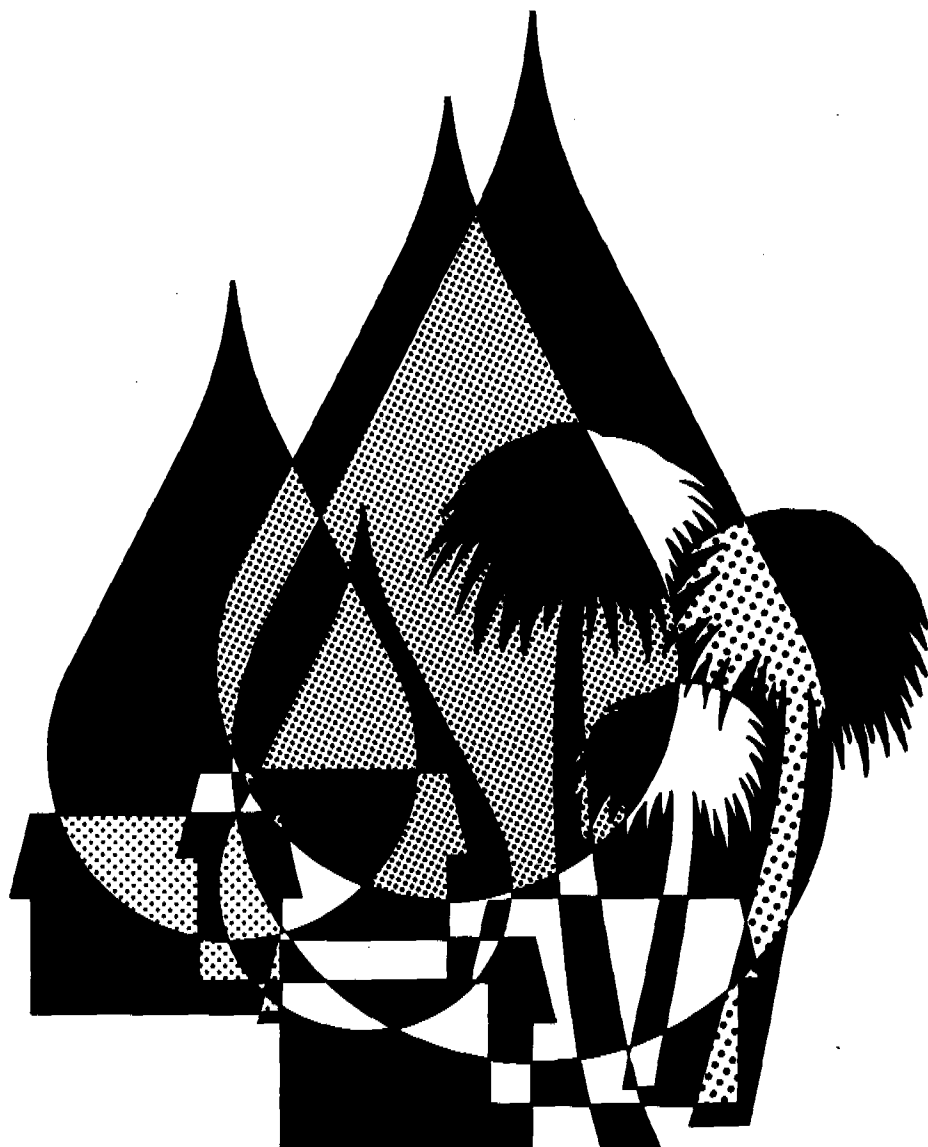


CARTE DE PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES



COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES
HYDRAULIQUES

CAMEROUN

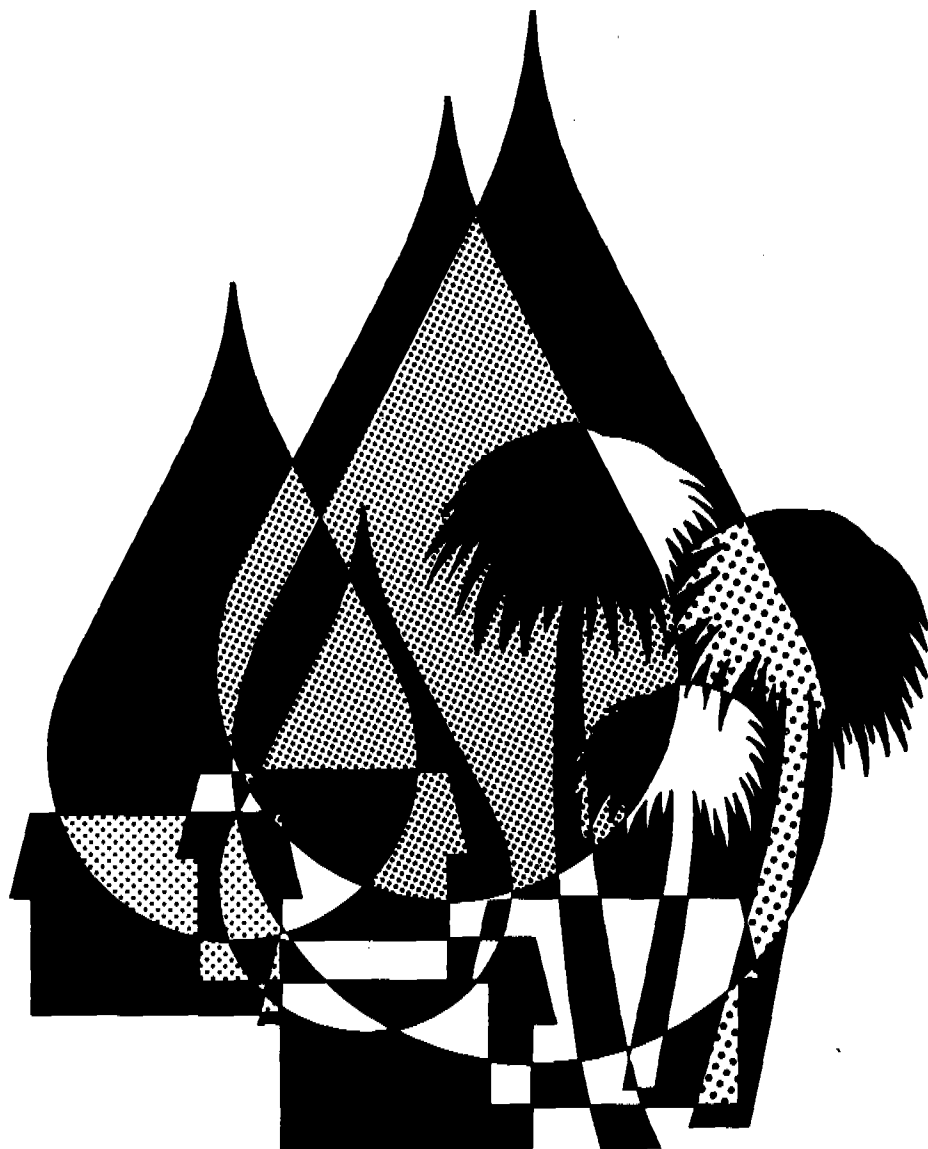


824 CM80 -
(carte)

1979

CARTE DE PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES



COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES
HYDRAULIQUES

CAMEROUN

824 Cm80 -
(carte)



1979

KD 3850
824
CM80

COMITÉ INTERAFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES (C.I.E.H.)

B.P. 369 - Ouagadougou (Haute-Volta) - Tél.: 334.76 - 335.18

ÉTUDE FINANCÉE PAR LE FONDS D'AIDE ET DE COOPÉRATION DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**NOTICE EXPLICATIVE
DES CARTES DE PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU
DU CAMEROUN**

par

M. BOURGEOIS



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

AGENCE D'ÉTUDES DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE A L'ÉTRANGER

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

80 AGE 007

Janvier 1980

AVANT - P R O P O S

Cette notice comprend deux parties :

- 1 - Conception et contenu des cartes*
- 2 - Aperçu sur les ressources en eau du Cameroun.*

Les cartes de planification des ressources en eau du Cameroun ont été réalisées en 1978-79 par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) à la demande du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), au titre d'une convention en date du 14 juin 1978 financée sur crédits du Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française (FAC).

