peuplées correspondent à l'embouchure du fleuve Zaïre (Bas Zaïre) à la région minière du Katanga, aux zones montagneuses de l'Est entre les lacs Albert et Tanganyika, et dans une moindre mesure aux basses vallées du Kasai et du Kwilu, et aux zones de plateaux formant une frontière avec l'Empire Centrafricain. Hors des vallées, il s'agit de régions où affleurent les formations infra-cambriennes ou précambriennes, donc à ressources en eau souterraine localisées.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

4.1 - (c₁)

Les formations alluvionnaires constituant le remplissage de la cuvette centrale du pays, forment un ensemble de plusieurs centaines de mètres, encore mal connu, l'âge de ces formations s'étageant du mésozoïque au quaternaire.

Les nappes superficielles (< 50 m) sont d'importance et de qualité variables mais les niveaux les plus profonds devraient être exploitables par ouvrages à fort débit à des profondeurs comprises entre 50 et 200 m.

Dans les fossés d'effondrement qu'occupent les lacs Albert et Edouard des formations fluvi-lacustres formées de sables, conglomérats et argiles, contiennent des nappes localement importantes, les plus profondes (> 50 m) ayant les meilleures caractéristiques.

Au Katanga dans la région des lacs (Mueru) des *terrasses alluvionnaires* fournissent des ressources à faible profondeur mais de qualité très variable.

4.2 - (c₂)

Les formations gréseuses et gréso-argileuses du Continental intercalaire et du Continental terminal qui cernent la cuvette centrale contiennent une nappe généralisée dont le niveau dans les interfluves est à grande profondeur, mais se raccorde dans les vallées au cours des rivières.

4.3 - (c₃)

Dans la zone côtière, il existe dans *les formations superficielles* des lentilles d'eau douce flottant sur des niveaux salés. Par ailleurs dans *les formations gréso-argileuses de l'Eocène* existent des ressources potentielles exploitables à des profondeurs inférieures à 100 m.

4.4 - (d₁)

En amont de Boma *les pegmatites et migmatites précambriennes* ont été peu prospectées. Des recherches dans les zones fracturées (jusqu'à 100 m), permettraient l'implantation de points d'eau pouvant débiter de 1 à 5 m³/h.

A la frontière nord-est et est (E.C.A. et Soudan) *les granites et gneiss* sont exploités par ouvrages traditionnels avec des débits souvent importants (> 1 m³/h). Une prospection systématique des zones fracturées devrait fournir de bons résultats.

4.5 - (d₃)

Les roches effusives de la région des grands lacs sont de type acide, et leurs ressources ne sont pas connues.

4.6 - (d₄)

Au Bas Zaïre, *les formations gréseuses infracambriennes* peuvent contenir des ressources importantes dans les zones fracturées mais leur prospection reste à faire.

Les formations schisteuses, calcaires et gréseuses entre Oubangui et Zaïre sont mal connues. Les niveaux calcaires se prêtent à l'existence de nappes localement importantes, mais les niveaux d'équilibre seraient assez profonds (> 100 m).

En bordure orientale de la cuvette centrale *les formations du Karoo* (couches d'âge Dwyka) à dominante schisteuse et gréseuses ne contiennent que des ressources difficilement exploitables (eau à grande profondeur, faible débit) même dans le cas de zones faillées.

Au Katanga et en particulier dans la région minière, l'ensemble des *formations infracambriennes et primaires* sont aquifères à des profondeurs atteignant parfois 300 m. La tectonique complexe (failles -plissements) permet des mises en charge locales (eau à faible profondeur) mais ces ressources potentielles restent peu prospectées et utilisées.

D'une manière générale les ressources en eaux souterraines sont importantes au Zaïre, mais souvent difficiles d'accès, et mal connues faute de prospections systématiques.

RUANDA - BURUNDI

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit de petits pays enclavés (environ 26 000 km² chacun) très montagneux (sommets compris entre 2 000 et 4 000 m), coupés en deux par des fossés d'effondrement de direction N-S, occupés par des marais où le drainage est très mal assuré.

Du point de vue géologique la majeure partie du territoire est constituée par des formations précambriennes (granites et gneiss, roches métamorphiques). Dans la région des grands lacs des roches volcaniques acides forment les massifs montagneux. Les alluvions et formations lacustres peuvent être importantes dans les fossés d'effondrement.

Ruanda et Burundi sont très peuplés (densité moyenne 100 hab/km² les régions montagneuses concentrant néanmoins la majeure partie de la population rurale.

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les besoins en eau des populations sont couverts essentiellement par une alimentation gravitaire à partir de *sources* situées dans les zones montagneuses.

Les eaux souterraines sont utilisées presque exclusivement au niveau *des formations lacustres et alluviales* dans les fossés d'effondrement, et au niveau des grands lacs (lac Kivu - région de Kigali). Les débits obtenus varient de 0,5 à 50 m³/h à des profondeurs toujours inférieures à 50 m.

NIGERIA

1 - CARACTERES GENERAUX

Le territoire du Nigéria (925 000 km²) correspond sensiblement aux bassins du fleuve Niger et de son affluent principal, la Benoue. La frange côtière est par ailleurs pour moitié constituée par le delta du fleuve. Seul le Nord-Est correspond à une fraction du bassin du lac Tchad.

Sauf sur le plateau central de Jos qui sépare les bassins de la Benoue et du Niger, l'altitude est partout inférieure à 500 m. A la frontière du Cameroun les derniers contreforts des monts Adamaoua et Mandara constituent les seuls sommets au-dessus de 1 000 m.

Le climat varie d'une zone tropicale humide dans le delta, à un climat semi aride au Nord. Les 2/3 sud du territoire reçoivent en moyenne plus d'un mètre d'eau annuellement.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- Le territoire Nigérian s'étend pour l'essentiel sur le vieux socle précambrien constitué principalement de roches granitiques accessoirement de formations schisteuses avec des épanchements volcaniques localisés.

- Au Sud le bassin sédimentaire côtier relaie le socle sous le delta du Niger.

- A l'intérieur du pays les bassins d'effondrements du Niger et de la Benoue prolongent le bassin côtier.

- Au Nord les bassins sédimentaires sont les extrémités sud des vastes bassins du Niger (Sokoto) et du lac Tchad.

. Le bassin côtier est constitué d'une série compréhensive : Crétacé (sableux, gréseux et argileux), Paléogène (calcaire dominant), Eocène (argile

dominante), Continental terminal (sableux et argileux), Quaternaire (sable et argiles).

. Les fossés d'effondrements du Niger et de la Benoue comportent une série comprenant le Continental intercalaire (grès et sable) le Crétacé (argilites et grès) et des formations alluviales quaternaires à actuelles (sables et argiles).

Le Continental intercalaire constitue l'essentiel des formations du fossé du Niger en aval de la confluence Niger Benoue.

Les formations crétacées correspondent à la partie aval et moyenne du fossé de la Benoue. Le Continental intercalaire constitue par contre la partie supérieure du fossé de la Benoue.

. Le bassin de Sokoto est constitué d'une série compréhensive : Continental Intercalaire (grès et sable), Crétacé (grès, sables, calcaires), Paléogène (argilites et calcaires), Continental terminal (sable et argiles).

. Le bassin du Tchad comporte en bordure du socle des formations sablo-argileuses du Continental terminal. Ces formations sont relayées vers le lac Tchad par des formations quaternaires sablo-argileuses. En bordure du lac le Quaternaire repose en continuité sur des formations sablo-argileuses pliocènes.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Le Nigéria est le pays le plus peuplé d'Afrique (environ 65 M d'habitants). Les zones à forte densité correspondent d'une part au bassin sédimentaire côtier, et d'autre part aux massifs granitiques du Nord du pays (région de Kano). Inversement les bassins sédimentaires intérieurs correspondant aux vallées du Niger et surtout de la Benoue, sont beaucoup moins peuplés. Le bassin du lac Tchad est pratiquement désertique.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les ressources en eau souterraine ont été assez systématiquement prospectées. S'il existe des études à caractère synthétique pour ce qui concerne les aquifères généralisés, par contre elles sont très peu nombreuses pour ce qui est des aquifères discontinus, les très nombreux forages exécutés ne fournissant que des données brutes.

4.1 - (c₁)

Dans le delta du Niger *les formations alluvionnaires* peuvent être localement épaisses, notamment en bordure de mer. La nappe située dans les sables, argiles et vases est subaffleurante, mais peut être localement contaminée par de l'eau de mer. Les débits disponibles sont variables en fonction de la lithologie locale.

Localement dans la vallée du Niger, mais pratiquement sur tout le cours de la Benoué, il existe une nappe alluviale, en équilibre avec le fleuve (prof. max. 15 à 20 m) de bonne qualité, susceptible d'être captée par ouvrage d'une profondeur maximale de 30 m.

4.2 - (c₂)

Dans le bassin côtier *le Continental Terminal* contient une nappe toujours située à moins de 50 m sous le sol, de bonne qualité et susceptible de fournir des débits importants.

Dans ce même bassin plus au Nord dans *les zones d'affleurement des grès, sables argileux et calcaires du Crétacé*, existe une nappe libre utilisable entre 30 et 60 m de profondeur, de bonne qualité et fournissant des débits importants.

Dans le bassin de Sokoto *les formations du Continental Terminal* (sable, argile, grès argileux) contiennent plusieurs nappes entre la surface du sol et 250 m. Les niveaux les plus profonds peuvent être artésiens, les débits localement importants et la qualité de l'eau généralement bonne.

Dans le bassin du lac Tchad, *les formations du Quaternaire, du Pliocène et du Continental Terminal* contiennent plusieurs nappes superposées. La nappe libre étant localement saumâtre, les aquifères profonds captifs (reconnus entre 150 et 300 m de profondeur) fournissent une eau parfois artésienne mais généralement à moins de 50 m sous le sol.

4.3 - (c₃)

Dans le bassin côtier *les calcaires paléogènes* sont très argileux et ne fournissent que des débits faibles. La nappe des *sables maestrichtiens* sous-jacente peut éventuellement être utilisée.

Dans le bassin de Sokoto *les formations du Crétacé et du Continental Intercalaire*, là où elles n'affleurent pas, ne sont utilisables qu'à des profondeurs supérieures à 100 m, bien que le niveau de l'eau soit très souvent en charge. A l'affleurement (frontière du Niger) l'eau est à moins de 30 m sous le sol.

Dans les bassins de la Benoue et du Niger, *les zones d'affleurement du Crétacé et du Paléogène* (argilites dominantes avec niveaux gréseux) n'offrent que des ressources discontinues directement liées aux faciès locaux. Le recours au *Continental Intercalaire* qui contient une nappe généralisée captive lorsqu'il est sous-jacent peut pallier la médiocrité du Crétacé et du Paléogène.

Aux zones d'affleurement du *Continental Intercalaire* correspond un aquifère généralisé libre plus ou moins facilement accessible en fonction de la topographie.

4.4 - (d₁)

De très nombreux forages ont été exécutés dans *les formations granitiques* du centre et de l'Ouest. Les débits moyens s'établissent entre 1 et 2 m³/h pour des profondeurs d'ouvrages inférieures à 50 m. Des statistiques sur les ouvrages récents plus profonds seraient à établir.

4.5 - (d₂)

Les épanchements volcaniques des plateaux de Jos et Biu ont été prospectés par des forages de 30 à 80 m réalisés au marteau fond de trou. Les débits atteignent couramment la dizaine de m³/h, dans certains cas plusieurs dizaines de m³/h.

4.6 - (d₄)

Dans *les formations schisteuses* du Nord et de l'Ouest les résultats des forages récents (profondeur moyenne 100 m) ne sont pas encore connus. Les ouvrages anciens (forages entre 15 et 40 m) dans les seules parties altérées, fournissaient des débits compris entre 0,5 et 1,5 m³/h.

CAMEROUN

1 - CARACTERES GENERAUX

On distingue pour l'ensemble du Cameroun quatre grandes régions naturelles :

- la région montagneuse de l'Ouest : la chaîne de montagnes constituant cette région part du golfe de Guinée (île de Fernando Po), borde le Cameroun à l'Ouest (Mt Cameroun 4070 m). Une dernière chaîne : les Mandaras, au Nord de la Benoue, s'ennoie sous les formations de la cuvette tchadienne.

- la région sud : pénéplaine plus ou moins arasée (0 à 800 m) représentant 1/3 du territoire s'étend depuis l'océan jusqu'aux hauts plateaux de l'Adamaoua.

- la région des hauts plateaux de l'Adamaoua (700 à 1500 m) limitée vers le Nord par le fossé d'effondrement de la Benoue.

- la région nord constituée par le fossé de la Benoue et la cuvette tchadienne.

Au Nord de la Benoue la pluviométrie est comprise entre 500 mm et 1000 mm. Dans la région sud elle est voisine de 1500 mm. En bordure du golfe de Guinée et dans la région montagneuses de l'Ouest elle est supérieure à 2 m et atteint localement 4 m.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les 3/4 du territoire correspondent à des affleurements de roches précambriennes où dominent les granites particulièrement à l'Est du pays.

Les épanchements volcaniques sont à l'origine des principaux massifs volcaniques au Cameroun occidental et dans la région de N'Gaoundere.

Les zones sédimentaires sont limitées à l'extrémité du bassin côtier nigérien, et aux bassins supérieurs de la Benoue et du lac Tchad.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

La population (6 M d'habitants) est presque exclusivement concentrée sur les massifs montagneux et en particulier sur les affleurements de roches volcaniques basaltiques au Cameroun occidental, et dans la région de N'Gaoundere. Le bassin côtier et dans une moindre mesure la vallée du Logone au Nord sont également assez peuplés. Les zones les moins peuplées correspondent au bassin sud de la Sanaga, mal drainé, domaine de la forêt équatoriale.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les régions les mieux connues correspondent au Nord Cameroun où la faible pluviométrie impose un recours intensif aux ressources en eaux souterraines. Ailleurs les données dépouillées seraient à synthétiser.

4.1 - (c₁)

Dans le bassin côtier *les formations fluviolacustres quaternaires* sont développées au Sud-Est du Mt Cameroun. Elles contiennent une nappe subaffleurante, localement en contact avec des niveaux saumâtres.

4.2 (c₂)

Dans le bassin du Tchad *les formations sablo-argileuses superficielles* contiennent une nappe généralisée dont la profondeur varie de 0 m à l'Est (alimentation par le Logone et ses zones d'inondation) à 60 m à l'Ouest. La qualité de l'eau est en général bonne.

Une nappe captive a été reconnue dans *les formations sous-jacentes pliocènes*. Cette nappe est artésienne sur les pourtours du lac Tchad.

Dans le bassin côtier *les grès, sables, argiles et calcaires du Continental terminal au Crétacé* contiennent plusieurs nappes, utilisables à des profondeurs inférieures à 100 m, avec des niveaux d'équilibre compris entre 10 et 50 m.

4.3 - (c₃)

Dans le bassin de la Benoue, *les grès et sables argileux du Continental Intercalaire* contiennent une nappe libre dans la zone d'affleurement, nappe qui peut généralement être captée à des profondeurs inférieures à 100 m, avec des débits de plusieurs dizaines de m³/h.

4.4 - (d₁)

Les formations granitiques n'ont été systématiquement prospectées qu'au Nord de N'Gaoundere. Les Mts Mandara ne contiennent que des roches peu altérées, mais sur le plateau de l'Adamaoua l'épaisseur de cette zone altérée peut atteindre 40 m, les débits moyens obtenus étant de l'ordre de 0,5 à 2 m³/h. La recherche de zones fracturées en profondeur devrait améliorer ces résultats.