S O M M A I R E

	<i>Pages</i>
- AVANT-PROPOS.	
- RESUME.	1
- <u>PREMIERE PARTIE</u> : CONCEPTION ET CONTENU DES CARTES.	
1 - OBJET DES CARTES.	4
2 - THEMES CARTOGRAPHIES.	4
2.1. - FOND GEOGRAPHIQUE.	4
2.2. - HYDROLOGIE	5
2.2.1. - Lacs de barrages.	5
2.2.2. - Modulation du tracé des cours d'eau en fonction du débit d'étiage - Débits moyens et débits de crues	6
2.3. - RESSOURCES RENOUVELABLES	7
2.3.1. - Détermination des précipitations efficaces.	8
2.3.2. - Evaluation de la fraction infiltrée	11
2.4. - <u>AQUIFERES DISCONTINUS</u>	14
2.4.1. - Faciès lithostratigraphiques.	14
2.4.2. - Ouvrages de référence	15
2.5. - <u>AQUIFERES GENERALISES</u>	16
2.5.1. - Réserves exploitables	17
2.5.2. - Productivité.	19
2.5.3. - Minéralisation de l'eau	21
2.5.4. - Ouvrages de référence	23
2.5.5. - Coût de l'eau	26
3 - UTILISATION DES CARTES.	36
4 - CONCLUSION.	38
BIBLIOGRAPHIE - OUVRAGES GENERAUX	39

- <u>DEUXIEME PARTIE</u> : APERCU SUR LES RESSOURCES EN EAU DU CAMEROUN	
1 - LES EAUX SUPERFICIELLES : LES BARRAGES.	44
2 - CARACTERES GENERAUX DES AQUIFERES	45
2.1. - LE SOCLE CRISTALLIN.	45
2.2. - LES PRINCIPAUX BASSINS SEDIMENTAIRES	46
2.2.1. - Le bassin du Tchad.	46
2.2.2. - Le bassin de Garoua	47
2.2.3. - Le bassin de Douala	48
3 - RESSOURCES EN EAU.	48
3.1. - LE SOCLE CRISTALLIN	48
3.1.1. - Les ressources disponibles	55
3.2. - LES AQUIFERES GENERALISES	56
3.2.1. - Le bassin du Tchad	56
3.2.2. - Le bassin de Garoua.	58
3.2.3. - Le bassin de Douala.	61
4 - OUVRAGES DE REFERENCE.	62
BIBLIOGRAPHIE DU CAMEROUN.	67

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

	<i>Pages</i>
- FIGURES :	
1 - Données conventionnelles pour le calcul des réserves exploitables .	17
2 - Esquisse géologique du bassin de Douala (1/500 000)	22
3 - Localisation des forages de recherche pétrolière du secteur de Douala - Tiko (1/200 000)	24
4 - Coût-forage du m ³ d'eau en fonction de la profondeur et du type de forage	31
5 - Coût-relevage du m ³ d'eau en fonction de HMT et du type de forage .	34
6 - Coupes simplifiées de forages de reconnaissance (1/2 000)	49
7A à 7C - Coupes simplifiées de forages pétroliers dans le bassin de Douala (1/10 000)	50 à 52
8 - Nappe du Pliocène inférieur - Réserves exploitables (1/1 000 000) .	59
 - TABLEAUX :	
1 - Points d'eau en aquifères discontinus	63
2 - Aquifères généralisés (d'extension limitée)	64
3 - Aquifères généralisés	65-66

R E S U M E

Les cartes de planification des ressources en eau du Cameroun ont été réalisées en 1978-79 :

- pour le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH)
- par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM),

sur le financement du Fonds d'aide et de coopération de la République Française.

LA PREMIERE PARTIE DE LA NOTICE EXPOSE LA CONCEPTION ET LE CONTENU DES CARTES.

Sur la feuille 1, en deux coupures, le réseau hydrographique différencié par tronçons représentatifs du débit mensuel d'étiage offre une vue d'ensemble de l'apport minimal annuel des nappes aux cours d'eau ; cette physiologie des écoulements superficiels est complétée par les valeurs du débit moyen et du débit de crue aux stations de jaugeage et par les réservoirs des barrages construits ou projetés.

L'eau souterraine emmagasinée dans les aquifères discontinus des terrains cristallins et dans les aquifères généralisés des principaux bassins sédimentaires est exploitée par puits et forages ou, pour la plus grande partie, s'écoule vers les rivières. Elle est renouvelée par la fraction des précipitations efficaces qui s'infiltré ; comme les hauteurs de pluie, les précipitations efficaces sont exprimées en millimètres, de même que la fraction infiltrée ou ressource renouvelable moyenne annuelle, qui est par ailleurs traduite en $m^3/km^2/an$.

La feuille 1 distingue les principales catégories de terrains des aquifères discontinus par des figurés lithologiques conventionnels et sa légende précise ceux qui peuvent comporter une certaine continuité de l'aquifère à l'échelle locale, les couches gréseuses des petits bassins sédimentaires et les matériaux volcaniques par exemple.

Pour les aquifères généralisés, trois notions complémentaires sont représentées : les réserves exploitables, la productivité possible sur un forage et le coût du m^3 d'eau.

Les réserves exploitables dépendent du coefficient d'emmagasinement S de l'aquifère et du rabattement admissible sur un puits complet dans des conditions techniques et économiques réalistes explicitées.

Sur la feuille 2, la productivité esquissée pour certaines nappes est déterminée en supposant que l'on exécute en tout point le forage le mieux adapté et qu'on l'exploite en respectant les hypothèses réalistes admises pour le calcul des réserves exploitables.

Le coût d'exploitation du m^3 d'eau découle d'abord des frais d'investissement et d'entretien du forage, de la pompe et du moteur et ensuite du coût de l'énergie pour faire tourner ce moteur. A chaque plage de productivité correspondra un forage-type dont le prix sera proportionnel à la hauteur du refoulement. Les explications détaillées fournies en notice se résument par deux abaques de 7 droites chacun, d'où l'on tire aisément le coût-forage du m^3 d'eau et son coût de relevage qu'il suffira d'additionner.

La première partie se termine par un exercice proposé au lecteur pour voir les conditions d'utilisation des cartes, et partant, leurs limites.

LA DEUXIEME PARTIE DONNE UN APERCU DES RESSOURCES EN EAU DU CAMEROUN.

Elle présente notamment quelques indications sur les barrages, décrit la nature et la géométrie des terrains aquifères et présente les résultats des calculs des ressources et réserves. Les ressources renouvelables sur l'ensemble du Pays s'élevaient en moyenne à 147 milliards de m^3 d'eau infiltrée chaque année dont 10 milliards environ sur les trois grands bassins sédimentaires ; les réserves exploitables de ceux-ci atteindraient une quarantaine de milliards de m^3 .

L'exploitation des eaux souterraines, relativement limitée jusqu'ici, pourrait donc se développer notablement sans crainte d'épuiser de telles ressources. L'ordre de grandeur est assez vraisemblable mais il convient de rappeler au lecteur les vastes lacunes de données de base sur de grands secteurs ; la liste des points d'eau jointe à la fin de cette notice témoigne de ces lacunes qui devraient être progressivement comblées dans l'avenir grâce aux renseignements obtenus sur les futurs forages correctement programmés et surveillés.

1. - OBJET DES CARTES

Ces cartes destinées principalement aux planificateurs pourront être consultées avec profit par les aménageurs en vue d'orienter leurs études de projets.

Elles ne présentent pas des schémas directeurs régionaux d'aménagement des ressources, mais des informations élaborées et synthétisées, utilisables comme éléments d'appréciation et de décision par les autorités chargées de planifier et de gérer les ressources en eau, notamment souterraines.

Les choix de planification ne dépendent pas, en effet, exclusivement des conditions physiques naturelles cartographiables décrites ici, mais aussi de données socio-économiques relatives aux demandes et aux priorités fixées par la politique de développement du Pays.

2. - THEMES CARTOGRAPHIES

Les cartes font ressortir les deux grandes catégories de nappes existantes au Cameroun en précisant la nature des terrains aquifères, leur extension et leurs caractéristiques essentielles, leurs ressources renouvelables et leurs réserves exploitables.

Sur la feuille n° 1 à l'échelle du 1/ 1 000 000 on a représenté :

- la répartition des précipitations efficaces moyennes annuelles et des ressources renouvelables qui en découlent,
- le régime d'étiage des rivières, qui traduit globalement le débit d'eau souterraine en cette période, donc un débit minimal annuel issu des nappes,
- les réserves d'eau souterraine exploitables, selon quelques hypothèses conventionnelles, dans les trois principaux bassins sédimentaires du Lac Tchad, de Garoua et de Douala.