Dans la région sud-est les résultats actuels ne sont que fragmentaires.

4.5 - (d₂)

Les formations basaltiques sont situées dans des régions très arrosées et ont été peu prospectées. Les ressources en eaux souterraines utilisables par ouvrages de 50 à 150 m devraient y être importantes (en moyenne 5 à 10 m³/h par ouvrage).

E.C.A.

1 - CARACTERES GENERAUX

La majeure partie du territoire est constituée par un plateau séparant le bassin du Congo de celui du lac Tchad ; elle est drainée par les affluents de l'Oubangui, seul le Nord formant une dépression correspondant au bassin du lac Tchad.

La pluviométrie annuelle est partout comprise entre 1 et 1,4 m.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les 4/5 du territoire sont le domaine des roches précambriennes formées de granites, gneiss, migmatites. Des remplissages de roches schisteuses et gréseuses d'âge infracambrien affleurent dans des compartiments faillés au Nord de l'Oubangui.

Les bassins sédimentaires sont limités à l'extrémité sud du bassin du Tchad (Continental Terminal) et aux bassins fluvio-lacustres de Ouadda et de Berberati où dominent les formations du Continental Intercalaire.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Il s'agit d'un pays peu peuplé (2 M d'hab, 4 hab/km²). Les densités les plus importantes se rencontrent dans la vallée de l'Oubangui en amont et en aval de Bangui, et dans le haut bassin du Logone correspondant à des régions d'altitude plus élevée formées de roches granitiques et gneissiques.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Compte tenu de l'abondance des ressources en eaux superficielles, la prospection et l'utilisation des ressources en eaux souterraines n'ont pas été entreprises de façon systématique, sauf localement pour l'alimentation en eau de certains centres, et dans quelques zones plus arides du Nord. Jusqu'à

présent la majeure partie des ouvrages utilisés est constituée par des puits à main, traditionnels ou récents, de profondeur rarement supérieure à 30 m.

4.1 - (c₂)

- Les formations sablo-argileuses et gréseuses du *Continental Terminal* correspondant à l'extrémité sud du bassin du Tchad contiennent une nappe généralisée exploitable à faible profondeur (< 30 m) seulement dans les vallées. L'eau est de bonne qualité.

- Les formations gréseuses du *Continental Intercalaire* des bassins fluvio-lacustres (Ouadda, Berberati) ont des puissances variant entre 50 et 200 m selon la topographie et la morphologie du socle. Elles contiennent une nappe probablement généralisée très profonde dans les interfluves (> 100 m) affleurante dans les vallées. Les caractéristiques de ces nappes sont mal connues.

4.2 - (d₁)

Dans les régions formées de *roches précambriennes et granitiques*, la plupart des ouvrages actuels sont des puits exploitant essentiellement les formations altérées. L'emploi des techniques de fonçage rapide, permettant d'atteindre la roche saine souvent fissurée en profondeur, permettrait, comme partout dans ces types de formations, d'obtenir des débits sensiblement plus importants. Actuellement dans ces régions, le recours aux eaux souterraines ne constitue qu'un appoint par rapport à l'utilisation des eaux superficielles.

4.3 - (d₄)

A la frontière du Zaïre et selon un axe nord-sud correspondant sensiblement au bassin du Koto affleurent des *formations schisto-gréseuses* avec quelques niveaux carbonatés. Par analogie avec ce que l'on connaît ailleurs, et de plus, ces formations paraissant localement très fracturées, des ressources localement importantes pourraient exister à des profondeurs comprises entre 50 et 150 m. Les débits disponibles (< 10 m³/h) doivent être très variables en fonction de la lithologie des roches encaissantes.

GABON

1 - CARACTERES GENERAUX

Le Gabon, dont la superficie est de 268 000 km², est caractérisé par une zone côtière basse plus ou moins large (de 20 à 150 km) et par un arrière pays montagneux dont l'altitude dépasse très rarement 1 000 m (quelques pitons dans le Chaillu).

Les pluies dépassent 1,50 m par an sur l'ensemble du territoire et sont supérieures à 2,50 m dans l'extrémité nord-ouest du pays.

La forêt couvre tout le territoire à l'exception de quelques secteurs de savane.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations géologiques appartiennent à deux grands ensembles : les formations de couverture et les formations précambriennes.

- Les formations de couverture ne représentent que le quart du territoire ; on distingue essentiellement les dépôts de la cuvette congolaise tertiaire, qui correspondent à des sables et grès fins éoliens et que l'on trouve dans le Sud-Est du pays (plateaux Batèkès) et le bassin côtier dont les couches, surtout crétacées avec quelques affleurements permien (bordure nord-est) et tertiaires (à l'Ouest) montrent un pendage général vers l'Ouest ; ces formations sont en majeure partie argileuses et grés-marneuses, avec quelques couches sableuses, gréseuses ou calcaires. Le littoral montre quelques cordons dunaires, sableux, quaternaires.

- Les formations précambriennes forment trois séries d'âge et de lithologie variées : le Précambrien supérieur correspond surtout aux formations du synclinal de la Nyanga, situé dans le Sud du pays et qui se continue au Congo ; ce synclinal montre une auréole de grès arkosiques, de dolomies et de calcaires oolithiques ("schisto-calcaire") et un coeur composé de grès et d'argilites ("schisto-gréseux"). La série schisto-calcaire peut présenter un faciès karstifié.

Au Précambrien moyen on attribue essentiellement les formations du bassin de Franceville : grès, argilites, conglomérats ; l'ensemble est fréquemment recoupé par des filons de dolérite.

Le Précambrien inférieur représente la majeure partie des affleurements (près de 140 000 km², soit la moitié de la superficie du territoire). Il correspond à des séries à métamorphisme accentué et très granitisées.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Le pays est peu peuplé (moins de 1 M d'habitants). La moitié de la population habite des villes et des centres ruraux. L'autre moitié se répartit dans des villages situés sur des axes routiers, principalement dans le Nord (Woleu-Ntem) et dans le Sud du pays (Ngounié).

De très vastes régions sont inhabitées.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

La présence d'eaux superficielles pérennes sur la majeure partie du territoire a fait négliger jusqu'à présent la recherche et l'exploitation des eaux souterraines. Seuls quelques villes et centres ruraux du littoral ont été ou sont encore alimentés à partir d'ouvrages exploitant les eaux souterraines.

En dépit de la rareté des données quantitatives sur les caractéristiques des divers aquifères, un classement hydrogéologique des formations est possible à partir de leur lithologie.

Les eaux des divers aquifères sont de première qualité chimique. On doit noter que, sensible aux problèmes de qualité physique et bactériologique des eaux de surface utilisées par les populations rurales, le Gouvernement a inscrit à son dernier Plan un vaste programme d'équipement des villages par des forages.

4.1 - (c₁)

On a porté dans cette catégorie les formations sableuses côtières ; elles correspondent à des dépôts miocènes et quaternaires et possèdent des nappes libres situées à faible profondeur. La perméabilité est assez élevée. L'exploitation des nappes des cordons littoraux doit être étudiée pour ne pas risquer des venues d'eau salée.

La ville de Port Gentil est actuellement alimentée en eau à partir de ces formations.

4.2 - (c₂)

Cette classe correspond à des *formations calcaires, sableuses ou gréseuses crétacées* du bassin côtier et aux *formations sablo-gréseuses tertiaires* des plateaux Batèkès (sud-est du pays). Leur profondeur est inférieure à 100 m.

La perméabilité est variable, faible à moyenne (calcaires), à élevée (sables, grès). Les séries sableuses et gréseuses à l'Est de Libreville présentent des eaux artésiennes.

4.3 - (c₃)

On a porté ici diverses *séries argileuses, sablo-argileuses, argilo-calcaires crétacées* à perméabilité peu élevée.

Libreville a été alimenté en eau à partir de forages profonds (100 à 400 m) foncés dans les calcaires et grès de Sibang, jusqu'à ces dernières années. La précarité de la ressource a conduit à rechercher une solution-eau de surface plus lointaine.

4.4 - (d₁)

d_{1a} représente les *formations granito-gneissiques (Précambrien inférieur)* ; les débits nécessaires pour alimenter les villages seront obtenus à partir des arènes sableuses ou des zones fissurées ou fracturées (forages de moins de 100 m).

d_1b correspond aux *formations francevilliennes (Précambrien moyen)* peu perméables ; pour être productifs, les forages devront capter des bancs gréseux.

4.5 - (d_4)

Cette catégorie comprend *les formations du Précambrien moyen* du synclinal de la Nyanga avec :

d_4b : schisto-gréseux, où les forages (100 m maximum) devront atteindre des bancs gréseux.

d_4c : schisto-calcaires où des forages de 50 m seront suffisants pour obtenir des débits bien supérieurs aux besoins des villages ; les plans d'eau seront à faible profondeur sous le sol.

REPUBLIQUE POPULAIRE DU CONGO

1 - CARACTERES GENERAUX

- Les plateaux situés au Nord de Brazzaville (plateaux Batekes) séparent le bassin atlantique qui se termine par un bassin sédimentaire côtier d'environ 50 km de large, du bassin de l'Oubangui-Congo qui occupe toute la partie nord du territoire et est très marécageux sur le cours inférieur de la Sangha.

Les plateaux ont une altitude moyenne de 500 m et il n'existe nulle part de zone montagneuse.

- La pluviométrie annuelle est partout comprise entre 1,2 et 1,8 m.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

- Les plateaux du centre correspondent aux formations infracambriennes dans le bassin du haut Kouilou et à des séries précambriennes granitiques et gneissiques dans les monts Mayombe à l'Ouest.

- Le bassin sédimentaire côtier est essentiellement, sous un recouvrement superficiel alluvial ou côtier, constitué par les séries marines du Crétacé et de l'Eocène.

- A l'Est et au Nord, les plateaux Batekes sont constitués de formations gréso-sableuses du Continental intercalaire et localement du Continental terminal.

La dépression du Nord correspondant au bassin de l'Oubangui et de la Sangha est comblée par un remplissage sablo-argileux quaternaire.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Très peu peuplée (1 M d'hab. environ), la République populaire du Congo compte un certain nombre de régions vides d'habitants : centre Oubangui et Sangha, Nord des plateaux Batekes, zones marécageuses du bassin côtier. Les

régions les plus peuplées correspondent à la vallée du Niari (formations infracambriennes) et au Mayombe (Précambrien). D'une façon générale, les zones sédimentaires sont très peu peuplées.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Elles ont été très peu prospectées puisque les eaux superficielles sont très abondantes. Les ressources potentiellement les plus importantes des formations sédimentaires, correspondent à des régions pas ou très peu peuplées.

4.1 - (c₁)

- Dans le bassin côtier ouest *les dépôts alluviaux ou deltaïques* sont bien développés et contiennent des nappes localement utilisables à faible profondeur. La qualité de l'eau est souvent médiocre.

- *Les dépôts fluviiaux* des bassins de l'Oubangui et de la Sangha (Quaternaire et Continental Terminal) peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Les nappes y sont très importantes, exploitables à des profondeurs variables (de 10 à 100 m).

4.2 - (c₂)

Le Continental Terminal (et Intercalaire) des plateaux Batekes (100 m d'épaisseur) est l'équivalent des formations du Kalahari. Une nappe généralisée de bonne qualité y existe mais, hors des vallées, l'eau est très souvent à plus de 50 m sous le sol. Les débits des ouvrages pourraient être localement importants.

Le bassin sédimentaire côtier est formé d'*alternance de grès, sables, calcaires et argiles*. Les grès et sables offrent des ressources exploitables à des profondeurs de 100 m et fournissent une eau de bonne qualité sauf en bordure immédiate de la côte.

4.3 - (d₁)

Les formations granitiques sont développées surtout dans le bassin de l'Ogooue et au Nord à la frontière du Gabon. La fissuration peut y être plus généralisée que dans le Mayombe où les séries schisteuses sont plus développées. La prospection de toutes ces formations reste à faire.

4.4 - (d₂)

A la frontière du Cameroun (bassin de la Boumba) affleurent des *formations basaltiques* récentes, où la fissuration en profondeur (jusqu'à 100-150 m) pourrait être assez généralisée, permettant la création d'ouvrages à débit important (> 10 m³/h). Ces régions n'ont pas encore été prospectées.

4.5 - (d₄)

Dans le bassin du Niari prolongement du synclinal de Nyanga, *les formations infracambriennes* comprennent des conglomérats, des tillites, des calcaires dolomitiques. Une prospection systématique mettrait probablement en évidence des ressources localement importantes notamment dans les niveaux carbonatés. Il s'agit d'une zone relativement peuplée où une alimentation des collectivités rurales à partir des eaux souterraines peut être envisagée et généralisée par des ouvrages ayant des profondeurs moyennes comprises entre 50 et 100 m.

NIGER

1 - CARACTERES GENERAUX

Le Niger est un pays vaste (1 262 000 km²) où un axe nord-sud marqué par le massif de l'Aïr (alt. max. 2 000 m) et quelques plateaux isolés (Damer-gou) sépare le bassin du Niger au Sud-Ouest, du bassin du lac Tchad. L'altitude est presque partout inférieure à 500 m.

La pluviométrie n'est supérieure à 400 mm qu'à l'extrême sud du territoire, et seul le Sud-Ouest du pays est complètement drainé par l'intermédiaire du Niger. Tout le Nord et l'Est sont des régions désertiques, sans écoulement permanent, avec de nombreuses dépressions où se perdent les ruisselements sporadiques des massifs montagneux. Les formations dunaires sont très développées sur les 2/3 nord et est du pays.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes constituent la rive droite du fleuve Niger et se retrouvent selon l'axe nord-sud défini ci-dessus dans l'Aïr d'une part, et aux environs de Zinder d'autre part.

Le bassin du fleuve Niger correspond à un bassin sédimentaire où affleurent d'Ouest en Est, le Continental Terminal sablo-gréseux, le Paléogène calcaire, les formations du Crétacé et le Continental Intercalaire gréseux. Au Nord et en bordure de l'Aïr apparaissent les séries primaires (Carbonifère et Dévonien).

Dans le bassin du lac Tchad la succession d'Est en Ouest est Quaternaire fluviolacustre, Continental Terminal très souvent masqué, et Continental Intercalaire visible jusqu'en bordure est de l'Aïr. Au Nord (Teneré du Tafassasset, plateau du Djado) apparaissent les formations à dominante gréseuse du Primaire : Permien carbonifère et Dévonien.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Toutes les régions situées au Nord du 14^e parallèle sont pratiquement désertiques. La population (3 M d'habitants) est concentrée selon une très étroite bande le long de la frontière du Nigeria et dans la vallée du Niger et de ses affluents (Dallols) en aval de Niamey. Sauf aux environs de Zinder et localement en rive droite du Niger il s'agit de régions sédimentaires.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

La rareté des eaux superficielles, l'étendue des zones sédimentaires sont à l'origine d'une utilisation systématique des eaux souterraines. Jusqu'à présent la majeure partie des ouvrages destinés à une population souvent semi-nomade et pratiquant une agriculture extensive, était des puits. Techniquement rien ne s'oppose à ce que les énormes potentialités en eaux souterraines de ces régions soient exploitées par des forages à gros débit permettant éventuellement une irrigation de certaines régions. Le Niger est par ailleurs un des pays où les populations rurales sont sensibilisées depuis de longues années aux problèmes de la création et de l'entretien du réseau de points d'eau.

4.1 - (C₂)

Dans le bassin du fleuve Niger *le Continental Terminal* est formé de grès argileux, argiles et sables. On y trouve une nappe phréatique et une ou plusieurs nappes captives. Le niveau d'équilibre s'établit entre 5 et 60 m de profondeur suivant la position topographique, les caractéristiques (débit et qualité) étant bonnes.

Dans le bassin du lac Tchad, les formations sablo-argileuses superficielles contiennent une nappe généralisée de profondeur variable exploitée par les puits traditionnels. La qualité de l'eau en général bonne, peut localement être médiocre. Une nappe captive a été reconnue entre 250 et 350 m de profondeur dans les formations sous-jacentes pliocènes. Cette nappe captive est artésienne jaillissante selon une auréole autour du lac Tchad. Les eaux sont de bonne qualité chimique.

Au Nord du bassin, à la frontière Niger-Tchad, le Continental Terminal gréseux et sableux contient une nappe généralisée peu ou pas exploitée.

4.2 - (c₃)

Dans le bassin du Niger, les grès du Continental Intercalaire (grès de Tegama) contiennent une nappe généralisée libre dans la zone d'affleurement, captif lorsqu'ils sont recouverts par des niveaux plus récents.

Dans la zone libre (Damergou, Tegama), la profondeur de la nappe, fonction de la topographie peut atteindre 100 m mais est le plus souvent de 30 m.

Dans la zone captive la nappe ne peut être atteinte que par des forages profonds (200 à 600 m), dans certaines vallées (dallols), cependant cette nappe est artésienne et jaillissante.

Dans le Nord du pays en bordure occidentale de l'Aïr, les diverses séries du Primaire (grès de Teloua, d'Agadès, de Farazekat, de Tagora) contiennent des nappes captives très fréquemment artésiennes. Les ressources potentielles sont considérables. A l'Est de l'Aïr (Teneré de Tafassasset, bassin de Bilmat). Les connaissances hydrogéologiques sont extrêmement réduites mais il est vrai que cette zone est désertique et sans population.

Au Sud du pays, dans la région de Zinder, le bassin des Koramas constitué de formations sablo-argileuses du Quaternaire et du Continental Terminal offre des ressources limitées exploitables par puits de 10 à 40 m de profondeur selon la topographie.

4.3 - (d₁)

Dans l'Aïr les ressources les plus fiables sont constituées par les nappes alluviales.

Les formations précambriennes (s.l.) ne recèlent que des ressources très limitées du fait de l'absence d'altérations superficielles et d'une alimentation par les pluies très précaire.

Dans le Liptako les ressources sont faibles et à rechercher dans les zones d'altération, de fracturation ou de fissuration.

Dans le massif de Zinder, les problèmes sont les mêmes que dans le Liptako.

TCHAD

1 - CARACTERES GENERAUX

Les 2/3 du territoire dont la superficie totale est de (1 285 000 km²) sont constitués par le bassin fluvio-lacustre du lac Tchad, essentiellement alimenté par le Chari et le Logone.

Le Nord du pays est le domaine de l'important massif de Tibesti (3 415 m au Mt Emikoussi), tandis qu'à l'Est les plateaux de l'Ennedi et du Ouaddai marquent la limite entre les bassins du Tchad et du Nil.

Le lac Tchad marque la frontière entre une zone sahélienne (> 600 mm) et tropicale à l'extrême sud, et une zone désertique qui commence au Nord du lac et couvre les 2/3 du pays.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes forment la frontière est dans le Ouaddai, et apparaissent sous forme d'affleurements limités au Sud (Guera et rive gauche du Logone).

Le Tibesti est un massif volcanique basaltique récent, sur lequel s'appuient des formations cambro-ordoviciennes à l'Ouest, dévoniennes à l'Est où le plateau de l'Ennedi forme un seuil entre le bassin lybien et soudanien d'une part, et le bassin du Tchad d'autre part.

Dans le bassin du Tchad proprement dit affleurent essentiellement les épaisses séries fluvio-lacustres du Quaternaire. Le Continental terminal est le plus souvent masqué par ces formations et il n'apparaît que sur le pourtour du bassin, au Nord, au Sud du Borkou - Ennedi, à l'Est, au Batha, au Sud, dans les Koros. Le Continental Intercalaire n'affleure qu'au Sud-Ouest du Tibesti à la frontière du Niger.

Dans le bassin libyen et soudanien, au Nord du Borkou - Ennedi, affleure le Continental Intercalaire (grès de Nubie).

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

La population (3,5 M d'habitants) est regroupée essentiellement le long des vallées du Chari et du Logone et de leurs affluents et dans une moindre mesure sur les plateaux précambriens du Ouaddaï et du Guera. Tout le Nord du pays et les plaines situées à l'Est de Fort Archambault sont peu peuplées.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Comme pour tous les pays Sahéliens la prospection des eaux souterraines, très ancienne, a été très développée depuis 30 ans. Les études générales et synthétiques sur les capacités théoriques des principaux réservoirs aquifères sont très nombreuses. L'utilisation actuelle en zone rurale se fait à peu près exclusivement à partir de puits à main. Les forages sont très peu nombreux, et réservés à l'alimentation des principaux centres.

4.1 - (c₂)

Dans le bassin du lac Tchad, la série fluvio-lacustre et dunaire plioquaternaire contient une nappe généralisée libre. Les caractéristiques (débits et qualité) les plus favorables sont trouvées dans la série dunaire. La profondeur de la nappe peut atteindre 60 m dans la série fluviolacustre superficielle. Autour du lac Tchad dans les couches profondes du Pliocène et du Continental Terminal (> 200 m sous le sol) existent plusieurs nappes sous pression et localement artésiennes.

Au Batha (Ouest Ouaddaï), la nappe contenue dans le Continental Terminal se trouve entre 60 et 90 m de profondeur.

Dans les Koros (extrême Sud), la nappe contenue dans le Continental Terminal n'est accessible que dans les vallées, dans les interfluves elle se situe à 80-100 m de profondeur. Au Sud du Borkou-Ennedi, le Continental Terminal contient une nappe profonde de 50 à 100 m.

Les eaux sont très généralement de bonne qualité mais localement peuvent être médiocres.

Le Continental Intercalaire au Nord de Borkou-Ennedi (grès de Nubie) contient probablement comme cela est le cas au Soudan, une nappe généralisée. Mais actuellement cette formation n'a pas été reconnue au Tchad.

4.2 - (c₃)

Le Continental Intercalaire au Sud-Ouest du Tibesti contient une nappe généralisée, comme plus au Sud dans le bassin du Niger. Cette formation n'a pas été reconnue au Tchad.

Dans le Mayo Kebbi (extrémité sud-ouest) les formations laguno-lacustres du Crétacé contiennent une nappe superficielle seule exploitée jusqu'à présent.

Dans le bassin du Tchad au-delà de 300-400 m de profondeur les *séries gréseuses et sablo argileuses du Continental Terminal et du Continental Intercalaire*, contiennent plusieurs nappes superposées non exploitées actuellement.

4.3 - (d₁)

Dans le Ouaddai-Guera surtout constitué de *granites*, les ressources sont limitées aux zones fissurées et altérées, plus importantes dans le cas de recouvrements lenticulaires primaires.

Dans le Mayo Kebbi les conditions de gisement sont identiques mais les ressources devraient être plus importantes compte tenu de la pluviométrie supérieure à 1 m.

4.4 - (d₂)

Les épanchements volcaniques du Tibesti sont probablement stériles faute de renouvellement par les précipitations. Les ressources sont ici limitées aux zones alluviales. On note cependant l'existence de sources thermales.

4.5 - (d₄)

Dans le Borkou et l'Ennedi, les grès à galets, les marnes et calcaires du Cambrien et du Carbonifère, apparaissent localement aquifères (1 000 m³/j à Largeau). En l'état des connaissances actuelles ces formations ont été cartographiées en aquifère discontinu mais il est toutefois possible qu'elles contiennent une nappe généralisée.

Les ouvrages de captage ont en général une profondeur supérieure à 100 m.

REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

1 - CARACTERES GENERAUX

La Mauritanie (1 100 000 km²) correspond à l'extrémité ouest de l'immense bassin de Taoudeni, dont les bords sont marqués par des cuestas de direction est-ouest au Nord du pays puis nord-sud (Adrar, Tagant, Assaba) au centre.

Les pénéplaines, formées de terrains anciens, constituent tout le Nord du pays et se retrouvent selon un axe nord-sud entre le cap Blanc et la pointe sud du territoire (Guidimaka). Elles forment les bords du bassin côtier qui s'ouvre sur l'Atlantique par une façade de 500 km environ.

L'altitude n'est qu'exceptionnellement supérieure à 500 m (Adrar), et le seul fleuve permanent, le Sénégal, ne draine que l'extrême sud-ouest du pays : tous les affluents rive droite sont temporaires. La pluviométrie n'est supérieure à 400 mm qu'aux frontières sud, et au Nord du 16^e parallèle (sauf le long de la vallée du Sénégal) le pays peut être considéré comme pratiquement désertique.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes occupent l'extrême Nord de la Mauritanie avec une lithologie variée : granite, gneiss, roches volcaniques.

La "chaîne" des Mauritanides d'orientation nord-sud, qui s'étend depuis le Maroc jusqu'en Guinée à travers la Mauritanie et le Sénégal est constituée de formations infracambriennes et cambro-ordoviciennes plissées, métamorphisées, localement granitisées. Les faciès rencontrés sont des schistes, des grès, des quartzites, plus rarement des roches carbonatées et des termes volcano-sédimentaires (basaltes, roches vertes, etc.).

Cette chaîne sépare le bassin sédimentaire de Taoudeni du bassin côtier.

- Dans le bassin de Taoudeni les formations sédimentaires n'affleurent qu'en bordure du bassin, ailleurs elles sont masquées par une couverture éolienne.

. l'Infracambrien est représenté dans l'Affollé par une série à dominante gréseuse ;

. le Cambro-ordovicien du Hank, de l'Adrar, du Tagant et de l'Assaba est constitué principalement de grès et quartzites, mais également de pélites et dolomies ;

. le Siluro-dévonien, représenté par des grès et des calcaires affleure sous forme de synclinaux dans l'Adrar ;

. au Nord de Nema, le Continental Intercalaire affleure en bordure des formations primaires ;

. à l'extrême Est, le Continental Terminal gréseux et argileux affleure à la frontière du Mali.

- Dans le bassin côtier sont représentés, le Maestrichtien sablo-gréseux qui n'affleure pas en Mauritanie, l'Eocène marno-calcaire, le Continental Terminal gréso-argileux, le Quaternaire dunaire et marin bien développé le long du littoral.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

En dehors de la vallée du Sénégal et de celle du Karakoro le pays est pratiquement vide d'habitants (1 M d'habitants au total). L'agriculture n'est pratiquée que de façon sporadique dans une étroite bande à l'Est du pays, et dans les vallées des cours d'eau semi permanents. Ailleurs règne le nomadisme avec un certain nombre d'oasis situées dans les plateaux de l'Adrar du Tagant. Le Nord est encore le domaine du grand nomadisme.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

L'étude des ressources en eaux souterraines a été développée selon deux axes principaux : recherches de sites favorables pour l'implantation de points d'eau en aquifère discontinu, étude des caractéristiques et potentialités des ressources à proximité des centres. Si ces études théoriques et de synthèse sont très nombreuses, le test des hypothèses émises reste souvent à faire. Par ailleurs les puits "à main" constituent encore la quasi-totalité du réseau de points d'eau.

4.1 - (c₁)

Les alluvions du Sénégal formées de limons, sables et argiles sont localement très perméables. Elles ne sont exploitables pour l'alimentation humaine qu'en aval de Boghe, par suite de la remontée des eaux salées dans le delta du fleuve.

Les nappes dunaires sont surtout importantes dans l'Aouker au Nord du Hadh (eau à 20 ou 30 m sous le sol). Des hauts-fonds du socle déterminent des zones stériles.

4.2 - (c₂)

Dans le bassin sédimentaire côtier, il existe une nappe libre ou semi-captive dans *les formations sablo-argileuses du Continental Terminal* à l'Ouest et dans *les marno-calcaires* à l'Est ; l'eau est à des profondeurs variant entre 20 et 80 m sous le sol avec un creux maximal au centre du bassin. Des contaminations par des niveaux argileux saumâtres, ou localement par eau de mer déterminent une zone inexploitable en bordure de côte, zone dont la largeur varie entre 20 et 150 km et qui correspond sensiblement aux formations quaternaires. Les villes de Nouakchott et Nouadhibou sont alimentées en eau potable à partir de cet aquifère.

Dans le bassin sédimentaire côtier la nappe profonde des sables maestrichtiens (gîte entre 100 et 500 m de profondeur) est maintenue captive par les formations éocènes susjacentes. Cette nappe bien connue au Sénégal, mais peu prospectée en Mauritanie méridionale ne semble pas cependant, pour des raisons de qualité chimique, exploitable à l'Ouest du méridien de Boghé.

En Mauritanie septentrionale par contre la nappe maestrichtienne au Nord de Nouadhibou a été reconnue par forages, elle est en charge et artésienne jaillissante en bordure du littoral.

A l'extrême Est le Continental Terminal contient une nappe généralisée actuellement exploitée par des puits traditionnels.

4.3 - (c₃)

A l'extrême Est sur le plateau du Dahr de Nema les sables et grès argileux du Continental Intercalaire contiennent une nappe libre de bonne qualité dont le niveau d'équilibre est généralement à plus de 50 m sous le sol.

4.4 - (d₁)

Les séries précambriennes fortement plissées du Nord sont injectées de granites et de roches basiques. Seules les franges d'altération sont exploitables, et toujours en liaison avec une zone d'écoulement ou un réseau hydrographique au moins temporaire. La très faible pluviométrie (< 100 mm) exclut tout renouvellement des ressources hors des zones de concentration du ruissellement.

4.5 - (d₂)

Dans le Hodh (Sud-Est) des *massifs doléritiques* semblent présenter une fracturation préférentielle qui permet l'implantation d'ouvrages de 20 à 30 m de profondeur fournissant des débits moyens voisins de 1 m³/h. Une reconnaissance plus profonde de ces zones fracturées pourrait être faite.

4.6 - (d₄)

Les formations infracambriennes et cambro-ordoviciennes plissées de la "chaîne" des Mauritanides présentent des faciès très variés : schistes, grès, quartzites, roches carbonatées, roches volcano-sédimentaires, etc.. Les ressources liées à ces formations sont extrêmement réduites du fait d'une plu-

viométrie faible à très faible (500 mm au Sud, moins de 50 mm au Nord). Elles sont à rechercher dans les zones de fracturation et de concentration des écoulements.

La ville et la mine d'Akjoujt ont pendant un temps été alimentées à partir d'une nappe en réseau contenu dans des roches vertes (volcano-sédimentaires).

Les grès infracambriens de l'Affolle offrent des ressources très limitées, la fissuration étant très peu développée. Les seules ressources sont liées aux franges altérées quand elles sont suralimentées par un écoulement superficiel.

Les grès, quartzites, du Cambro-ordovicien du Hank, de l'Adrar, du Tagant et de l'Assaba, ne sont aquifères qu'à la faveur d'une fracturation. Les sources de la falaise du Tagant et de l'Assaba sont liées à des réseaux de fractures. Les dolomies cambro-ordoviciennes, karstifiées au pied de la falaise du Tagant et de l'Assaba contiennent par contre une nappe généralisée extrêmement puissante.

Dans le Hodh, les schistes gréseux ne recèlent que des ressources limitées, localisées dans les zones fracturées.