Sur la feuille n° 2 certaines données spécifiques aux aquifères généralisés des bassins sédimentaires sont esquissées à l'échelle du 1/1 000 000, lorsque les informations disponibles sont peu abondantes, au 1/500 000 si la documentation le permet. Il s'agit :

- de la productivité des aquifères dans certaines conditions définies pour chacun d'eux,
- du coût du mètre cube d'eau exploitée à partir d'une série de forages adaptés à la productivité locale.

2.1. - FOND GEOGRAPHIQUE

Le fond géographique de la feuille 1 est essentiellement celui de la Carte Internationale du Monde (CIM) publiée par l'Institut Géographique

National (IGN). On a retenu la partie camerounaise des coupures : N'Djamena (Fort-Lamy), Garoua, Douala, Ouesso. A défaut de couverture du Sud-Ouest du Pays par la CIM on a procédé à la réduction des films IGN de la feuille Yaoundé, à 1/500 000, pour combler le vide.

Ce fond rassemble :

- la toponymie des localités,
- les frontières entre états,
- les limites administratives principales,
- les routes et les voies ferrées,
- les méridiens et les parallèles,
- les points cotés et installations diverses,
- enfin, les courbes hypsométriques de la CIM,

Comme les cartes géographiques à 1/500 000 disponibles sont relativement différentes selon l'édition, il est apparu plus logique d'agrandir le 1/ 1000 000 cité plus haut pour servir de fond au bassin sédimentaire de Garoua et à la partie nord de celui de Douala. Pour la zone méridionale du bassin de Douala le fond provient de la coupure Yaoundé, à 1/500 000.

2.2. - HYDROLOGIE

Le réseau hydrographique, au sens large, est également celui de la Carte Internationale du Monde. Il comprend les cours d'eau à écoulement permanent ou périodique, les canaux, les zones inondables, marécageuses et les mangroves, le littoral marin, le contour des lagunes, des lacs naturels et artificiels, la toponymie relative aux eaux superficielles.

Le "bleu" des coupures IGN a été repris sans modification sur les cartouches de la feuille 2 à 1/1 000 000 et agrandi photographiquement deux fois sur les cartouches à 1/500 000.

Sur la feuille 1 les modifications suivantes ont été effectuées :

- report des limites et figuration par trame des lacs de barrages les plus importants déjà construits ou projetés,
- modulation du tracé des fleuves et rivières en divers tronçons représentatifs du débit médian d'étiage.

2.2.1. - Lacs de barrages

Les renseignements relatifs aux barrages proviennent de documents obtenus auprès de trois organismes : la Direction de l'Eau et de l'Energie du Ministère des Mines et de l'Energie, le Bureau des Programmes du Ministère de l'Economie et du Plan, la Direction des Aménagements de la SONEL.

Quatre lacs de barrages sont figurés sur la coupure nord et quatre également sur la coupure sud ; schématiquement ceux du Nord servent en priorité à l'irrigation agricole et à l'alimentation en eau potable, ceux du Sud sont destinés à la production d'énergie électrique.

Quelques caractéristiques essentielles de ces barrages sont fournies dans la 2ème partie de cette notice.

2.2.2. - Modulation du tracé des cours d'eau en fonction du débit d'étiage - Débits moyens et débits de crues

. Grandeurs représentatives retenues

Au cours des périodes de pluie intense et pendant les quelques dizaines d'heures qui suivent, le débit élevé des ruisseaux et rivières provient du ruissellement direct ou légèrement retardé ; ensuite l'égouttement des terrains se fait progressivement et quelques dizaines de jours après la fin des pluies, toute l'eau qui s'écoule dans la rivière a transité par les roches en place ou par celles de leur couverture d'altération.

On peut considérer que le débit moyen mensuel le plus faible de l'année ou débit mensuel d'étiage est représentatif de l'écoulement minimal souterrain restitué par les aquifères.

Comme dans la plupart des pays du golfe de Guinée on peut distinguer schématiquement deux types de précipitation saisonnière au Cameroun :

- dans le Nord la période pluvieuse, avec le maximum en août, dure 5 mois suivis de 7 mois de saison sèche d'octobre à avril,
- dans le Sud il existe deux saisons des pluies : mars à juillet, avec maximum en mai-juin et août à novembre, avec maximum en septembre-octobre, soit 8 mois au total ; la "petite saison sèche" est pratiquement réduite à un mois, du 15 juillet au 15 août et la "grande saison sèche" va de décembre à février.

Ces distinctions ne sont évidemment pas rigoureuses : au passage des deux zones, les périodes pluvieuses et sèches sont modifiées et certaines années, au Nord comme au Sud, les mois secs en moyenne interannuelle peuvent être relativement pluvieux et vice versa. Mais sur l'ensemble de la surface étudiée le mois d'étiage est fréquemment février ou mars, parfois janvier ou avril, plus rarement décembre ou mai.

. Origine des données et choix

Les données de base utilisées pour établir la hiérarchisation du tracé des cours d'eau proviennent des documents établis par l'ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) et plus récemment par l'ONAREST (Office National de la Recherche Scientifique et Technique). Il s'agit des tableaux de débits journaliers aux diverses stations de jaugeage publiés dans les annuaires hydrologiques de 1962 à 1976 et des données interprétées depuis l'origine des mesures figurant dans les monographies de la Sanaga, du Charé, du Logone et du Niger (B 25 à B 31).*

Les débits disponibles sur une centaine de stations camerounaises (ou proches du Cameroun) ont été examinés et ceux de 81 stations ont été définitivement retenus :

* Numéro de référence bibliographique des listes données à la fin de la première et de la deuxième partie de la notice.

- 22 dans le bassin de la Sanaga,
- 25 dans les bassins des fleuves côtiers, Nyong et Ntem y compris,
 - 6 dans le bassin de la Sangha, tributaire du Congo,
- 10 dans le bassin du Niger,
- 18 dans le bassin du Lac Tchad.

Les observations fiables vont de 3 à 4 ans, pour les installations récentes, à 25 ans ou plus pour certaines stations anciennes. L'étude des différentes données a fourni :

- le débit mensuel médian d'étiage,
- le débit annuel médian de crue afin de fournir une idée sommaire du régime des cours d'eau
- le débit moyen annuel ou module.

Ces 3 valeurs sont inscrites à côté de la station sur la feuille n° 1, parfois entre parenthèses lorsqu'elles sont déduites d'un nombre limité d'observations sûres.

A partir des débits d'étiage, la position des zones de passage des différentes gammes de 0,001 à 1 m³/seconde, 1 à 5 m³/s, etc..., a été fixée d'après la configuration locale du réseau hydrographique.

On notera qu'à défaut de stations de jaugeage dans la partie amont des rivières, les limites entre tronçons à écoulement périodique ou permanent admises par l'IGN ont été conservées. Au contraire, des valeurs fiables du débit d'étiage ont entraîné des modifications dans les deux sens : tireté significatif de l'écoulement temporaire transformé en trait continu et inversement.

Précisons que le débit de crue est le débit journalier le plus élevé de l'année considérée ; sur une série d'années on a recherché la médiane de ces débits maximaux, exprimée par les statisticiens : débit à récurrence 2 ans. Celui-ci est évidemment plus faible que les débits à récurrence 10, 100 ou 1000 ans, qui intéressent en particulier les constructeurs de barrages lorsqu'ils doivent calculer les évacuateurs de crues. Pour estimer le volume annuel moyen de remplissage de la retenue, les projeteurs tiendront compte au contraire du module de la rivière, qui est également indiqué.

2.3. - RESSOURCES RENOUVELABLES DES AQUIFERES

L'eau emmagasinée dans les aquifères alimente les puits et forages, mais la majeure partie s'écoule vers les sources, les rivières et assure leur débit pour une part en toutes saisons, et totalement en période d'étiage.

Ces sorties d'eau des nappes sont compensées principalement par l'infiltration d'une fraction des précipitations sur de vastes surfaces. Accessoirement les apports peuvent provenir des rivières lorsque celles-ci traversent des terrains perméables à des cotes supérieures à celles des nappes.

La part d'eau qui s'infiltré est prélevée selon "la capacité d'infiltration" du terrain, sur la part de pluie qui échappe à l'évapotranspiration.

Pour déterminer la ressource renouvelable dans un secteur donné, il convient donc de connaître d'abord la pluie efficace, puis la fraction de celle-ci qui parvient à la nappe.

Les hauteurs annuelles de pluies étant données en millimètres, la ressource renouvelable peut également être exprimée en millimètres par an et transcrite en m^3/km^2 : 1 mm de lame d'eau = 1 000 m^3/km^2 .