Les formations siluro-dévonienne gréseuses et calcaires pourraient contenir selon certains auteurs des nappes généralisées.

MALI

1 - CARACTERES GENERAUX

Le Mali fait partie presque tout entier du grand bassin de Taoudeni, s'appuyant au Nord sur le massif de l'Adrar des Ifoghas où l'altitude n'atteint jamais 1 000 m, et au Sud sur les pénéplaines et plateaux voltaïques et guinéens. Sur la quasi-totalité du territoire l'altitude est inférieure à 500 m.

Le Niger traverse le pays du Sud-Ouest au Nord-Est. Des phénomènes de capture, l'importance des massifs dunaires au Nord de Tombouctou, ont provoqué la création d'un important delta intérieur.

Le 1/3 nord du pays est totalement désertique. Au Sud du parallèle de Bamako la pluviométrie annuelle dépasse 1 m.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Le socle précambrien affleure au Nord-Est (Adrar des Ifoghas), à l'Ouest, et au Sud (bouclier libéro-voltaïque) du Mali, l'ensemble du pays coïncidant avec le bassin de Taoudeni.

Le socle précambrien est constitué principalement de granites et gneiss accessoirement de schistes et quartzites.

L'Infracambrien dans la Tambaoura, le bassin de Bamako Mopti Koutalia est essentiellement gréseux. Par contre dans le Gourma (boucle du Niger) et l'Azaouad les faciès sont plus diversifiés : gréseux, argileux calcaire et schisto-gréseux.

Le Cambro-ordovicien dans le Hadh est constitué pour l'essentiel de schistes gréseux, accessoirement de dolomies et grès argileux.

Le Continental Terminal sous un recouvrement quaternaire alluvial constitue le soubassement de la vallée du Niger. Il ennoie les formations primaires du Hodh et infracambriennes de l'Azaouad au Nord, il constitue le Gondo, et le détroit du Niger (entre Adrar et Gourma).

Le Crétacé-Paléogène affleure dans le détroit soudanais où il borde le socle de l'Adrar.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION (5 M d'habitants)

Les régions les plus peuplées correspondent à la vallée du Niger, et plus spécialement aux zones où le recouvrement alluvionnaire est important.

Deux autres régions ont une densité supérieure à la moyenne : les formations du socle en amont de Bamako, les falaises gréseuses de Bandiagara à l'Est de Mopti. Inversement et d'une manière générale à pluviométrie égale, toutes les zones gréseuses de l'Infracambrien ou du Précambrien, sont moins peuplées que les formations schisteuses.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les ressources aquifères n'ont été prospectées systématiquement qu'au Sud du pays, l'introduction du forage marteau fond de trou est récente mais le mode d'exploitation prioritaire demeure "le puits à main".

4.1 - (c₂)

Les formations du Continental Terminal présentent une extension considérable. Dans le delta central, la nappe est à une profondeur de moins de 10 m près du fleuve, mais se trouve au-delà de 50 m dans les régions de Tombouctou et Gao. La profondeur de la nappe et sa salinité augmentent avec l'éloignement du fleuve.

- Au Nord-Est de l'Azaouad la nappe du Continental Terminal est exploitable par des puits de 40 à 60 m de profondeur.

- Dans la plaine du Gondo l'épaisseur du Continental Terminal n'est en moyenne que de 50 m. La nappe contenue dans le Continental Terminal se poursuit en continuité dans les calcaires infracambriens sous-jacents plus ou moins karstifiés.

Dans le fossé de Nara (50 à 80 km de large) il existe au niveau du Continental Intercalaire une nappe (de faible capacité) utilisable selon les cas entre 50 et 150 m de profondeur, avec une eau de bonne qualité.

4.2 - (c₃)

Les sables, argiles et calcaires du Crétacé et Paléogène affleurent dans le détroit soudanais et reposent au Nord sur l'Adrar des Ifoghas. Les ressources aquifères sont très hétérogènes en qualité et en potentialités, l'eau étant généralement à moins de 50 m sous le sol. La nappe captive du Continental Intercalaire sous-jacente peut pallier à une éventuelle médiocrité du Crétacé Paléogène.

4.3 - (d₁)

Les formations précambriennes du Mali sont d'autant moins aquifères que la pluviométrie est plus faible. D'une manière générale les débits les plus importants sont obtenus lorsque les roches de type granitique sont fracturées en profondeur, cette fracturation se superposant aux potentialités de la zone altérée. Dans les roches schisteuses, les ressources sont liées à une fracturation de la roche saine, celle-ci pouvant être altérée en argile sur plusieurs dizaines de mètres.

4.4 - (d₂)

Dans la boucle de la Baoulé des *épanchements doléritiques* constituent des secteurs où la fracturation plus importante peut permettre l'implantation d'ouvrages à débit moyen plus important (2 m³/h pour un ouvrage de 20 à 50 m).

4.5 - (d₄)

Les formations gréseuses infracambriennes de la Tambaoura et du bassin de Bamako-Mopti-Koutiala ne sont aquifères qu'à la faveur de fractures. Les ressources potentielles ne peuvent être décelées qu'à partir d'études au sol approfondies (photogéologie et géophysique) et ne sont pratiquement exploitables que par forages.

Les formations gréseuses, schisteuses, calcaires du Gourma n'offrent que des ressources limitées. Les séquences calcaires et calcaréo-dolomitiques présentent de meilleures caractéristiques hydrauliques dans la mesure où elles ont subi une certaine évolution karstique.

SENEGAL ET GAMBIE

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit presque exclusivement d'un bassin côtier où l'altitude ne dépasse qu'exceptionnellement 200 m à l'extrémité sud-est du pays. Ce territoire est drainé par le Sénégal au Nord, la Gambie et la Casamance au Sud. Au centre du Sénégal la vallée du Ferlo n'est le siège que d'écoulements temporaires.

La pluviométrie augmente régulièrement du Nord (600 mm) au Sud (1 400 mm).

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes, extrémité du bouclier guinéen, n'affleurent qu'à l'extrême Est du Sénégal.

Sur ces formations précambriennes s'appuient les assises schisteuses et gréseuses de l'Infracambrien (prolongement de la chaîne des mauritanides).

Le bassin sédimentaire occupe tout le reste du territoire. Les formations les plus anciennes connues à l'affleurement appartiennent au Crétacé terminal (Maestrichtien) et apparaissent au col de la presqu'île de Dakar : les sondages pétroliers ont montré cependant que le cycle sédimentaire a commencé par le Jurassique.

Le Maestrichtien sableux et gréseux jusqu'au col de la presqu'île, devient argileux au-delà.

Le Paléocène calcaire surmonte le Maestrichtien. Il n'affleure qu'au col de la presqu'île du Cap Vert (anticlinal, Maestrichtien).

L'Eocène marneux, marno-calcaire, calcaire s'étend sur l'ensemble du bassin sédimentaire.

Le Continental Terminal sablo-argileux occupe une très vaste superficie en couverture des formations éocènes.

Le Quaternaire est sableux marin (sous Dakar), sableux dunaire depuis Dakar jusqu'à Saint-Louis.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Relativement peuplé (4 500 000 habitants au total soit une densité voisine de 30 habitants au km²) l'ensemble des territoires du Sénégal et de la Gambie présente une population régulièrement répartie au Sud du fleuve Gambie.

Au Nord les zones de peuplement sont limitées à une frange côtière de 50 km correspondant à l'affleurement des formations marnocalcaires, plus importantes au niveau de Dakar, et à la vallée du Sénégal en amont de Rosso. Le centre du pays est pratiquement vide d'habitants ("désert du Ferlo" - affleurement du Continental Terminal).

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les études régionales et synthétiques sont très nombreuses, et tous les types d'ouvrages ont été au moins localement réalisés pour le captage des ressources en eaux souterraines, très importantes sur la majeure partie du pays.

4.1 - (c₁)

Les alluvions du fleuve Sénégal contiennent des nappes exploitables en amont de Boghe. En aval, la remontée des eaux salées marines en saison sèche pollue les alluvions.

Sous Dakar les *sables marins quaternaires* coiffés par les épanchements basaltiques contiennent une nappe captive exploitée pour les besoins de Dakar (18 000 m³/j).

Entre Dakar et le col de la presqu'île, les sables quaternaires contiennent une nappe libre généralisée, exploitée en partie pour les besoins de Dakar (10 000 m³/j).

Entre le col de la presqu'île et Saint-Louis les sables quaternaires contiennent une nappe libre, généralisée, profonde de 5 à 20 m selon la topographie et qui n'est actuellement exploitée que par des puits traditionnels.

4.2 - (c₂)

Les sables et grès argileux du Continental Terminal, épais de 30 à 100-150 m, recouvrent les 4/5 du bassin. Ils contiennent une nappe généralisée libre, peu profonde dans la Casamance (10 à 30 m), très profonde dans le Ferho (30 à 80 m). Les eaux d'une façon générale sont de très bonne qualité.

Au col de la presqu'île dans l'anticlinal maestrichtien, *les formations maestrichtiennes et paléocènes* sont aquifères.

Le Maestrichtien sablo-gréseux et argileux recèle deux nappes, l'une phréatique (30 m), l'autre captive profonde (150 à 300 m).

Les calcaires paléocènes sont profondément karstifiés selon une auréole autour du Maestrichtien et contiennent une nappe soit libre, soit captive, extrêmement puissante.

Ces formations maestrichtiennes et paléocènes sont exploitées pour les besoins de Dakar (50 000 m³/j).

Les calcaires éocènes karstifiés contiennent une nappe exploitable au Nord de Thiès dont la profondeur est de l'ordre de 30 à 40 m. Les débits obtenus sont variables mais peuvent dépasser 100 m³/h.

La nappe des *sables et grès maestrichtiens* qui s'étend sous l'ensemble du bassin sédimentaire constitue l'aquifère le plus important du Sénégal. La profondeur des ouvrages est en moyenne de 300 m et le niveau d'équilibre de la nappe se situe à 10-20 m sous le sol.

Les eaux sont généralement de bonne qualité sauf selon un axe sensiblement nord-sud (lac de Guiers-Saloum) où les eaux sont plus minéralisées (1,5 à 2,5 g/l).

4.3 - (c₃)

Les marnocalcaires et marnes de l'Eocène dans le quart nord-ouest du Sénégal (Thiès, Linguère, lac de Guiers) sont dépourvus de ressources généralisées.

Les nappes sous-jacentes du Paléocène (calcaire) et du Maestrichtien (sablo-argileux) peuvent pallier la médiocrité des formations éocènes avec une restriction sur la qualité des eaux sur l'axe lac de Guiers-Saloum.

HAUTE-VOLTA

1 - CARACTERES GENERAUX

Ce petit pays (275 000 km²) est formé dans sa totalité par une pénéplaine d'altitude comprise entre 200 et 300 m drainée au centre et à l'Ouest par la Volta, et à l'Est par les affluents du Niger. Les reliefs les plus importants (500 à 700 m) correspondent à des falaises gréseuses au Sud-Ouest du pays.

La pluviométrie annuelle augmente régulièrement du Nord (500 mm) au Sud (1 000 mm) marquant la zone de transition entre le climat sahélien et le climat tropical.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes occupent la quasi-totalité du territoire et comprennent des séries à dominantes granites, gneiss, (Dahoméen) ou schistes et quartzites (Birrimien).

Les grès infracambriens apparaissent au Sud et à l'Ouest de Bobo Dioulasso (extrême sud du bassin de Taoudéni) tandis qu'au Nord-Ouest la Haute-Volta englobe une partie du bassin du Gondo où affleure le Continental Terminal.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Les régions les plus peuplées correspondent aux vallées des Volta Noire et Blanche (au sens large) où la densité est localement supérieure à 50 habitants au km². Il s'agit de zones où dominent les faciès granitisés.

Les régions les moins peuplées ou quasi-désertiques correspondent souvent aux affleurements de roches vertes métamorphisées.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINNES

4.1 - (c₂)

Le Continental Terminal de la plaine du Gondo est formé de grès, argiles et sables très hétérogènes, reposant sur un substratum dolomitique localement altéré et karstifié. La nappe située entre 20 et 60 m de profondeur a une épaisseur très variable (5 à 50 m).

4.2 - (d₁)

Les formations granitisées couvrent une grande partie du territoire. Les ressources limitées sont exploitées dans la frange altérée et fissurée.

4.3 - (d₄)

Les formations birrimiennes schisteuses sont très souvent altérées sur une épaisseur comprise entre 10 et 30 m mais pouvant atteindre 100 m. Les produits d'altération essentiellement argileux sont imperméables et ce n'est que dans les schistes sains, fissurés ou fracturés que se localisent des niveaux aquifères.

A l'extrémité sud-est *les marnes, pélites et argiles* de la région de Diapaga, ont des potentialités variables mais généralement très faibles sauf au niveau des fractures. Les zones argileuses semblent totalement inexploitable.

Dans le Gourma (Nord) *les assises du groupe d'Ydouban* comprennent localement des niveaux de calcaires et dolomies localement karstifiés et aquifères qui pourraient être prospectés plus systématiquement.

Les grès infracambriens à l'Ouest de Bobo Dioulasso ne sont exploités qu'au niveau des formations altérées superficielles, mais la reconnaissance de leur fracturation éventuelle en profondeur et donc de leurs potentialités réelles reste à faire et ce d'autant qu'ils donnent naissance à des sources très importantes.

La plupart des ouvrages en Haute-Volta sont des puits à main, dans la mesure où un gros effort avait été fait pour la prise en charge par les populations rurales de la mise en place et de l'entretien du réseau de points d'eau. Une évolution se dessine actuellement vers une systématisation du captage par forage en petit diamètre.

GUINEE - BISSAU

1 - CARACTERES GENERAUX

La Guinée-Bissau constitue l'extrémité sud du bassin sénégalo-maritain, et l'altitude est toujours inférieure à 200 m. La frange côtière où débouchent de nombreuses rivières est très marécageuse. La pluviométrie est partout supérieure à 1 m, atteignant 2 m sur les côtes.

- A l'Est du pays affleurent les formations infracambriennes plissées et métamorphisées dont les faciès les plus fréquents sont des schistes, des grès et quartzites, plus rarement des roches volcano-sédimentaires.

- Au Sud-Ouest à l'extrémité du bassin primaire de Guinée affleurent les formations cambro-ordoviciennes gréseuses et silico-dévonienne schisteuses, gréseuses et calcaires.

- Le Nord est occupé par l'extrémité sud-ouest du bassin sédimentaire sénégalo-mauritain. On recoupe d'Est en Ouest, le Maestrichtien sableux, l'Eocène et le Paléocène marnocalcaire, le Continental Terminal sablo-argileux.

La population relativement nombreuse (0,6 M d'habitants, densité 20 hab/km²) est à peu près régulièrement répartie, les densités les plus fortes se rencontrant au Nord de l'estuaire (zone du bassin sédimentaire côtier).

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les ressources en eaux souterraines de la région sont très mal connues, l'utilisation des eaux superficielles restant pour le moment prioritaire. Les données fournies le sont donc par analogie avec ce que l'on connaît ailleurs.

Dans le bassin sédimentaire du Nord *les formations du Continental Terminal, de l'Eocène et du Paléocène* contiennent probablement des nappes libres exploitables à des profondeurs inférieures à 100 m et avec des débits partout suffisants pour alimenter une communauté villageoise.

Le Maestrichtien affleure selon un axe SW-NE et doit de même contenir à faible profondeur une nappe systématiquement exploitable.

Le Sud-Est du pays est formé de calcaires, grès, schistes gréseux, appartenant au Primaire (Cambrien au Dévonien) dont les ressources n'ont pas été prospectées.