La feuille 1 présente une répartition par zones des pluies efficaces moyennes annuelles sous forme de courbes limites de 250 en 250 mm jusqu'à 1 000 mm, et de 500 en 500 mm entre 1 000 et 2 000 mm. Dans l'extrême Nord du Pays, où la pluviométrie est faible et l'évapotranspiration relativement importante, la courbe intermédiaire 125 mm a été ajoutée.

Selon la valeur de la pluie efficace, huit classes de ressources renouvelables ont été définies en fonction de la nature du terrain, les classes extrêmes étant :

- inférieure à 50 mm, c'est-à-dire inférieure à 50 000 $m^3/an.km^2$,
- supérieure à 1 m, c'est-à-dire supérieure à 1 000 000 $m^3/an.km^2$.

2.3.1. - Détermination des précipitations efficaces

Les précipitations efficaces (Pf) sont la fraction des précipitations (P) qui échappe à l'évapotranspiration réelle (Er) pour ruisseler directement vers la rivière ou indirectement après avoir transité dans le terrain, à l'échelle d'un bassin local.

Pf a été déterminé par bilans mensuels sur 20 ans consécutifs (1955-1974) à partir de la hauteur de pluie réellement tombée pendant le mois considéré et de l'évapotranspiration potentielle Ep du lieu, calculée par la formule mensuelle de TURC.

Les précipitations sont celles fournies depuis l'origine des stations jusqu'à 1974 inclus, par l'Association pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA). Nous disposons des fiches ASECNA pour 146 stations.

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle Ep sont celles indiquées pour 12 stations dans un rapport du CIEH de février 1972 (B 23) ou tirées des cartes mensuelles de ce même rapport pour les 134 autres stations.

Compte tenu d'une valeur normale de la réserve d'eau facilement utilisable par les plantes (RFU), les éléments du bilan classique effectué sur 20 ans, soit 240 mois consécutifs, sont Ep et P, d'où l'on tire la variation de réserve d'eau dans le sol (VR), le déficit (D) ou l'excédent (EX) et enfin l'évaporation réelle (Er). La somme des excédents et celle des 12 valeurs Er donne pour chaque année Er annuelle et Ex annuel.

Conventionnellement RFU est prise égale à 100 mm. En effectuant des bilans entre le 1er mars et le 28 février, chaque année hydrologique se termine par RFU = 0 sur la plupart des stations.

On a donc : Ex annuel + Er annuelle = P annuelle.

Les moyennes sur 20 ans de ces trois termes donnent :

$$\bar{P} = \bar{E_r} + \bar{E_x}$$

Ex moyen sur 20 ans correspond aux précipitations efficaces moyennes annuelles recherchées (Pf).

Parfois, en particulier dans le Sud du Pays où la pluviométrie peut être réduite au début de l'été, la réserve épuisée pendant la petite saison sèche doit être reconstituée à nouveau.

Voici deux exemples de bilan ; le premier, avec une seule reconstitution annuelle de la réserve, s'applique dans 95 % des cas tandis que le second s'applique aux 5 % restants. Tous deux sont pris sur une station du Centre-Sud :

Lomié : X = 13° 37' ; Y = 3° 09' ; Z = + 640

Exemple 1 : Année hydrologique 1957-58

Mois	Ep	P	VR	RFU	D	Ex	Er
MARS	107	135	28	28	0	0	107
AVRIL	118	187	69	97	0	0	118
MAI	110	209	3	100	0	96	110
JUIN	94	274	0	100	0	180	94
JUILLET	85	159	0	100	0	74	85
AOUT	77	304	0	100	0	227	77
SEPTEMBRE	87	388	0	100	0	301	87
OCTOBRE	102	265	0	100	0	163	102
NOVEMBRE	113	172	0	100	0	59	113
DECEMBRE	104	64	- 40	60	0	0	104
JANVIER	100	24	- 60	0	16	0	84
FEVRIER	107	0	0	0	107	0	0
TOTAUX	1 204	2 181			123	1 100	1 081

Exemple 2 : Année hydrologique 1958-59

Mois	Ep	P	VR	RFU	D	Ex	Er
MARS	107	210	100	100	0	3	107
AVRIL	118	202	0	100	0	84	118
MAI	110	146	0	100	0	36	110
JUIN	94	50	- 44	56	0	0	94
JUILLET	85	5	- 56	0	24	0	61
AOUT	77	121	+ 44	44	0	0	77
SEPTEMBRE	87	213	+ 56	100	0	70	87
OCTOBRE	102	194	0	100	0	92	102
NOVEMBRE	113	132	0	100	0	19	113
DECEMBRE	104	37	- 67	33	0	0	104
JANVIER	100	50	- 33	0	17	0	83
FEVRIER	107	58	0	0	49	0	58
TOTAUX	1 204	1 418			90	304	1 114

Dans les deux tableaux tous les nombres expriment des hauteurs d'eau en millimètres. On peut constater que la RFU de 100 mm constituée sur un ou deux mois au début de l'année hydrologique, reconstituée à nouveau dans le 2ème exemple après épuisement durant la "petite saison sèche, est entièrement consommée dans les deux cas pendant la "grande saison sèche" où il y a même déficit (D).

On peut également vérifier :

a) que $P = Ex + Er$, soit : $2\ 181 = 1\ 100 + 1\ 081$ et $1\ 418 = 304 + 1\ 114$

b) que $Ep = D + Er$, soit : $1\ 204 = 123 + 1\ 081$ ou $90 + 1\ 114$

Mais la méthode qui consiste à prendre la moyenne des excédents Ex pour calculer les précipitations efficaces (Pf) sur les 20 années 1955 à 1974 repose sur l'existence en archives des hauteurs de pluie sur les 240 mois de cette période. Or les observations ont parfois été entreprises très récemment sur nombre de stations, et sur les stations anciennes, une simple lacune de mesure de un mois dans l'année exclut l'utilisation de celle-ci pour le bilan. Une telle lacune est réparable en adoptant la pluviométrie complète d'une année antérieure à 1955, si elle est disponible ; mais, assez souvent, la prise en compte des valeurs de toutes les années complètes des fiches ASECNA aboutit à un total inférieur à 20.

Voici la répartition des résultats réels. Sur 146 fiches, 24 ont été éliminées parce qu'elles ne comportaient pas au moins 3 années avec données complètes sur les 12 mois.

Pour les 122 restantes, dont les résultats figurent sur le tableau ci-après, il est précisé par les lettres :

A	que le bilan pour calcul de Pf porte sur	20 ans (34 cas)
B	" " " " " " "	15 à 19 " (28 cas)
C	" " " " " " "	10 à 14 " (15 cas)
D	" " " " " " "	5 à 9 " (35 cas)
E	" " " " " " "	3 à 4 " (10 cas)

Les 77 stations pour lesquelles le bilan est effectué sur 10 ans et plus étant assez bien réparties sur l'ensemble du Pays, on peut considérer, qu'avec l'appoint des 35 stations où Pf découle d'un bilan de 5 à 9 ans, la carte élaborée est assez représentative. A titre documentaire le tableau ci-après présente les valeurs des précipitations efficaces sur les différentes stations.

2.3.2. - Evaluation de la fraction infiltrée

On détermine indirectement la fraction des précipitations efficaces qui parvient à l'aquifère par deux types de méthode :

- l'étude du réseau naturel de drainage des terrains,
- l'analyse des hydrogrammes des rivières et l'estimation de "l'écoulement souterrain" assimilée à l'écoulement de base.

L'analyse du réseau de drainage implique de travailler sur des cartes détaillées à l'échelle du 1/50 000 à 1/100 000 au minimum ; elle ne saurait être appliquée valablement à l'échelle du 1/1 000 000.

L'analyse des hydrogrammes et l'estimation de la composante "écoulement souterrain" varient selon les auteurs, qui proposent une vingtaine de méthodes, dont beaucoup sont simples mais partiellement subjectives, ou relativement objectives mais complexes d'application.

La construction de diagrammes du débit d'étiage mensuel est en principe facile à mettre en oeuvre. On admet, dans ce cas, que le débit le plus faible du mois correspond exclusivement à une période de vidange de l'aquifère qui traduit donc bien un écoulement souterrain minimal. La moyenne des 12 débits mensuels d'étiage, ou module d'étiage (Me) est comparé, sur une série d'années de mesures, au module interannuel de l'écoulement total (M) ; la fraction $Me \times 100/M$ exprimera (par défaut) le pourcentage de l'écoulement souterrain (Es) par rapport à l'écoulement total, c'est-à-dire le "coefficient d'écoulement souterrain".