L'Est du pays (Infracambrien plissé et métamorphisé) par analogie au Sénégal n'offre probablement que des ressources discontinues liées à la fracturation ou fissuration.

GUINEE

1 - CARACTERES GENERAUX

Derrière un bassin côtier de faible importance la Guinée (246 000 km²) est marquée par une zone montagneuse (Fouta Djallon : alt. max. 1 200 m) qui coupe le pays selon un axe nord-sud. Plus à l'Est après une dépression correspondant à la vallée du Niger, le massif guinéen (alt. max. 1 600 m) constitue le château d'eau de toutes les rivières du Sud-Ouest africain.

La pluviométrie est partout supérieure à 1 m et atteint 2 m en zone côtière et sur la frontière sud du pays.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

On peut distinguer 3 ensembles géologiques :

- A l'Est dominant les formations précambriennes soit sous forme de granites et gneiss (Dahoméen), soit sous forme de schistes, quartzites, roches métamorphiques diverses (Birrimien).

- Au Nord le Fouta Djallon constitué par l'Infracambrien plissé et métamorphisé est formé de schistes, pélites et roches volcano-sédimentaires.

- Au centre du pays une série primaire plissée forme un synclinal où dominant les grès, argiles, calcaires dolomitiques avec des âges variant du Cambrien au Dévonien. L'ensemble est injecté de roches doléritiques souvent très récentes.

Le bassin sédimentaire est réduit à une mince frange côtière de 20 à 50 km de large. Seules y affleurent des formations quaternaires.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

La population de la Guinée est à peu près également répartie sur l'ensemble du territoire (4 M d'habitants, densité 20 hab/km²). Les régions les moins peuplées correspondent aux formations de roches métamorphiques di-

verses de l'Est du pays et au secteur des grès dévoniens. Les densités sont maximales dans les régions où dominent les roches basaltiques.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les ressources en eaux souterraines ont surtout été prospectées pour l'alimentation en eau des centres urbains, en zone rurale l'alimentation en eau se faisant en règle générale à partir des eaux superficielles. Des prospections par sondages ont eu lieu dans l'Est, mais les études synthétiques sur les potentialités des diverses formations restent à faire.

4.1 - (c₁)

Dans le bassin côtier, *les formations quaternaires et pliocènes* constituées de limons, sables argileux et en profondeur de marnes calcaires, contiennent des nappes compartimentées, généralement superficielles, de qualité très variable.

4.2 - (c₂)

Le Continental Terminal du bassin côtier n'affleure pas mais contient une nappe atteinte entre 50 et 150 m de profondeur, de capacité et de qualité très variables. L'eau est généralement à moins de 50 m sous le sol.

4.3 - (d₁)

Les formations à dominante granites et gneiss occupent tout l'Est et le Sud du pays. Les ressources les plus importantes se trouvent dans les zones fracturées qui peuvent être profondes (> 50 m). L'importance de la pluviométrie et la présence de drains préférentiels dans les zones d'épanchement doléritiques fournissent localement des débits supérieurs à 10 m³/h.

4.4 - (d₂)

Au niveau des *laves basaltiques* très répandues dans le Fouta-Djalou l'importance des sources laisse supposer une fracturation assez généralisée

et l'existence de ressources aquifères importantes susceptibles d'être captées par des ouvrages dont la profondeur varierait entre 50 et 100 m et localement au-delà.

4.5 - (d₄)

Dans le haut bassin du Niger *les séries schisteuses du Birrimien* sont exploitées par des ouvrages ayant entre 20 et 50 m de profondeur, la fissuration pouvant être importante jusqu'à cette limite.

Le synclinal des *formations primaires*, situé à l'Ouest de la Guinée en bordure d'océan, contient localement des séries calcaires et des calcaires dolomitiques qui pourraient être karstiques et susceptibles d'être exploités par des forages à débit supérieur à 10 m³/h.

Ailleurs *les niveaux gréseux* ne sont exploitables qu'exceptionnellement en dehors de la zone d'altération superficielle. Une éventuelle fracturation profonde n'a pas été reconnue.

Dans toutes les formations le mode d'exploitation préférentiel devrait être le forage (30 à 150 m de profondeur suivant les cas et en moyenne 40 à 80 m).

COTE-D'IVOIRE

1 - CARACTERES GENERAUX

La République de Côte-d'Ivoire (322 000 km²) est constituée par une péninsule d'altitude décroissante du Nord (600-700 m) au Sud (400 m) et qui s'ouvre sur un bassin côtier dont la largeur moyenne est de 50 km. A l'Ouest (monts Toura et Dan) et au Nord-Ouest, des secteurs plus montagneux correspondent à l'extrémité du massif guinéen.

Toutes les rivières (Comoe-Bandama-Sassandra) ont un trajet sensiblement nord-sud et drainent l'ensemble du territoire en direction du golfe de Guinée, la pluviométrie est partout comprise entre 1200 et 1500 mm y compris en zone côtière.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes couvrent la presque totalité du territoire. Un bassin côtier de 50 km de profondeur, au maximum, borde l'océan.

Les formations précambriennes comportent d'une part des granites et gneiss, d'autre part des schistes et schisto-grès. Les faciès granitiques affleurent très largement dans la moitié ouest du pays, les faciès schisteux à l'Est.

Le bassin sédimentaire côtier est constitué par une série : Crétacé, Paléocène, Eocène, Continental Terminal, et Quaternaire (cordons littoraux).

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Assez faiblement peuplé (4,5 M d'habitants - densité moyenne 15h/km²) la Côte-d'Ivoire compte un certain nombre de zones quasi désertes, tels le bassin sédimentaire à l'Ouest de la Sassandra, et le bassin supérieur de la Comoe correspondant à une zone granitique.

Les concentrations de population les plus importantes se rencontrent à la limite sud de la forêt équatoriale selon un axe ouest-est entre Bouake et Man dans un secteur où affleurent essentiellement les faciès schisteux du Birrimien.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Les ressources aquifères souterraines ne font l'objet d'une reconnaissance systématique que depuis quelques années, les autorités responsables cherchant à substituer en zone rurale l'utilisation de ces ressources, au recours traditionnel aux eaux superficielles. L'importance des régions où n'existent que des aquifères discontinus, impose la réalisation de nombreux points d'eau dans des formations à caractéristiques hétérogènes mais très généralement à faible capacité. L'emploi de forages équipés de pompes à main, ou parfois mécaniques se généralise et est plus répandu que partout ailleurs en zone francophone.

4.1 - (c₁)

Dans le bassin sédimentaire côtier *les formations quaternaires* (cordons littoraux) et alluviales sont exploitées le plus souvent par des ouvrages traditionnels. Les ressources situées à faible profondeur (< 20 m) sont suffisantes pour l'alimentation de petites communautés villageoises. A Abidjan certaines industries s'alimentent directement par pompage dans ces formations.

En zone précambrienne l'importance des alluvions est marginale et ne permet pas la création de points d'eau.

4.2 - (c₂)

Les formations constituant le bassin sédimentaire côtier sont pour le moment quasi exclusivement exploitées au niveau du *Continental Terminal* qui contient une nappe libre dont le niveau est toujours à une profondeur inférieure à 50 m. Cette nappe fortement réalimentée par les pluies est de ce fait assez bien protégée des contaminations par eau de mer.

Les nappes profondes situées dans les niveaux sous-jacents ne sont connues qu'à proximité d'Abidjan. Il s'agit de *séries marno-calcaires (Paléocène) et sableuses (Maestrichtien)* contenant des nappes en charge.

4.3 - (d₁)

Les ressources des *formations granitiques* ou granitisées sont extrêmement variables d'un secteur à l'autre. Bonnes à l'Ouest où certains ouvrages atteignent des débits supérieurs à 2 m³/h, elles semblent beaucoup plus faibles dans le bassin de Korogho au Nord.

Les meilleurs débits sont obtenus lorsqu'il y a concomitance d'une puissante altération et d'une forte fracturation. L'implantation des ouvrages de captage est basée systématiquement sur une étude de la fracturation par photogéologie éventuellement complétée par la géophysique électrique.

4.4 - (d₄)

Les formations schisteuses qui apparaissent jusqu'à ces dernières années comme stériles se révèlent avec les forages (marteau fond de trou) susceptibles de satisfaire les besoins des villages et même ceux de petits centres urbains.

La zone d'altération qui peut être profonde (jusqu'à 100 m) est argileuse et imperméable (ce qui explique la réputation de stérilité de ces formations). Sous la zone d'altération, les schistes sains, surtout s'ils sont fracturés, présentent une perméabilité de fissures qui peut être localement élevée.

La profondeur des ouvrages de captage modernes est comprise entre 30 et 130 m. Un pourcentage de réussite des ouvrages de 80 % est tout à fait normal.

GHANA

1 - CARACTERES GENERAUX

Le Ghana (240 000 km²) est essentiellement constitué par une péninsule dont l'altitude s'abaisse du Nord et de l'Ouest (500 à 700 m) au Sud en s'ouvrant sur la côte. La partie centrale du pays est occupée par le bassin des Voltas, la construction du barrage d'Akosombo en aval ayant transformé la presque totalité de cette dépression en un immense lac artificiel.

La pluviométrie est comprise entre 1200 et 1500 mm, et atteint 2 m dans la zone côtière ouest. La végétation varie de la savane au Nord à la forêt équatoriale au Sud.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

On distingue :

A l'Est et à l'Ouest le socle précambrien constitué de granites, gneiss, de schistes et schistes gréseux.

Au Centre le bassin des Voltas constitué de formations primaires argileuses et gréseuses.

Au Sud-Est le bassin côtier sédimentaire qui se prolonge au Togo et Benin et comporte une série, Crétacé, Paléocène, Eocène, Continental Terminal, Quaternaire.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Relativement peuplé (8 500 000 hab - densité 35 hab/km²), le Ghana ne compte qu'une zone faiblement peuplée : le bassin de la Volta correspondant aux formations primaires. Les régions les plus peuplées correspondent aux zones précambriennes, qu'elles soient granitiques ou schisteuses et quartzitiques. Le bassin sédimentaire côtier ouest est inversement peu peuplé.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

La prospection systématique des aquifères discontinus a été entreprise depuis une trentaine d'années et le plus souvent au moyen de forages. A l'heure actuelle on a donc une bonne connaissance des potentialités des différentes formations, et les références obtenues au Ghana ont souvent servi de guide aux opérations récentes envisagées dans les autres pays d'Afrique de l'Ouest. Il existait en 1970 environ 2000 forages en activité.

4.1 - (c₁ + c₂)

Le bassin côtier contient plusieurs nappes :

- la nappe des *formations littorales*, nappe subaffleurante pouvant être contaminée par eau de mer,
- la nappe du *Continental Terminal* qui offre des eaux de bonne qualité et est située à moins de 40 m sous le sol,
- la nappe profonde qui nécessite des ouvrages profonds (> 200 m).

4.2 - (d₁)

Dans les *faciès granitiques* la profondeur moyenne des ouvrages est comprise entre 10 et 80 m et environ la moitié des ouvrages a un débit supérieur à 1 m³/h.

4.3 - (d₄)

Les potentialités des différentes formations peuvent être schématisées de la façon suivante :

- schistes : profondeur moyenne 40 à 50 m 60 % des débits > 1 m³/h
- quartzites : profondeur moyenne 60 à 70 m 50 % des débits > 10 m³/h
90 % des débits > 1 m³/h
- argiles du primaire. Elles sont considérées comme dépourvues de toute ressource souterraine. Dans cette zone les aménagements de surface (barrages collinaires) constituent la solution la plus adaptée.

TOGO

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit d'un petit pays (55 000 km²) formé par une pénéplaine coupée au centre selon un axe SW-NE par une zone de reliefs (Mt Atakora) où l'altitude est comprise entre 500 et 700 m.

Le pays est drainé au Sud vers le Golfe de Guinée, au Nord vers le bassin de la Volta.

Les formations précambriennes occupent la moitié du territoire sous forme de granites et gneiss.

Les monts de l'Atakora qui forment l'Ouest du pays sont constitués principalement de grès et quartzites.

A la frontière nord-ouest affleure le Primaire sédimentaire : séries argilo-schisteuses d'Oti.

Le bassin côtier comprend, sous une couverture de Quaternaire et de Continental Terminal, des formations calcaires et sablo-argileuses correspondant à l'Eocène et au Maestrichtien.

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

2.1 - (c₁)

Les formations lagunaires et côtières qui ont des épaisseurs comprises entre 10 et 50 m peuvent contenir de petites nappes superficielles, de bonne qualité, mais localement contaminées par l'eau de mer.

2.2 - (c₂)

La nappe du *Continental Terminal* généralisée libre est exploitée de façon intensive à des profondeurs variant entre 20 et 50 m pour les besoins de Lomé.

2.3 - (c₃)

Les nappes profondes du bassin côtier, nappe des *formations marno-calcaires de l'Eocène* de caractéristiques médiocres, nappe des *sables maestrichtiens* de bonnes caractéristiques n'ont été sollicitées que pour l'alimentation des centres urbains. Les ouvrages d'exploitation y ont très généralement une profondeur supérieure à 200 m.

2.4 - (d₁ + d₄)

Dans les différentes *formations précambriennes ou cambriennes* on peut penser que les capacités hydrauliques devraient être à peu près équivalentes à ce qu'elles sont au Ghana. Actuellement les données disponibles montrent que :

- dans les zones à granites, gneiss et migmatites (région de Dapango et frontière est) les débits sont compris entre 0,3 et 10 m³/h ; 70 % des ouvrages fournissant plus de 0,5 m³/h,
- les argiles et schistes d'Oti sont pratiquement dépourvus de ressources,
- les grès et quartzites de la chaîne de l'Atakora peuvent localement à la faveur de fractures fournir des débits de plusieurs m³/h.

Comme partout en Afrique de l'Ouest l'utilisation systématique depuis quelques années, de technique de forage rapide (air comprimé) devrait permettre de multiplier les points d'eau avec des ouvrages en petit diamètre ayant entre 30 et 100 m de profondeur.

BENIN

1 - CARACTERES GENERAUX

Les monts Atakora où l'altitude est comprise entre 700 et 800 m au Nord-Ouest, constituent le seul relief d'une pénéplaine s'ouvrant au Sud sur le golfe de Guinée. La ligne de partage des eaux entre le bassin du Niger et le bassin côtier se situe au centre du territoire selon un axe ouest-est.

Y compris en bordure de mer la pluviométrie est partout comprise entre 1200 et 1500 mm.

2 - SCHEMA GEOLOGIQUE

Les formations précambriennes intéressent plus de 2/3 du territoire, les faciès granitisés sont les plus fréquents.

Les séries primaires occupent le Nord-Ouest du territoire sous forme de grès et d'argilites.

L'extrémité nord de la chaîne de l'Atakora au Nord-Ouest est constituée de grès et quartzite du Buem.

Le bassin sédimentaire côtier qui a une largeur comprise entre 20 et 100 km voit l'affleurement en auréoles successives du Nord au Sud : le Crétacé sableux, l'Eocène marno-calcaire et sableux, le Continental Terminal, les séries fluvio-lacustres du Quaternaire.

L'extrémité sud du bassin sédimentaire occupe la partie nord du Bénin.

3 - REPARTITION DE LA POPULATION

Assez peuplé (2,8 M d'habitants, densité 25 hab/km²) le Bénin présente une population concentrée dans sa majeure partie dans le bassin côtier et dans la région sud-ouest qui n'est pas recouverte par la forêt tropicale.