Un essai de détermination de ce "coefficient" a été tenté l'an passé sur une quinzaine de bassins versants de rivières appartenant au bassin du fleuve Volta (Ghana et Togo). (B 8)

VALEURS DES PRECIPITATIONS EFFICACES (Pf) SUR
122 STATIONS PLUVIOMETRIQUES DU CAMEROUN

Station	Latitude Nord	Longitude Est	Alt. (m)	Pf (mm)	Durée bilan	Station	Latitude Nord	Longitude Est	Alt. (m)	Pf (mm)	Durée bilan
ABONG M'BANG	3° 38'	13° 12'	694	582	A	MBE	7° 52'	13° 36'	620	702	E
AKONOLINGA	3° 47'	12° 15'	640	487	B	M'BONGUE	4° 33'	9° 05'	20	1 646	E
AMBAN	2° 23'	11° 17'	602	490	A	MBOUDA	5° 37'	10° 15'	1 404	800	C
BABONG	5° 36'	9° 02'	206	1 825	D	MBOURKOUKU	5° 03'	9° 52'	1 100	1 586	B
BAFIA	4° 44'	11° 15'	499	509	A	MEIGANGA	6° 31'	14° 17'	1 027	696	A
BAFOUSSAM	5° 30'	6° 24'	1 410	802	B	MENGEME	4° 03'	12° 15'	650	762	E
BAMBUI	6° 01'	10° 17'	1 520	1 354	A	MERI	10° 47'	14° 07'	580	202	D
BAMENDA	5° 59'	10° 09'	1 618	1 557	B	METET	3° 26'	11° 45'	700	537	C
BAGANGTE	5° 09'	10° 31'	1 340	520	B	MUSSAKA	4° 12'	9° 31'	2	1 436	D
BANYO	6° 45'	11° 49'	1 110	769	A	MISSELELE	4° 07'	9° 27'	10	1 478	D
BATOURI	4° 30'	14° 24'	660	438	A	MOKIO	10° 49'	14° 16'	400	46	E
BENGBIS	3° 27'	12° 25'	680	596	D	MOKUNDANGE	4° 01'	9° 08'	20	3 536	D
BERTOUTA	4° 36'	13° 41'	668	555	A	MOLINE CDC	4° 03'	9° 27'	20	2 507	D
BETARE OYA	5° 36'	14° 05'	805	593	B	MOULOOUNDOU	2° 02'	15° 13'	350	366	C
BOGO	10° 44'	14° 37'	340	68	D	MORA	11° 03'	14° 07'	438	84	B
BOKITO	4° 34'	11° 07'	490	425	D	MOUANKO	3° 39'	9° 50'	5	1 631	B
BOURRAH	10° 15'	13° 31'	775	248	C	MUKONJE	4° 35'	9° 30'	100	1 344	D
DIBOMBARI	4° 10'	9° 39'	52	1 994	D	MUANGAME	2° 39'	11° 45'	700	511	D
DIZANGUE	3° 46'	9° 58'	50	1 933	B	NANGA-EBOKO	4° 41'	12° 22'	624	545	A
DJOM	2° 40'	12° 35'	684	527	D	NDELELE	4° 03'	14° 55'	620	615	D
DOUALA	4° 02'	9° 43'	12	3 268	B	NDIKINIMEKI	4° 46'	10° 46'	830	466	A
DOUKOULA	10° 07'	14° 48'	340	170	A	N'DOM	4° 25'	10° 50'	600	470	B
DOUME	4° 15'	13° 28'	650	365	B	NOOULOU	4° 18'	9° 41'	100	1 343	D
DSCHANG	5° 27'	10° 04'	1 382	987	A	NGAME	4° 23'	10° 37'	650	1 796	A
EBOLOWA	2° 56'	11° 10'	660	833	A	NGAOUNDERE	7° 20'	13° 35'	1 120	702	A
EDEA	3° 48'	10° 08'	32	1 551	A	NGORO	4° 57'	11° 23'	520	477	D
EKONA	4° 13'	9° 21'	380	1 827	E	NGOULEMAKONG	3° 05'	11° 26'	740	662	D
ESEKA	3° 37'	10° 45'	423	1 165	B	NGUELEBOCK	4° 17'	14° 04'	620	428	C
EVODOULA	4° 05'	11° 12'	574	530	B	NJAZENG	2° 31'	10° 54'	350	637	C
FOUMBAN	5° 44'	10° 53'	1 238	903	A	NKOLBISSON	3° 52'	11° 27'	740	587	B
FOUMBOT	5° 30'	10° 38'	1 100	728	B	N'KONDJOCK (MBANG)	4° 52'	10° 15'	500	1 931	B
GALIM	7° 06'	12° 29'	1 120	576	E	NKONGSAMBA	4° 57'	9° 53'	877	1 804	A
GAROUA AERO	9° 20'	13° 23'	249	258	A	NYABESSAN	2° 24'	10° 27'	407	544	C
GOURA	4° 34'	11° 24'	420	404	D	NYANON	4° 15'	10° 57'	450	394	D
GUIOER	9° 56'	13° 57'	356	193	A	NYOMBE	4° 35'	9° 40'	90	1 668	C
IDENAU	4° 14'	9° 00'	20	8 000	E	OBALA	4° 10'	11° 33'	540	354	B
KAELE	10° 07'	14° 27'	370	163	A	OKALA	4° 01'	11° 23'	624	546	D
KAGNOL	4° 06'	14° 31'	611	476	E	OVENG	2° 25'	12° 16'	637	638	E
KENTZOU	4° 08'	15° 02'	504	223	C	PETIT DIMOUM	5° 04'	10° 10'	1 040	2 125	D
KOUNDEN	5° 42'	10° 40'	1 290	1 061	A	POLI	8° 29'	13° 14'	436	621	A
KOUNDJA	5° 37'	10° 45'	1 217	970	A	POUMA	3° 51'	10° 31'	154	996	D
KOUSSERI	12° 05'	15° 02'	295	25	D	SABKAYEME	4° 02'	10° 34'	230	1 201	C
KRATER	4° 02'	9° 11'	80	3 163	D	SANGMELINA	2° 56'	11° 57'	713	634	A
KRIBI	2° 56'	3° 55'	13	1 642	A	SIR	10° 33'	13° 41'	900	256	C
LAM	10° 04'	14° 08'	430	159	A	SOHOK	4° 58'	10° 15'	560	2 134	D
LINKSFLUSS	4° 18'	9° 00'	21	6 920	E	SOLLE	4° 36'	9° 48'	85	1 814	D
LOLDOORF	3° 15'	10° 44'	498	990	A	SOUZA	4° 14'	9° 38'	60	1 270	D
LOMIE	3° 09'	13° 37'	640	611	A	TCHOLLIRE	8° 23'	14° 09'	392	538	B
LOUM	4° 42'	9° 45'	240	2 209	B	TIBATI	6° 27'	12° 37'	874	718	A
MADA	10° 54'	14° 08'	490	225	B	TIGNERES	7° 22'	12° 40'	1 160	539	B
MAKAK	3° 33'	11° 02'	660	796	B	TIKO	4° 05'	9° 22'	15	2 111	C
MAMFE	5° 43'	9° 19'	152	2 134	C	TOLE TEA	4° 08'	9° 15'	670	1 929	D
MANJO	4° 51'	9° 49'	528	2 237	D	TOMBEL	4° 45'	9° 35'	400	2 257	D
MANKIM	5° 01'	12° 00'	606	778	C	TONGA	4° 58'	10° 42'	800	358	D
MANTOUM	5° 39'	11° 09'	700	666	D	YABASSI	4° 27'	9° 59'	40	1 793	B
MAROUA SALAK	9° 36'	14° 21'	405	167	A	YAGOUA	10° 21'	15° 15'	325	147	A
MAYO DARLE	6° 27'	11° 32'	1 200	918	B	YANGBEN	4° 26'	11° 04'	441	380	D
MAYO OULOEME	10° 57'	14° 08'	480	220	D	YAOUNDE	3° 52'	11° 30'	783	586	B
MBAKAOU BARRAGE	6° 18'	12° 47'	850	859	D	YINGUI	4° 31'	10° 19'	200	1 011	B
MBALMAYO ETF	3° 31'	11° 30'	647	534	C	YOKAOUUMA	3° 31'	15° 03'	640	575	A
MBANGA	4° 30'	9° 33'	120	1 221	B	YOKO	5° 34'	12° 22'	1 031	647	A

Malgré des informations de base relativement abondantes et de bonne qualité il n'a pas été possible de définir un coefficient fiable pour quatre grandes catégories de terrains drainés par ces rivières : des grès, des marnes gréseuses, des schistes cristallins et quartzites, des granitoïdes au sens large.