Les zones vides d'habitants correspondent aux séries argileuses du Primaire, au Nord-Ouest du pays.

4 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Fortement urbanisé le Bénin a développé l'utilisation des eaux souterraines surtout pour l'alimentation des centres. Les études systématiques concernent donc essentiellement le bassin côtier, et secondairement les zones birrimiennes.

4.1 - (c₁)

Comme au Togo et au Nigéria *les formations alluviales et lagunaires* contiennent un ou plusieurs niveaux aquifères, subaffleurants, de bonne qualité mais vulnérables vis-à-vis d'une pollution d'origine marine.

4.2 - (c₂)

Dans le bassin côtier la nappe du *Continental Terminal* est toujours à moins de 50 m de profondeur. L'eau est de bonne qualité, et les débits potentiels importants.

Plus au Nord affleure *le Crétacé sablo-argileux* qui contient une nappe libre utilisable à moins de 40 m. Cette nappe devient captive au Sud sous le recouvrement paléogène et continental terminal. Les forages qui les atteignent ont entre 100 et 500 m de profondeur.

A l'extrémité nord-est du pays, les formations affleurantes du Crétacé, constituées de *sables et calcaires*, contiennent une nappe libre située à des profondeurs comprises entre 20 et 60 m.

4.3 - (c₃)

Dans le bassin sédimentaire côtier *le Paléogène* formé d'un ensemble argileux avec quelques passées calcaires et marneuses a un potentiel hydraulique très faible. Le Crétacé sous-jacent pallie la médiocrité de cette formation.

4.4 - (d₁)

Seules *les altérations des formations granitiques* ont été jusqu'à présent exploitées par puits. La recherche des zones fracturées où cette altération est en général plus développée permettrait d'améliorer la productivité et la pérennité des ouvrages de captage.

4.5 - (d₄)

Les formations gréseuses et quartzitiques du Buem lorsqu'elles sont fracturées sont susceptibles de fournir localement des débits de plusieurs m³/h.

Les formations argileuses et schisteuses du Nord-Ouest du pays sont pratiquement dépourvues de ressources en eau souterraine.

SIERRA LEONE

1 - CARACTERES GENERAUX

Il s'agit d'un pays de faibles dimensions (71 000 km²) s'ouvrant sur l'Atlantique par un bassin côtier marécageux. L'altitude ne dépasse mille mètres qu'à l'extrémité orientale (Loma Mountain).

La pluviométrie est partout supérieure à 2 m et le pays est drainé par une série de cours d'eau descendant du massif guinéen (Moa - Rokel...).

Du point de vue géologique l'essentiel du territoire est formé par une pénéplaine précambrienne à dominante granitique et gneissique. Les formations schisteuses birrimiennes recoupent le pays selon un axe nord-sud.

Le bassin sédimentaire côtier s'étend du Nord au Sud sur une largeur maximale de 40 km. Seules les formations éocènes ont été reconnues sous le recouvrement superficiel quaternaire, mais les séries du Crétacé existent peut-être en profondeur.

Relativement peuplée (population 2,8 M d'habitants - densité moyenne supérieure à 40 hab/km²), la Sierra Leone présente des secteurs inhabités dans la province occidentale (formations sous-jacentes à dominante schisteuse) et dans une moindre mesure à la frontière du Libéria. Les plus fortes densités correspondent aux zones côtières proches de la capitale, et aux vallées des principaux fleuves.

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Compte tenu de l'abondance des écoulements superficiels les ressources en eaux souterraines sont exploitées le plus souvent à partir d'initiatives privées, dont les résultats sont peu ou mal connus.

2.1 - (c₁ + c₂ + c₃)

Les caractéristiques hydrauliques des diverses séries sédimentaires du bassin côtier sont très mal connues, l'alimentation en eau des principales villes étant assurée à partir de barrages. Le *Continental Terminal* semble peu épais et l'*Eocène* argileux n'offre *a priori* que des ressources limitées, cependant suffisantes pour l'alimentation en eau des villages.

Les formations quaternaires offrent des ressources limitées soumises à des risques de pollution pour l'eau de mer.

2.2 - (d₁ + d₄)

De nombreux points et forages ont été exécutés dans *les formations du socle précambrien* mais aucun document synthétique n'en a fait l'analyse. Les potentialités réelles sont probablement identiques à celles que l'on connaît dans les pays voisins, avec un élément favorable supplémentaire qui est l'importance de la pluviométrie.

LIBERIA

1 - CARACTERES GENERAUX

Le Libéria (117 000 km²) est formé par une pénéplaine dont l'altitude s'élève lentement de moins de 500 m au Sud-Ouest à près de 1000 m à la frontière guinéenne (Mts Nimba). Cette pénéplaine s'ouvre sur un bassin côtier étroit (20-30 km), l'ensemble du pays étant recouvert par une forêt tropicale très dégradée.

Le pays est totalement drainé par un ensemble de cours d'eau descendant du massif guinéen et dont les plus importants sont les rivières St-John, St-Paul et Douabe.

Du point de vue géologique la quasi-totalité du pays est constituée par une pénéplaine de "Précambrien indifférencié". Les études géologiques locales sont trop sommaires pour qu'on puisse y distinguer les divers faciès à l'échelle du 1/5 000 000. En zone côtière, il existe localement un petit bassin sédimentaire de très faible importance où seules les séries quaternaires superficielles ont été reconnues.

Le Libéria est assez faiblement peuplé (1,3 M d'habitants - densité moyenne 10 hab/km²). Les 2/3 de la population sont concentrés autour de la capitale Monrovia et dans les vallées adjacentes.

2 - RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

La pluviométrie et donc les eaux superficielles étant abondantes et régulières, les eaux souterraines ne sont jusqu'ici utilisées que de façon marginale. Par ailleurs, l'absence de toute étude synthétique tant géologique qu'hydrogéologique rend encore plus difficile qu'ailleurs une analyse des potentialités des diverses formations.

Au niveau des bassins sédimentaires, les nappes locales ont été utilisées pour l'alimentation en eau de Monrovia, mais les données disponibles n'indiquent que des débits unitaires faibles au niveau des diverses formations captées, celles-ci étant toujours superficielles.

Dans l'arrière-pays, domaine précambrien, les ouvrages anciens semblent avoir une profondeur moyenne de 10 m et n'intéresser donc que les formations d'altération (arènes), alors que les ouvrages plus récents atteindraient 50 à 80 m, ce qui implique une recherche de la fracturation en profondeur. Aucune donnée statistique n'est disponible sur les résultats de ces ouvrages, mais on peut penser qu'ils sont identiques à ceux des pays voisins.

GUIDE BIBLIOGRAPHIQUE

AVERTISSEMENT

En aucun cas les références bibliographiques qui sont fournies ici ne doivent être considérées comme un ensemble exhaustif, et encore moins synthétique de toutes les données disponibles sur la recherche et l'exploitation des eaux souterraines dans la zone de l'Afrique prise en considération. En effet il n'était pas possible dans le temps imparti, et sans enquête sur le terrain, d'analyser la totalité des publications d'ailleurs assez dispersées. On s'est donc borné aux documents disponibles dans les 3 bibliothèques techniques de l'UNESCO, du CNRS et du BRGM, ainsi qu'à divers ouvrages scientifiques et aux rapports de missions qui ont pu nous être communiqués, en particulier par les services de l'UNESCO.

D'une manière générale la documentation que nous avons pu analyser nous a paru assez complète et récente sur l'Afrique sahélienne, beaucoup plus fragmentaire ailleurs. Cette hétérogénéité reflète souvent l'état d'avancement des études synthétiques pour un pays donné, ces études étant beaucoup plus rares en zone équatoriale.

On trouvera ici une sélection représentant environ le quart des ouvrages consultés. Nous avons retenu en particulier les ouvrages récents et facilement accessibles permettant d'avoir une vue synthétique des ressources en eaux souterraines, à l'échelon régional, ou même national. Corrélativement le caractère hétérogène de cette documentation marque les limites de l'étude entreprise.

I - OUVRAGES GENERAUX

- Area Hand Book - MALAWI - 1969
Area Hand Book - KENYA - 1970
Area Hand Book - TANZANIE - 1971
Atlas du KENYA - 1971
Atlas national de MADAGASCAR - 1969
Atlas du MALAWI - 1971
Atlas de l'UGANDA - 1968
Atlas de ZAMBIE - 1969
Atlas climatologique de l'Afrique - Editions CCE BRUXELLES - 1961
Atlas JEUNE AFRIQUE - Edition 1971
Encyclopedia Universalis 20 vol. - Club du Livre - 1973 - PARIS
Encyclopédie LAROUSSE - 20 vol. - Ed. LAROUSSE - Paris - 1976
Encyclopedia Britannica - LONDON 1971

II - GENERALITES AFRIQUE

- Attempts to improve mapping of aquifers in tropical areas with crystalline bed rock.
Bull.liaison Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) n° 17- 1974
- BISCALDI (R)** - Cartes hydrogéologiques des terrains éruptifs et métamorphiques de l'Afrique occidentale. Rapp. BRGM DAK 67 A 14
- Cartes de planification des ressources en eau souterraine des états de l'Afrique soudano-sahélienne. Rapport B.R.G.M. n° 76 AGE 009, Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) 1976.
- CURRY LINDHAL (K)** - La conservation de la nature et les ressources de l'eau. Les aspects des hauts plateaux de l'Afrique de l'Est. Bull poste Sci, hors siège UNESCO Afri. Kenya 1973 vol. 8, n° 4 p. 36-39.
- Decennie hydrologique Internationale. Résumés des résultats de recherches obtenues par la France sur bassin représentatif. Cah. O.R.S.T.O.M. Fr. vol. 11, n° 2, p. 65-174 - 1974
- DIJON (R)** - Prospection of groundwater in Africa. "The role of hydrology and hydrometeorology in the economic development of Africa". W.M.O. 1972, vol. 2, p. 149-155.

- ENGALENC (A) - Rôle de la fracturation dans la recherche des eaux souterraines dans les **granites** de l'Afrique Occidentale. Bull. liaison Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) n° 20, p. 2-5 - 1975
- Etude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif ou métamorphique en Afrique occidentale. Bull. liaison Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), n° 1, p. 8-12.
- Etude comparative des avantages respectifs des puits et forages dans les régions à substratum cristallin d'Afrique de l'Ouest. Bull. liaison Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) n° 8, p. 2-11- 1972
- Etudes préliminaires de la nappe d'eau souterraine et de son taux de renouvellement en Afrique occidentale. Bull. poste Sci, hors stage UNESCO Afr., T 6, n° 4, p. 35-36 - 1972
- Groundwater in Africa. United Nations Department of economic and social affairs. New York 1971 - 120 p.
- Groundwater storage and artificial recharge. United nations, Department of Economic and Social Affairs, Natural Resources. (Water series n° 2, sales E 74/11 A II - 1974
- GUIRAUD (R) - Eléments pour une orientation nouvelle de la recherche des eaux souterraines dans les régions à substratum éruptif ou métamorphique d'Afrique occidentale. Bull. liaison Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) n° 21, p. 7-16.
- Interprétation of natural variations in the level of water tables. Bull. liaison Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) n° 1 - 1970.
- JOVANOVIC - Water resources inventory, in "role of hydrology and hydrometeorology in Economic development of Africa.WMO. C.R. conf. Addis Abbeba - 1971- p. 112-120.
- KOVACS (G) -Analysis for computation of data on groundwater movment and inventory , in the "role of hydrogeology and hydrometeorology in the economic development of Africa. WMO, vol. 1, p. 125-134.
- Management of International water resources. International and legal aspects. United Nations. Département of Economic and social affairs. Water series n° 1, sales n° E.75, II A.2.
- Study of permanent movment towards a well sunk-down to the impermeable substratumJager theory. Bull. Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) n° 11 - 1972.
- Techniques rurales en Afrique. Hydraulique pastorale. Minist.Coop.Paris 1973; (BCEOM), 1 vol. 311 p.

Zone Sahélienne - Bibliographie sélectionnée pour l'étude de ses problèmes. Rome F.A.O.-United Nations bibliog. U.N. p. 1-73 - 1973

BENIN

Groundwater Use development. United Nations. F.A.O. Final report proj. AGL/SF/DAH 8

Carte géologique du Dahomey au 1/1000 000 d'après P. Aicard, R.Pougnat et M.Slansky - BRGM 1960

Etudes hydrogéologiques pour l'alimentation en eau de divers centres urbains du Dahomey - Rapport R 130 BURGEAP 1950

FABOUMY (L) - (1951) -Aperçu d'hydrogéologie du Dahomey. Service de l'hydraulique, Cotonou.

LANGSDORF (W) Observations sur les possibilités aquifères des régions du centre du NE et du NW du Dahomey. Trad.BRGM (de l'allemand GAS U Wasserfach DTSH 1970 111, N° 11, p. 618-622).BRGM n° 5403, p. 1-15.

LELONG (F) (1963)- Nouvelles données sur les "nappes d'arène" à la suite d'une reconnaissance hydrogéologique du centre Nord du Dahomey (Parakou Nikki) (7/1 au 9/4/1963) Comité Interafricain d'études hydrauliques - Ougadougou -

Pilot agricultural development in the oueme valley Sedagri ORSTOM Paris 1972. UNDP Projet

Pilot development of groundwater. Report on project results conclusions and recommandations UNDP/SF report DAH 3, 43 p. 1971

SLANSKY (M) (1962) - Contribution à l'étude du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo -Mem. BRGM n° 11

BOTSWANA

FURON (R) / LOMBARD (J) (1964)-Carte géologique de l'Afrique au 1/5000.000 en neuf feuilles, publ. UNESCO ASGA

JENNINGS (C.M.H.) -Note on hydrological research in Botswana with special emphasis on research in the hydrological field. S. Afr.Sci. 1971/1 vol. 67, n° 1, p. 12-21.

MAZOR (E)/ VERHAGEN (M) - Kalahari groundwaters. Their hydrogen, carbon and oxygen isotopes. In "isotopic techn. groundwater". Symposium, Vienna I.A.E.A. vol. 1, p. 203-225.

WRIGHT (E.P.) - Evaluations of groundwater resources in Botswana, Unpub.
Rept. Hydrogeol. Department Inst. geol. sci. LONDON 1974

BURUNDI

FURON (R) / LOMBARD (J) - (1964)- Carte géologique de l'Afrique au
1/5000.000 en neuf feuilles. Publ. UNESCO ASGA

Document de synthèse sur les études hydrologiques et hydrogéologiques
du Ruanda. Ministère des ressources nat. Mines et
Carrières. Kigali 28.09. (1976)

SNEL (M.J.) - Contribution à l'étude hydrogéologique du Congo Belge
Bull. serv.geol. Belgique ,1957, N° 7, p. 2

CAMEROUN

BISCALDI (R) (1970) - Hydrogéologie de la nappe phréatique du Logone-
Chari- Tchad. Rapport de fin de mission 1967-1969.
Rapport BRGM 70 YAO 003. Arch. Dir. Mines et geol. Yaoundé

CHIARELLI (A) - Etude des nappes aquifères profondes. Contribution de
l'hydrogéologie à la connaissance d'un bassin sédimen-
taire et à l'exploration pétrolière. Thèse doct.ès
Sciences nat. Bordeaux.247 p. 1973

DASSIBAT (C) (1967) - Etude hydrogéologique des Monts Mandaras. Rapport
de fin de mission. Rapport BRGM YAO 67 A6 -Arch. Dir.
Mines et géol. Yaoundé

DJAPA NGASSAM (J) -Hydrogéologie de la nappe phréatique du Logone-
Chari-Tchad.Rep. Fed.Cam.- Rapport annuel serv.geol.
vol. 1971, p.34-43

LE MARECHAL (A) (1976) -Géologie et géochimie des sources thermominérales
du Cameroun -Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M.

TILLEMENT (B) (1968)- Hydrogéologie du bassin quaternaire Tchadien au
Cameroun. Rapport Bureau de l'eau n° BE-135 GACOJA

TILLEMENT (B) (1972) -Hydrogéologie du Nord Cameroun - Thèse Sciences Lyon

C O N G O

ALBINET (M) / MARGAT (J) - (1965)- Programme de recherches hydrogéologiques pour la compagnie des potasses du Congo.

Cartes géologiques de reconnaissance de l'Afrique équatoriale au 1/500.000 Paris - Dir. Mines et géologie AEF 1953 feuilles Ouesso et Pointe Noire, Brazzaville, Sibiti-Est, Sibiti-Ouest.

Carte géologique à 1/1000.000 du Congo Brazzaville avec not. explicative par P.Dadet ;Mem. BRGM n° 70 - 1969

BOINEAU (R) (1959) - Note sur les conditions géologiques de la recherche d'eau profonde à Pointe Noire (Congo) . Arch. DMG Brazza.

SCANVIK (J.V.) (1957)- Note sur l'implantation de puits pour l'alimentation en eau de la ville de Dolisie (Congo)

NICOLINI (1952) -Etude hydrogéologique de la région de Loudima^h (Congo)
Arch. DMG Brazza

CÔTE D'IVOIRE

BELLIARD (C.) - Premiers résultats de l'étude des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altération sur le pourtour du lac de Kossou. Univ. Abidjan dept. géol. n° 8, p. 1-14, 1973.

CAMERLO (J) / FAHY (J.C.) / HAUBERT (M.) (1977) -S.A.H.

(Service autonome de l'Hydraulique en Côte d'Ivoire)
Premiers résultats des forages destinés à l'alimentation en eau des villages réalisés dans le Birrimien de la Côte d'Ivoire - Bull. (CIEH) n° 28 et 29

DEGALLIER (R) - Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes souterraines. Application aux données provenant du bassin versant du Korogho. Thèse Univ. Montpellier , 1975, 231 p.

GUERIN - VILLEAUBREIL (G.) (1962) -Hydrogéologie Côte d'Ivoire
Mem. BRGM n° 20

LENOIR (F) - Exploration chimique d'un bassin intertropical (Le Bandama)
Influence des conditions hydrologiques .A.O. CNRS 7845, Fr thèse doct. Sci. nat. Nice 75 p. 1974

MAILLARY (J.C.) (1964) - Carte hydrogéologique de reconnaissance de la Côte d'Ivoire au 1/1000.000 Paris BRGM SODEMI

OMS/PNUD (1972) Ville d'Abidjan - Etudes préliminaires à l'établissement des projets d'alimentation en eau et d'assainissement. Rapport n° 10 SOGREAH R. 10912.10

PAUL EMILE (M) / BARTLET (A.) - A well for every village. United Nations FAO Access. n° 28540 - 1974

Study of flow and seepage in a small basin on the margin of the savanna Korogho; Ivory Coast. BRGM 1972, 106 p.

E. C. A.

Carte géologique de reconnaissance de l'Afrique équatoriale au 1/500.000 feuilles Ouanda, Djalle-Ouest (R.C.A) Ouada, Djalle-Est (R.C.A)

ETHIOPIE

BAUDUIN (D.) / DUBREUIL (P.) - L'inventaire des ressources en eau pour l'aménagement intégré du bassin du Wadi Schebelle d'Ethiopie. Cah. ORSTOM hydr. Fr. col. 10, n° 4, p. 307-347, 1973.

CANUTTI-TACCONI - Problémas de cartografia hydrogéologica en Etiopia Central in " symp. int. hydrol. terrain vol. (Résumés), Lanzarote - 1973

IDRIS (A.O.) On hydrogeology and groundwater wells in Ethiopia. Int. Ass. Hydrol. Mem. p. 8-9 -1972

KALOS (Y.) - Contribution à l'étude des sources thermominérales éthiopiennes. Paris thèse doct. Sci. 1 vol. 109 p.-1963

MAKIN (N.) - Development prospects in the southern rift valleys Ethiopia Land resources G.B. 1975, n° 21, p. 1-284 (abstract)

WRIGHT (E.P.) - Visit to Ethiopia 12 to 30 april 1971- WD/71/9 -Unpub. Report hydrogeol. Dept. Inst. Geol. Sci. London

G A B O N

BREMOND (R) / DEGALLIER (R.) - Rapports sur l'alimentation en eau
de Libreville et de Port Gentil - CIEH (1966)

CGG (1957) - Etude hydrologique par prospection électrique dans la
région de Port Gentil

Etude géochimique des eaux souterraines de l'Afrique de l'Ouest.
Gabon. CIEH (1967) - Rapport BRGM n° DAK 67 A 12

FERRANDES (R) (1974) - Prospection géophysique de la nappe des sables
à Port Gentil. Rapport BRGM n° 74 MET/GPM/063

HUDELEY (H.) (1970) - Carte géologique de la République Gabonaise au
1/1000.000 Notice explicative. Mem. du BRGM n° 72

MANIGAULT (B.) / MARTIN (G.) / SCHNEIDER (J.L.) (1977)-

ARTIS (H.) / MATHEUS (Ph.) / RUHARD (J.P.) / SCHNEIDER (J.L.) (1977)

Programme d'hydraulique villageoise. Alimentation en
eau potable des zones rurales gabonaises

1 - Etudes d'inventaire

2 - Recherche et valorisation des eaux souterraines
Rapports BRGM n° 77 AGE 010 et 77 AGE 025

G A M B I E

Hydrological and topographical studies of the Gambia River basin. Final
report. United nations Rep. 4047/0 vol. 5 (Gambia
Provinces groundwater study) Howards Humphreys and
sons, Reading G.B.

MURRAY (K.H.) - Geochemical reconnaissance of groundwater in the Gambia
project. UN WD/OS/75/5 Unpub. report. Inst. geol. Sci.
London 1975

G H A N A

BANNERMAN (R.) - Problems associated with development of groundwater in
igneous and metamorphic rocks. A case of study in
Ghana. Groundwater, 11 (5) p. 31-34, U.S.A

BANNERMAN (R.) / ATOBRAH - Introduction à une carte des eaux souterraines
du Ghana. Bull. liaison Comité interafricain études
hydrauliques n° 12, p. 2-5

Les problèmes de mise en valeur des ressources en eaux souterraines du
bassin sédimentaire de la Volta. Bull. Liaison Comité
interafricain d'études hydrauliques (CIEH) n° 15,
p. 16-22.

DES BOUVRIE (C.) - La Volta, un bassin hydrologique international, Agron. Trop. fr. vol. 30, n° 1, p. 52-62 -1975

Discussion of the importance of rainfall and soil moisture in the agricultural development of the forest zone of Ghana. Ass. int. hydrol. Sci. (I.A.H.S.) 1972, n° 94, p. 687

ERDELVI (1965) - The hydrogeology of Ghana. Bull. de l'A.I.H.S. - Xème année n° 1

GHANA GEOLOGICAL SURVEY : Hydrogeological map of Ghana. Scale : 1/1000 000
Accra

GILMANN (J.M.) (1965) - Record of boreholes and quality wates. Drilling section circular n° 1 . Accra

JUNNER (N.) / BATES (D.A.) (1945) - Report on the geology and hydrogeology of the coastal aera East of the Akwapim rouge (gold Coast) Accra

JUNNER (N.) / HIRST (T.) (1946) - The geology and hydrogeology of the voltaian basin. Accra

GUINEE

Carte géologique de l'Afrique occidentale à 1/5000.000 feuille Bougoumi Ouest, Kankan Est, Kankan Ouest

ARCHAMBAULT (J.) (1960)- Données pour l'étude des eaux souterraines de la région de Conakry. Rapport Burgeap, sept. 1960

AUDIBERT (M.) / AURIOL (J.) / POUL (X.) (1971) -

Etude hydrogéologique de la région de Kamsar. Rapport BRGM 71 RME 021

DEGALLIER (J.P.) (1955) - Enquête hydrogéologique en basse Guinée (Botta, Coyan, Forecariah).

LAJOINIE (J.P.) (1954) - Note sur l'adduction d'eau de Mamou. Arch. des Mines et geol. Conakry.

LAJOINIE (J.P.) (1955) - Adduction d'eau de Labe, Forecariah, Coyan, Arch. Dir. Fed. Mines et géol. Coñakry

SHVARTSEV (S.L.) (1971) - Hydrogeological characteristics of Guinea

SHVARTSEV (S.L.) (1971) -Chemical composition of ground waters in tropical countries, with Guinea as a axample.

GUINEE BISSAU

FURON (R.) / LOMBARD (J.) (1964) - Carte géologique de l'Afrique au 1/500 000 en neuf feuilles. Publication UNESCO ASGA

TEIXEIRA (J.E.) (1968) -Geologia da Guiné portuguesa in "Curso de geologia do ultramar" Junta invest. ultramar edit. Lisboa. vol. 1 - p. 53-103 avec carte géologique 1/500.000 H.T.

HAUTE - VOLTA

BERARD (P.) / SOLAGES (S.) - Essais de mise au point d'un mode de représentation cartographique des formations aquifères en zone tropicale de socle cristallin. Bull. liaison Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH) n° 17, p. 2-8 - 1974

DES BOUVRIE (C.) La Volta. Un bassin hydrologique international, Agron. Tropic, in vol. 30, p. 52-62- 1975

Hydrogeology of the Liptako Gourma-Région. Bull. liaison Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), n° 9, 1972

LEMOINE (J.) - La mise en valeur des eaux souterraines de Haute-Volta et l'organisation de la recherche. Rapport de fin de mission. Nations Unies - 1975

Mineral and groundwaters surveys. Project UNDP/FS/UPV/R. Final report 1970

K E N Y A

BHATT (N.V.) / AKIZUKI (H.) / HOWE (A.R.T.) -Morphotectonic evolution and groundwaters reservoirs of Kenya in "water for human needs" vol. 3, Indian Committee for IRWA 1975

ONGWENY (G.S.O.) - A preliminary account of the geological background of the variation of groundwater chemistry in Kenya in "water for human needs" vol. 3 Indian committee for IRWA 1975.

PENRSON (F.) - Evidence for the origin of arid region groundwater Northeastern Province. In "isotop-tech-groundwater-symp-Vienna" I.R.E.A. 1974, vol.2, p. 95-109

ROBERTS (I.L.) - An investigation into the water resources of the Ewaso Ngiro Basin Kenya (abridged version). Minist. works, Hydraulic branch, Rep. Kenya 1958 - 61 - 50 p.,

LESOTHO

WRIGHT (E.P.) Report on visit to Lesotho. october 1974. W.D./75/3. UNPUBL. report hydrogéol. department Inst. Geol. Sci. London

LIBERIA

- BEHRENDT (J.C.) and (AL.) (1974) - Structure of the continental margin of Liberia West Africa. Geol. Soc. Am. Bull. U.S.A 85 n° 7 p. 1143-1153
- BISCALDI (R.) (1967) - Etude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif et métamorphique en Afrique occidentale. BRGM DAK 67 A 14. Arch. Comité interafricain d'études hydrauliques
- FURON (R.) / LOMBARD (J.) (1964) - Carte géologique de l'Afrique au 1/5000.000 en neuf feuilles ; Publ. UNESCO ASGA
- STANLEY ENGINEERING COMPANY (1960) - Hydrologiç data - République of Liberia Washington , D.C.

MADAGASCAR

- AUROUZE (J.) - Hydrogeologie du Sud de Madagascar, Tananarive serv. geol. 191 p. 1959
- DOMERGUE (C.) - Fluctuations of water in Southern Madagascar between Fihewana and Mangoky. Madagascar serv. geol. (C.R.) 1970, p. 117-120.
- DOMERGUE (C.) - Les grands traits de l'hydraulique à Madagascar, Revue geogr. Mad. n° 19, p. 7-49 - 1971
- DUFLOS (J.) / DE SAINT OURS (J.L.) - Résultats hydrogéologiques des explorations souterraines dans le karst de l'Ankarama. C.R. semaine géol. Mad. 1967-1968, p.79-81
- MARCHAL (J.) - Hydrogeology of the Majunga région C.R. semaine géol. 1970 p. 109-115
- Planification des ressources en eau à Madagascar, C.R. des réunions du Comité interafricain d'etudes hydrauliques (CIEH) Nouakchot 1971, vol. 4, p. 8-13
- ROSSI (G.) - Problèmes morphologiques du karst de l'Ankarama (Nord de Madagascar). rev. geogr. Mad. n° 23, p. 61-90, 1973

MALAWI

- DAVIS (R.W.) - Groundwater gravity and rift valleys in Malawi. Rev. groundwater USA 1969/14, vol. 7, N° 2, p. 34-37
- DAVIS (R.W.) - Report on an evaluation of groundwater potential (abstract) UNDP (SF) project MLW (2) Land and water resources Development in southern Malawi 1970
- LOCKWOOD (J.) - Proposed groundwater investigations program in the Lower Shire River Valley (abstract) Toronto Canada, Lockwood Survey Corporation limited. Project UNDP/SF/MLW 2, p. 241-250

Malawi Airborne geophysical survey. Ontario Canada Mc Phar geophysic limited 1971. Project UNDP/MLW 71/513

M A L I

- AUTHOSSERE (C.) (1973)-Note sur l'inventaire des puits modernes réalisés dans la préfecture du Chari - Baguirmi et du Mayo Kebbi
Rapport de Mission PNUD
- BENAMOUR (J.) - Hydrogeology of the Liptako gourma region.pub. Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH) 1972, 73 p.
n° 9, p. 6-10 -1973
- BIZE / BOURGUET (L.) / LEMOINE (J.) -Hydrogeologie de la région du Liptako. Gourma. Bull. liaison Comité Inter.: Etudes Hydro (CIEH)
- BOURGUET (L.) - Projet de mise en valeur des eaux souterraines du Mali.
Rapport de mission PNUD 1972
- GEOMINES LTD (1974) - Recherches d'eau dans la région de Santominian (géophysique et forages) Geological minis. Consult.
Montréal -Canada
- PLOTE (H.) / MARTIN (G.) - Recherche hydrogéologique dans les cercles de Kayes et Yelimane.Hydrogeologie de détail. Min. Serv. Indus. et Tvx Publ.- Dir. Hydraul. et Energie. Rapport BRGM 74 DAK 002 - 1974
- REICHELT (R.) (1970) - Projet de forages et de puits dans le Gourma (Mali) Rapport de fin de campagne 1969-1970. Géologie et hydrogéologie. Rapport BRGM 70 RME 021. Arch.Gesellschaft für Ingenieur-beratung MBH Köln DJBI
- Renforcement des services gouvernementaux chargés de découvrir et de mettre en valeur les eaux souterraines du Mali. Conclusions et recommandations. Rapport PNUD New-York 1975
- ROURE (1957) - Carte hydrogéologique au 1/1000.000 du Mali
- Usage of wind pumps for water elevation in Mali. Bull. liaison Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), n° 6 - 1971
Mem. BRGM n° 51
- VILLEMUR (J.L.) (1967) - Aperçu hydrogéologique sur le bassin de Taoudeni
In "reconnaissance géologique et structurale du Nord du bassin de Taoudeni.