Des recherches méthodologiques expérimentales seraient donc nécessaires pour progresser dans ce domaine ; elles impliqueraient probablement des moyens assez importants sur une durée assez longue.

A défaut de valeurs représentatives déductibles de mesures, on est donc amené à évaluer la fraction de Pf qui s'infiltré dans les divers terrains pour élaborer la carte des ressources renouvelables.

Les auteurs qui ont eu à faire ce choix ont des avis très divergents qui s'expliquent en grande partie par une différence de conception sur les "temps de réponse" à prendre en compte. Certains d'entre eux pensent que les altérites recouvrant les deux grandes "familles" de terrains cristallins, les granitoïdes et les schistes (au sens large) ne présentent pas de grandes différences vis à vis de l'infiltration. Après saturation de la tranche superficielle par les premières pluies importantes, l'infiltration vers la nappe se ferait dans des conditions relativement identiques. Dans les deux cas l'eau écoulée dans la rivière aurait transité en grande partie par le terrain, soit 80 à 90 % en plaine et 60 à 75 % en zone montagneuse.

D'autres auteurs adoptent des pourcentages d'infiltration de Pf beaucoup plus faibles, de l'ordre de 5 à 10 %. Ils distinguent les altérites des granites de celles des schistes : dans le Massif Armoricaïn en France, les hydrogrammes des rivières à bassin schisteux indiqueraient un ruissellement accusé, pendant et immédiatement après les pluies, suivi d'un tarissement rapide ; les arènes granitiques fourniraient des débits d'étiage 5 à 10 fois plus élevés que les altérites de schistes.

Pour le Cameroun, il nous est apparu relativement illusoire de diversifier à l'excès les pourcentages de Pf infiltrés en fonction de la lithologie. C'est pourquoi la détermination des ressources renouvelables a été faite à partir de quatre coefficients qui, soulignons le, ont une signification de moyenne probable :

- . 25 % de Pf pourraient s'infiltrer dans les formations schisteuses du Précambrien A et C : la série du Dja inférieur, dans laquelle les schistes alternent avec des grès quartzitiques, des tillites et des calcaires, les séries de Poli du Lom, du Nyong et Dja supérieur,
- . 33 % de Pf s'infiltreraient dans les roches du Complexe de base (Précambrien D) : granites, gneiss, migmatites... et dans les roches éruptives diverses : granites, syénites, dolérites, gabbros, etc...
- . 50 % de Pf s'infiltreraient en moyenne dans les terrains des bassins sédimentaires : sables, grès, alluvions ou éluvions plus ou moins mélangés d'argillites et limons,
- . 75 % de Pf pourraient enfin pénétrer dans les fissures et les vides des roches volcaniques récentes où les basaltes et leur cortège de produits pyroclastiques prédominent.

La zonation des ressources renouvelables a été faite en prenant la valeur moyenne des précipitations efficaces entre deux courbes successives, valeur qui a été affectée de l'un des coefficients ci-dessus, selon le terrain affleurant. Par exemple, entre les courbes de Pf 1 000 et 1 500 mm, la moyenne est de 1 250 mm.

En terrains schisteux, $1\ 250 \times 0,25 = 312,5$ mm correspond à la classe des ressources renouvelables 200 à 400 mm ; on aurait de même :

- pour le Complexe de base et les roches éruptives :
 $1\ 250 \times 0,33 \approx 417$ mm, c'est-à-dire entre 400 et 600 mm,
- pour les terrains des bassins sédimentaires :
 $1\ 250 \times 0,5 = 625$ mm, soit entre 600 et 800 mm,
- pour les terrains volcaniques :
 $1\ 250 \times 0,75 \approx 940$ mm, soit entre 800 et 1 000 mm.

2.4. - AQUIFERES DISCONTINUS

2.4.1. - Faciès lithostratigraphiques

Les aquifères discontinus sont identifiés par six faciès lithologiques sur la feuille 1. Les figurés choisis conviennent pour une carte de synthèse où l'on souhaite distinguer des ensembles et non des formations parfaitement individualisées, différenciables seulement sur des cartes à grande échelle. Ils tendent néanmoins à évoquer la formation prédominante de chaque ensemble telle qu'elle est classiquement représentée.

Les contours proviennent en majeure partie de deux cartes géologiques à l'échelle du 1/1 000 000 :

- la carte géologique du Cameroun publiée en 1956 avec sa notice explicative (B 20),
- la carte géologique de l'Ouest du Cameroun et de l'Adamaoua publiée en 1977, qui complète et précise la précédente sur une partie du Pays (B 24).

D'autres documents récents ont été également utilisés pour obtenir plus d'exactitude sur la géologie du Cameroun et en particulier sur les principaux bassins sédimentaires (B 5, 41, 46, 47, 53, 58, 59, 60).

Pour les aquifères généralisés peu connus, d'extension limitée, faute d'informations permettant de définir les réserves exploitables, la productivité et le coût de l'eau décrits plus loin, une série de petits bassins sédimentaires ont été traités comme des aquifères discontinus. Il est vraisemblable que leur reconnaissance par géophysique et par forages dans le futur montrera qu'il est possible d'y capter des eaux souterraines avec des débits nettement supérieurs à ceux que l'on obtient généralement dans la tranche altérée surmontant les roches du socle cristallin.

Mentionnons en particulier les bassins crétacés dans lesquels prédominent les formations continentales avec quelques épisodes marins :

bien que les argilites y soient souvent abondantes on y rencontre des couches de sables, de grès et de conglomérats favorables à l'emmagasinement de l'eau. Le remplissage de fossés d'effondrement, généralement limités d'un côté par faille, a permis le dépôt des sédiments sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur dans la majorité des cas. Citons entre autres les unités entourant le bassin de Garoua et l'Adamaoua, les bassins d'Hama-Koussou, de Babourifiguil, de Mayo Oulo, de Koum, de Kontcha (Kankbé), de Sora-Mboum, de la Mbéré et du Djerem.

Dans le Sud-Ouest, en dehors du bassin de Douala, il faut citer son prolongement à l'Ouest du Mont Cameroun, le bassin de Bamusso, qui se rattache par ailleurs au bassin Négérien du Biafra. Nous n'avons aucune coupe de forage dans le bassin de Bamusso, mais les observations des géologues pétroliers de la SEREPCA montrent que les grès de la base et le Miocène sableux doivent constituer de bons aquifères.

A environ 200 km au Nord, le bassin de Mamfé est constitué de sédiments continentaux grès-argileux du Crétacé susceptibles de contenir de l'eau. Il s'y ajoute probablement des sédiments lagunaires à évaporites puisque l'eau de certaines sources renferme plusieurs dizaines de grammes de sels par litre.

Mentionnons pour mémoire quatre petits bassins crétacés dans le prolongement de celui de Mamfé au Sud-Est, et dans l'extrême Sud-Ouest du Pays, le petit bassin littoral de Campo.

Outre ces petits bassins sédimentaires, il convient de souligner les caractéristiques hydrogéologiques particulières des épanchements volcaniques, qui s'étalent sur 25 000 à 26 000 km² dans l'Adamaoua et le Sud-Ouest du Pays. Si les aiguilles trachytiques et certains amas de rhyolites, d'andésite ou même de basaltes sont parfaitement compacts, donc imperméables dans la masse, une grande partie des affleurements consistent en basaltes fracturés, accompagnés de produits de projection de granulométrie extrêmement variée, allant des blocs aux cinérites, de scories, de tufs, etc... Ces produits pyroclastiques et laves très fracturées représentent statistiquement un pourcentage important des roches volcaniques cartographiées. Or les vides de dimensions diverses confèrent à ces terrains une porosité d'interstices ou de canalicules parfois très développée ; l'eau peut s'y accumuler et y circuler très facilement vers les puits de captage, qui atteignent alors une productivité exceptionnelle comme en témoignent les débits spécifiques des forages n° 109 à 111, effectués au pied du Mont Cameroun, à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de Victoria.

2.4.2. - Ouvrages de référence

Les puits ou forages sont assez nombreux dans le Nord du Pays, alors qu'au Sud de l'Adamaoua les villes et villages utilisent surtout l'eau superficielle prélevée dans les rivières permanentes -ou stockée dans une retenue comme à Yaoundé- et distribuée après traitement.

Dans le Nord, il existe probablement plus de 1 000 puits en terrains cristallins ; mais faute de rapports synthétisant les résultats des inventaires de points d'eau dans ce domaine il n'a pas été possible de répertorier ici les quelques dizaines de puits ou forages les plus représentatifs et comportant en particulier des pompes d'essai.