MAURICE (Ile)

Land and water resources survey. Final report (abstract). Project UNDP/SF 78/MAR/16 FAO 1970

MAURITANIE

- BOURGUET (L.) / RIOU (V.) (1976) - Route Kiffa Nema. Etude hydrogéologique. Rapport Burgeap R 183. Arch. Minist. Equip. Nouakchott.
- DEPAGNE (J.) - Etude hydrogéologique dans la région d'Idini en vue de l'alimentation en eau de Nouakchott. Thèse ing. doc. Nancy 1965. Mem. BRGM n° 49 - 1967
- ELOUARD (P) (1959-1962) - Etude géologique et hydrogéologique de formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de la vallée du Sénégal. Thèse Sciences Paris 1959. Mem. BRGM n° 7 - 1962
- GOUZES (R.) - Etude hydrogéologique des zones à substratum schisteux en Mauritanie. Rapport BRGM 66 A 11, 1966
- GOUZES (R.) - Note sur l'existence de nappes aquifères étendues dans les formations cambro-ordoviciennes du Tagant (R.I. de Mauritanie). 1967, Ann. Int. hydrogeol. Réunion Hannover t. 7, p. 279-282
- GRAVOST (M.) (1965) - Reconnaissance hydrogéologique de la nappe de Bennichab (Mauritanie) Rapport BRGM DAK 65. Arch. Sur. Hydraul. Nouakchott.
- MARTIN (A.) (1969) - Alimentation en eau de Nouadhibou. Données nouvelles sur la nappe du Continental Terminal. Rapport BRGM 69 DAK 9 - Arch. Dir. Serv. Techniques Nouakchott
- MARTIN (G.) / PILET (Ph.) / MADELEINE (B.) - Etude du tracé de la route Boutilimit.Kiffa. Rapport hydrogéologique concernant les études et recherches d'eau pour la construction de la route. Minist. equip. Nouakchott .Rapport BRGM 73 RME 024 AF 1973
- PALOC (H.) - Carte hydrogéologique du bassin du sud-ouest mauritanien au 1/500 000 et notice explicative. 1962, ed. BRGM arch. Ministère du plan Nouakchott
- Recherches françaises au service de l'Afrique tropicale sèche. Actions en cours et résultats obtenus. Cah. ORSTOM 1973, p. 1-107
- ROUSSEL (p) (1968) - Notice explicative de la carte de reconnaissance hydrogéologique de la Mauritanie au 1/1000.000 service eaux souterraines Nouakchott.
- SIMMONOT (M.) - Méthodologie et stratégie de recherches hydrogéologiques en Mauritanie. Ann. int. hydr. Mem. fr. 10ème réunion Montpellier 1974, vol. 10, p. 317-321

NIGER

Commission du bassin du lac Tchad (Cameroun - Niger - Nigéria). Rapport final (abstract) PNUD/FAO Rome 1973

Etude de mise en valeur du Dallol Maouri. Project UNDP FAO SE 281 NER 8-1971 - Final report

GREIGERT (J.) - Les eaux souterraines de la République du Niger. Minist. T.P. transp. Mines et urbanisme, Niamey, rapport BRGM 68/ABI 006 NIA

Hydrogeology of the Liptako Gourma région. Bull. liaison Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), n° 9, 1972.

JOULIA (F.) (1965) - Hydrogéologie des régions à l'ouest et au sud de l'Air. Rapport BRGM DAK 65 A 16 Arch. Minist. TP. Mines et Hydraulique Niamey.

Niger groundwaters 1971. UNDP/FAO. Agricultural services division. Proj. NER/8 - 158 p.

Niger Development of animal production and water resources in the east of Niger. Groundwater. United Nations. FAO/Land and water development Division. UNDP/SF Project NER/7. 1970

PIRARD (F.) - (1964) - Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Rapport de fin de travaux 1960-1963. Essai d'esquisses hydrogéologiques. Rapport BRGM DAK 64 A 11. Arch. Minist. T.P. Mines, Hydraul., Niamey.

NIGERIA

ADIGU ADE - Water resources projects in Nigeria and the hydrological data employed in their planning and development. Ass. Int. Sci. Hydr. Publ. USA. 1974, n° 108, p.21-33.

ANDERSON (H.) / OGILBEE (W.) - Aquifers in the Sokoto Basin Northwestern Nigeria with a description of the general hydrogeology of the region. U.S. geological survey. Water supply paper 79 p., 1973

ASEEZ (L.) - Rural water supply in the basement complex of the western state. Nigeria. Int. Ass. Hydrol. Sci. Bull. 17 (1), p. 97-110 - 1972

AYOAME (J.O.) - Water resources and their development in Nigeria. Bull. Sci. Hydrolog. E.U., 1975, vol. 20, n° 4, p. 581-591.

BEYNMORE JONES - The geology and water supply of Doura Emirate. Nigeria

BIZE (J.) / BOURGUET (L.) / LEMOINE (J.) - Hydrogeologie de la région du Liptako Gourma. Bull. liaison Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), n° 9, p. 6-10 - 1972

CARTER (J.D.) - The groundwaters resources of western Nigeria. Geol. survey of Nigeria. Report n° 1185 Kaduna

CARTER (J.D.) (1953) - The waters supplies of certain towns in the south

eastern part of Llorin province. Geol. Survey of Nigeria. Report n° 1097 Kaduna

FANIRAN (A.) - Rural water supply in Nigeria's basement complex in "water for human needs", vol. 3 - 1975. Indian Committee for IWRA New Delhi 11001 India

HAZELL (J.R.T.) - Groundwater in Eastern Nigeria. Geol. Survey of Nigeria Report n° 5198 Kaduna

Du PREEZ (J.W.) (1951) - Jos water supply. Rapport inédit Kaduna

RAEBURN (C.) Du PREEZ (J.W.) - The water resources of part of Plateau Province (Nigeria)

UGANDA

AIXON (C.) / MORTON (U.H.) - Thermal and mineral springs in Uganda. Int. geol. Cong. report Czechlovakia -1969- p. 191-200

HAMWA (L.) - Potential water deficits in Uganda. An assesment of wet and dry seasons. Int. Brit. Geogr. 1976, vol. 1, n° 2, p. 190-202

KABANDA (B.K.) - Uganda water resources and its exploitation in "water for human needs", vol. 3. Indian Committee for IWRA New Delhi

Uganda irrigation and water development division Mubuki soil survey, UN/FAO. Land and water development division. Project UNDI/SF/UGA/4/1970.

RUANDA

Document de synthèse sur les études hydrologiques et hydrogéologiques du Ruanda. Minist. des ressources Nat. Mines et carrières Kigali 28-09-1976

SENEGAL

Application of advanced hydrogeological methods to Dakar water supply. Bull. liaison Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), n° 6, 1971

AUDIBERT (M.) - Hydrogéologie de la nappe maestrichtienne. Thèse 3e cycle Montpellier. Mém. BRGM n° 41 - 1966

DEBUISSON (J.) / MOUSSU (H.) - Etude expérimentale d'un équilibre eaux douces - eaux salées sur le rivage maritime de Malika près de Dakar. Ass. Int. Hydr. Mémoire réunions Hanover T. 7, p. 286-292

DEPAGNE (J.) / MOUSSU (H.) - Notice explicative et carte hydrogéologique au 1/500.000 et hydrochimique au 1/1000.000 du Sénégal. Ed. BRGM Dakar 1967

Groundwater storage and artificial recharge. UN dpt of Economic and social affairs, natural resources / water series, n° 2, sales n° E 74 11 A 11

GOUZES (R.) / LOUVRIER (M.) / MARTIN (A.) - Etude hydrochimique d'orientation agricole des nappes du bassin sédimentaire sénégalais. Rapport BRGM 73 RME 098 AF - 1973

MARTIN (A.) - Approvisionnement en eau et assainissement de Dakar et de ses environs OMS (WHO). Arch. minist. Développement indust. Dakar - 1972

SIERRA LEONE

Co. BAKER BOTT (M.H.P.) (1962) - A gravity survey over Freetown basic complex of Sierra Leone. Geol. survey of Sierra Leone - Short paper n° 1 - London

MARMO (V.) (1962) - Geological map of the Kangari Hills schist belt. Geological survey of Sierra Leone ; Freetown

SIERRA LEONE GEOLOGICAL SURVEY (1960) : "Geological map scale : 1/2000.000" Directorate of overseas surveys - London

WILSON (N.W.) / MARMO (V.) (1958) - "Geological map of the Sula Mountains sheets 1, 2, 3. Scale 1/50.000" Geological survey of Sierra Leone. Freetown

SOMALIE

POPOV (A.) / KIDWAI (H.L.) / KARANI (J.A.) - Groundwater in the Somali Democratic Republic. UNDP/WMO/ in "the role of hydrology and hydrometeorology in the economic development of Africa, p. 340-342 - 1972

SOMALIA - Mineral and groundwater survey. Project UNDP/LSF/UN 81, technical report 1 - 1971

SOMALIA - Water control and management of the Shebeeli-River. Vol. 4, Water resources and Engineering, 247 p. Hunting limited, London, UNDP project SOM 10.

SOUDAN

ABUBAKR / SADIK (S.) / DROGUE (C.) - Alimentation en eau de Port Soudan et problèmes posés par l'inventaire des ressources hydrauliques du littoral soudanais de la Mer Rouge. in C.R. II ème réunion Ann. Sci. Terre Montpellier 1975

- BURDON (D.J.) - Data on water resources for the agricultural development of Tokaï delta and Red sea Hill. Sudan. FAO, 26 p. 1974
- HIMIDA (J.H.) - The Nubian Artesian Basin. Its regional hydrogeological aspects and paleohydrological reconstruction. Int. An. Sci. Hydrol. Publ. (97), p. 370-390
- MOUNTJOY (A.) - Water policy units in the Sudan. Geogr. Mag. GB., 1972, vol. 44, n° 10, p. 705-711
- RAMSIS (S.) /SALAAMA - Groundwater resources of Sudan. United water resources conference. Mar Del Plata. Argentina 14-25 mars 1977. E/CONF. 70/T1/27
- RODIS (H.G.) / HASSAN (A.) - Groundwater geology of Kordofan province. Geol. Surv. dept bull. Sudan n° 14, 95 p. 1964
- RURAL WATER CORPORATION : Hydrogeological map of Sudan . Piézométrie surface. Scale 1/4000.000
- SAEED (E.) - Groundwater appraisal of the Gash river basin and Kassala Sudan geol. survey. dep. Bull. 17. 88 p. 1971
- SAEED (E.) - Hydrogeology of Kassala District. Geol. survey dept. bull. Sudan n° 21, p. 1-109
- SART (A.) - A new light on the groundwater potential of the nubian sandstones aquifer in the northeast Africa. In Symp. geol. Tripoli 1971, p. 483-486
- SULEIMAN (Y.) - The hydrogeology of part of eastern Sudan (Gesare District). Minist. Miner. Indust. Geol. Survey. Bull. 1968, n° 16, p. 1-54.
- WHITEMAN (A.J.) - The geology of Sudan Republic. Oxford Univ. Press, 290 p. - 1971

SWAZILAND

- MAZOR (E.) / VERHAGEN (B.T.) - Hot springs of the igneous terrain of Swaziland in "Isot. tech. groundwater hydrol. symp." Vienna, IAEA, vol. 2, p. 29-47 - 1975

TANZANIA

- CHATTERJI (P.C.) / BOWER (R.C.) - Hydrogeological studies of Dodoma region. Maji rev. 1 (1), p. 1-28
- DUTT (D.) - Hydrogeological conditions in part of Tanzania Indian. Mining 1971, vol. 26, n° 1, p. 113-117
- GORDON (E.D.) / O'ROURKE (J.F.) - Proposed water resources and land capability investigation Arusha region. Tanzania. U.S. geological survey, open file report 1973, 113 p.

TANGANYIKA

HALDEMAN (E.G.) The geology of the Rufiji basin with reference to proposed dam sites. Geol. survey -Tanganyika. Bull. n° 33 - -1962

Integrated development plan for Morogoro region Tanzania. Int. Land Improvement Netherland, 1975, vol. 1974, p. 14-46

WARNER (D). - Evaluation of the benefit of rural water supply prospects in Tanzania villages. J. Ann. water work USA, 1975, vol. 67, n° 6, p. 318-321

TCHAD

ARAD (A.) / KARFI (U.) - Geochemistry of groundwater in the Chad basin J. Hydrol. 25 (1-2- , p. 105-127, 1975, New-York

BARBEAU (J.) (1956) - Notice explicative sur la feuille Fort-Lamy. Carte géologique de reconnaissance au 1/1000.000. Arch. Dir. Mines et géol..AEF

CHOURET (A.) / MATHIEU (P.) - **Etude des nappes phréatiques à la périphérie du Lac Tchad** (République du Tchad). ORSTOM, N'Djamena sept. 1975, 57 p. - 1975

HIMIDA (I.H.) - The Nubian Artesian Basin. Its regional hydrogeological aspects and paleohydrological reconstruction. Int. assoc. sci. hydr. Pub. (97),p. 310-390 - 1972

Commission du bassin du lac Tchad (Cameroun Niger, Nigeria, Tchad). Programme des Nations-Unies pour le développement Rome 1973

ROCHE (M.A.) - Groundwater of the shores of the lake Chad at Tokingam and Soro (Kanem) ORSTOM, cah. serv. hydrol. (T3) p. 89-116 - 1972

SCHNEIDER (J.L.) - Notice explicative de la carte hydrogéologique au 1/1 500 000 de la République du Tchad Rapp. BRGM 70 RME 029

T O G O

FAHY (J.C.)/ HONYIGLO (L.) - Résultats provisoires de l'étude hydrogéologiques du bassin sédimentaire côtier du Togo destinée à définir les conditions d'exploitation des eaux souterraines. Ass. Inter. Hydrogeol. Mem. du 10e congr. vol. 10, p. 287-295

Project mining and groundwater. Rapport sur les résultats. Conclusions et recommandations du projet. UNDP-UN 1975, 74 p.

Z A I R E

- HENRY (J.C.) - Mission hydrogéologique au Zaïre. Mai-juillet 1974
Rapport de fin de mission 23 p. Nations Unies.
UNESCO 1974, 3081/RMO/RD/SCE
- LEMAIL (A.) / BUCHSTEIN (M.) - Les sources thermales et thermominérales
de la R.D. du Congo. Int. geol. cong. report
23e Sess. Czeschoslovaquia 1968, vol. 19, p.87-109.
- LE PERSONNE (J.) (1974) - Notice explicative de la carte géologique du
Zaïre au 1/2000.000. Pub. Dir. geol. dep. Mines
Zaïre. Carte geol. caul. 2 feuilles H.T.
- SNEL (M.J.) - Contribution à l'étude hydrogéologique du Congo Belge
Bull. serv. geol. Belgique 1957, n° 7, fasc. 2.

ZAMBIE

- ADAMS (B.) - N'dola water supply project. Unpub rept hydrogeol. Depts
Inst. geol. Sci. London WD 75/2, 1975 B med. centr.
Afr. Congr. Lusaka 1963, p. 145-152 - 1965
- LAMBERT (H.H.J.) - Groundwater in Northern Rhodesia in C.R. Sci. Med.
Cent.Afr. Congr. Lusaka 1963, p. 145-152 - 1965
- Resources of the Lusaka Area. Exploration of the degree sheet 1528.
Geological survey of Northern Rhodesia 1963. Bull. 5
- RIJKEN (J.H.A) / CLUTTEN (J.M.) - The water problem in relation to mining
at Konkola division N'changa consolidated Copper
Mines Limited. Geol.MIJNBOUW 51 (3), n. 399-408
1974