Au cours des prochaines années, on peut en revanche espérer une telle synthèse si les comptes rendus des campagnes de forages récents ou projetés renferment les données indispensables.

La liste des 11 points d'eau en aquifères discontinus en 2ème partie de cette notice présente, à titre indicatif, 7 forages et 4 puits reportés sur la coupure nord de la feuille 1. Les 5 premiers points proviennent d'un rapport du PNUD (B 47), les n° 6 et 7 d'un rapport BRGM (B 50) et les n° 8 à 11 sont extraits d'une liste préparée par la Division N-E Bénoué, Mission d'Aménagement de la vallée supérieure de la Bénoué, convention FED n° 1159/CA.

On pourra rattacher à cette première liste le deuxième tableau annexé, caractérisant 11 forages, numérotés de 101 à 111, qui figurent également sur la feuille n° 1. Il s'agit d'ouvrages de reconnaissance hydrogéologique sur les aquifères généralisés peu connus et d'extension limitée, évoqués au paragraphe 2.4.1. (B 57 et B 60).

2.5. - AQUIFERES GENERALISES

Les aquifères généralisés partiellement reconnus se trouvent dans trois bassins sédimentaires :

a) entre les 10e et 13e parallèles, le Bassin du Lac Tchad couvre au Cameroun une superficie d'environ 19 800 km² (voir la carte d'extension des aquifères, feuille n° 2 et les coupes A B et C D, feuille n° 1). Il comprend de haut en bas :

a.1) la nappe des terrains quaternaires. Comme l'intitulé le suggère, la roche magasin varie d'un secteur à l'autre. A l'Ouest, arènes à peine déplacées, dépôts de piémont et alluvions actuelles constituent des lentilles perméables aux caractéristiques géométriques et hydrauliques hétérogènes. A l'Est, les sédiments transportés sur une plus grande distance sont généralement plus fins et mieux classés mais les corrélations verticales des couches sableuses recoupées par les forages sont souvent difficiles d'un point à un autre.

a.2) La nappe des sables du Pliocène inférieur s'étend sur 14 800 km². Les coupes schématiques A B et C D montrent que sous 10 à 250 m et plus de couches essentiellement argileuses, les sables aquifères -qui admettent une proportion variable d'argile- ont 40 à 80 m de puissance.

a.3) La nappe des grès argileux du Continental Terminal couvrirait une surface de l'ordre de 15 000 km² au Cameroun. Entre les sables du Pliocène inférieur et le socle, généralement, les forages recoupent 200 à 400 m d'argiles et grès continentaux en couches discontinues ; les grès renferment de l'eau douce.

a.4) au-dessous de ces deux nappes profondes ascendantes, voire artésiennes dans la région septentrionale, il existe deux "fosses" dans lesquelles d'autres dépôts grès-argileux du Continental hamadien ou du Continental intercalaire pourraient être aquifères sur un millier de km².

b) le bassin sédimentaire de Garoua est grossièrement encadré par les méridiens $12^{\circ} 50'$ et $14^{\circ} 15'$ et par les parallèles $8^{\circ} 30'$ et $9^{\circ} 30'$ N. Allongé dans le sens O N O - E S E, il est constitué de grès et argiles continentaux du Crétacé supérieur affleurant sur $7\ 800\text{ km}^2$ et traversés par des remontées nombreuses de trachytes et trachy-andésites, au Sud-Ouest de Garoua particulièrement.

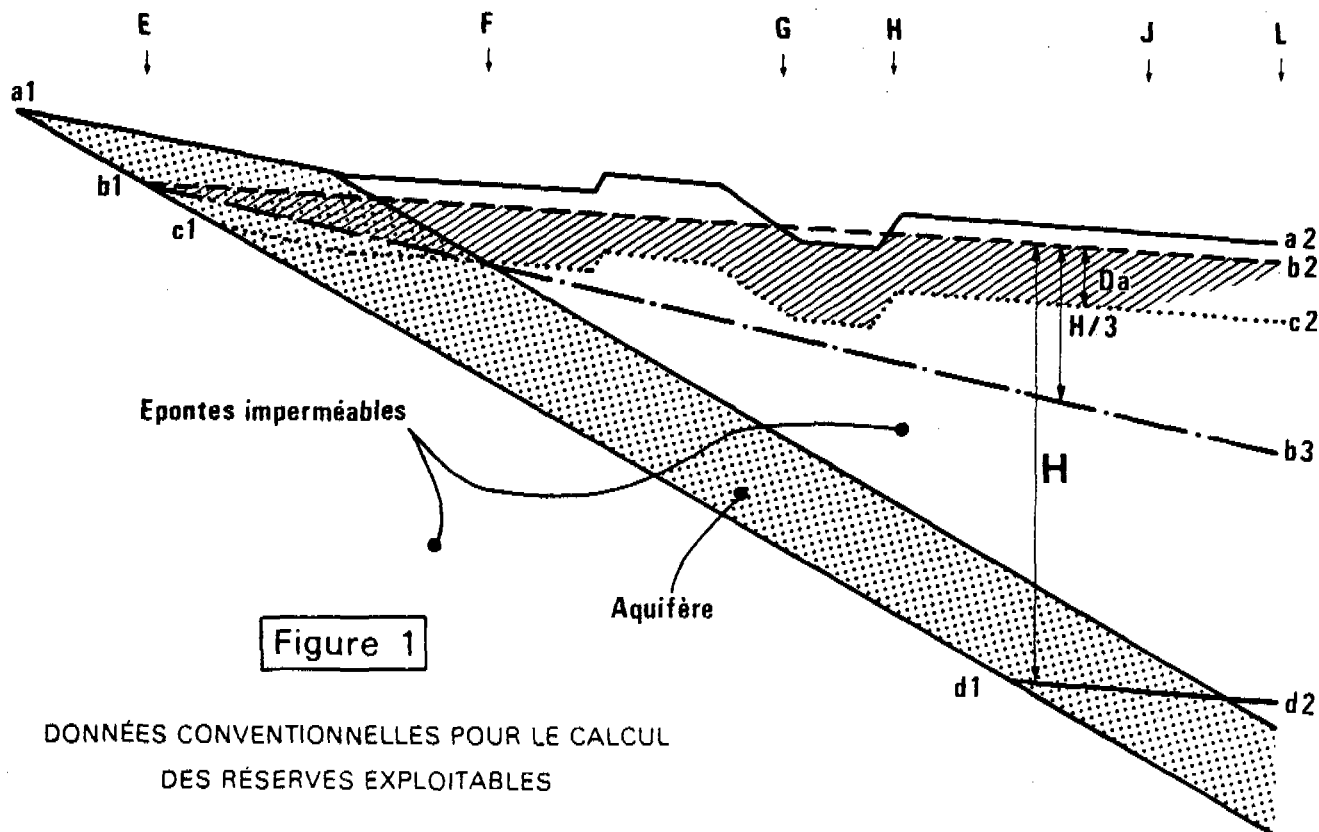
Recoupés à Garoua par le forage S 10 (n° 258 du tableau 3 annexé) qui n'a pas touché le socle à 402 m de profondeur, ces grès argileux aquifères pourraient atteindre 600 à 700 m de puissance maximale (voir la coupe E F, feuille n° 1).

c) le bassin côtier de Douala (voir coupe G H, feuille n° 1) a été comblé par 5 000 à 6 000 m de sédiments. Sauf en bordure immédiate de l'océan où le sel se manifestera à quelques dizaines de mètres sous le niveau de la mer, des couches sableuses ou gréseuses envahies par l'eau douce sont exploitables par forages sur plusieurs centaines de mètres de profondeur dans une grande partie des $7\ 000\text{ km}^2$ du bassin. Des terrains les plus anciens aux plus récents, il s'agit surtout :

- des grès de base (Crétacé inférieur à moyen ?) reposant directement sur le socle,
- des sables du Paléocène spécialement développés dans la zone externe du bassin,
- des sables du Mio-Pliocène,
- des couches sableuses du Quaternaire.

2.5.1. - Réserves exploitables

La réserve exploitable d'un aquifère correspond au volume d'eau que l'on peut y prélever dans des conditions économiques réalistes ; elle dépend, en tous points, du coefficient d'emménagement (S) de l'aquifère et du rabattement admissible (D_a) sur le puits de captage. La figure 1 ci-dessous illustre les conventions adoptées :



DONNÉES CONVENTIONNELLES POUR LE CALCUL
DES RÉSERVES EXPLOITABLES

- les forages d'exploitation sont complets, c'est-à-dire approfondis jusqu'à la base a1 - d1 de l'aquifère ; ils ne dépassent pas 600 m de profondeur (limite d1 - d2) sous la surface du sol (a1 - a2),
- dans ces forages la hauteur d'eau H est égale à la distance verticale entre le niveau piézométrique au repos b1 - b2 et le fond de l'ouvrage situé sur b1 - d1,
- au cours du pompage, le niveau dynamique (nd) ne doit pas dépasser 100 m sous la surface du sol (ligne C1 - C2) ; Da est donc limité de ce fait et en outre il ne doit pas dépasser H/3 (ligne b1 - b3).

La surface hachurée du croquis indique les limites de Da, qui est par ailleurs volontairement réduit en bordure de la plaine littorale pour éviter l'invasion saline. Sur le profil, entre E et F, Da = H/3 ; entre F et J, Da est limité par nd = 100 m sous le sol, mais Da dépasse 100 m dans la zone d'artésianisme G - H ; entre J et L, Da diminue à l'approche du littoral.

En nappe libre, le coefficient d'emmagasinement S est équivalent à la porosité efficace du terrain, comprise généralement entre 1 à 20 %.

En nappe captive, le coefficient d'emmagasinement à considérer est celui qui intervient après une exploitation de longue durée. Le coefficient S, déterminé par l'interprétation des résultats d'un pompage d'essai classique de quelques dizaines d'heures, se révèle, dans ce cas, de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-3} .

Mais après une durée de pompage d'exploitation suffisante, et selon la structure et les dimensions de l'ensemble constitué par l'aquifère et ses épontes, deux phénomènes pourront contribuer à ralentir l'évolution du rabattement donc à accroître la valeur réelle de S à prendre en compte, par rapport à sa valeur apparente immédiate :

- libération progressive d'une fraction de l'eau contenue dans les couches argileuses, s'accompagnant de leur tassement (aquifères semi-captifs avec phénomène de drainance),
- participation de la partie libre de la nappe, et/ou dénoyage partiel de la couche aquifère initialement captive.

Les cartes de réserves exploitables indiquent les deux termes du calcul retenu pour chaque nappe :

- la profondeur de l'eau et la hauteur H sont évaluées pour calculer Da selon les règles conventionnelles,
- S moyen est estimé au mieux sur chaque aquifère en tenant compte des coefficients déduits des pompages d'essai effectués localement sur des terrains similaires ; en adoptant un S moyen différent, la réserve par km² serait modifiée dans les différentes zones, sans changement de l'écart relatif entre chacune d'elle.

2.5.2. - Productivité

La productivité des aquifères figurée sur la feuille n° 2 représente, par zones homogènes, un ordre de grandeur du débit journalier exploitable par un puits ou un forage correctement exécuté. Cette productivité journalière, probable initialement, ne prend pas en compte les modifications notables susceptibles d'affecter ultérieurement l'ouvrage ou la nappe ; elle diminuerait par exemple, sous l'effet d'un colmatage de la colonne captante ou d'un abaissement de niveau piézométrique, lié à l'épuisement de la réserve ou aux influences réciproques de forages trop rapprochés.

Les caractéristiques principales de l'ouvrage type sont les suivantes :

- il recoupe l'ensemble des couches perméables jusqu'à la base de l'aquifère : il s'agit donc d'un forage complet, dont la profondeur est toutefois limitée à 600 mètres par convention,
- il est foré, tubé et crépiné sur des longueurs et diamètres suffisants pour que le débit nécessaire puisse y entrer et parvenir à la pompe sans pertes de charge appréciables,
- la surface d'ouverture des crépines, largement calculée, et le développement bien conduit favorisent au maximum la production d'eau sans transport de produits solides.

Comme la légende le rappelle, la productivité d'un forage dépend directement de son débit spécifique, Q_s , et du rabattement maximal admissible, D_a .

Le débit spécifique est lui-même conditionné par la transmissivité locale de l'aquifère et D_a est choisi à l'intérieur des limites déjà adoptées pour élaborer les cartes de réserves exploitables au § 2.5.1.

Les listes de points d'eau en aquifères généralisés, annexées, donnent les caractéristiques des principaux ouvrages utilisées pour établir les cartes de productivité. Chaque fois que le renseignement était disponible, la longueur et le diamètre de la crépine ont été indiqués.

Sur de nombreux forages en effet, l'aquifère a été capté très partiellement avec quelques mètres de crépine de faible diamètre. Le débit spécifique obtenu sur ces forages le plus souvent incomplets, n'est donc pas représentatif des possibilités locales réelles de l'aquifère. Partant du contexte hydrogéologique, c'est-à-dire de l'épaisseur et de la nature des couches favorables décrites dans la coupe géologique, la productivité probable a été évaluée. De même, dans les secteurs dénués de forages, les informations les plus proches ont été extrapolées en estimant les variations probables de faciès et d'épaisseur des couches poreuses ainsi que la profondeur de l'eau et du substratum imperméable.

Soulignons le degré très élevé d'extrapolation auquel nous avons été contraints pour élaborer ces cartes de productivité, qui sont plus exactement des esquisses.

a) Sur la nappe du Pliocène inférieur du bassin du Lac Tchad l'essai effectué à Yagoua sur le forage n° 230 est le seul qui soit relativement représentatif, compte tenu des 21 mètres de hauteur crépinée en

diamètre malheureusement trop faible ; un pompage à plusieurs débits eut permis d'améliorer la connaissance des caractéristiques de l'aquifère.

b) Sur la nappe des grès argileux du bassin de Garoua

le débit spécifique est bien connu dans le secteur de la ville de Garoua grâce aux essais effectués sur les nombreux forages de la ville (voir entre autres les points n° 250 à 258). Encore convient-il de remarquer que les forages exploités ont 40 à 85 mètres de profondeur alors que la base des grès dépasse localement 400 mètres ; il est certain que des forages plus profonds, crépinés au droit des horizons les plus transmissifs, révéleraient une productivité plus élevée pour la totalité de l'aquifère.

Les forages de reconnaissance exécutés en 1966-67 sur financement FED, par le bureau d'études Wakuti (Allemagne Fédérale) fournissent de précieux renseignements géologiques sur l'ensemble du bassin. Le niveau piézométrique et la qualité chimique de l'eau sont généralement précisés, mais les rares pompages d'essai en cours de foration ne donnent aucune indication sur la productivité globale des couches perméables traversées.

c) Sur le bassin de Douala

les informations sont actuellement plus rares que dans les deux autres bassins. Le forage n° 270 est pratiquement le seul, parmi les quelques forages de la ville de Douala sollicitant la nappe du Quaternaire, pour lequel nous disposons des résultats complets de pompages d'essai, qui ont permis de calculer :

$$T \approx 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{et} \quad S \approx 7 \times 10^{-4}$$

Sur le forage de reconnaissance n° 271 un captage très partiel des grès de base révèle une transmissivité de $2 \text{ à } 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ cohérente avec le débit spécifique de $0,88 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ calculé. Il est extrêmement vraisemblable que le débit spécifique soit au moins 4 ou 5 fois plus grand si l'ouvrage sollicitait, sans perte de charge, toutes les couches les plus perméables de la formation.

La productivité a été estimée, essentiellement d'après les données lithologiques et structurales déduites des forages de prospection pétrolière de SEREPCA et de GULF-OIL, pour les forages PN IX (Pungo IX) et Ms IX (Miselle IX) en évaluant successivement :

- la nature et l'épaisseur des horizons aquifères captables économiquement en divers points du bassin,
- la piézométrie et le rabattement admissible probables en ces mêmes points.

L'esquisse géologique à 1/500 000 ci-jointe et la coupe schématique EF montrent la disposition générale des diverses formations parmi lesquelles les 3 aquifères principaux : grès de base, sables paléocènes et sables du Mio-pliocène considérés successivement d'Est en Ouest conditionnent le dessin de la carte de productivité.

Quatre classes de productivité ont été choisies identiques sur les nappes du bassin de Douala et du Tchad :

- A : productivité inférieure à 1 000 m³/jour
- B : " comprise entre 1 000 et 2 000 m³/jour
- C : " " " 2 000 et 4 000 m³/jour
- D : " " " 4 000 et 6 000 m³/jour
- E : " supérieure à 6 000 m³/jour
(qui a été ajoutée sur le bassin de Douala).

Pour la nappe des grès de Garoua les classes A et B ci-dessus ont été également adoptées et l'on a retenu ensuite :

- C1 : productivité comprise entre 2 000 et 3 000 m³/jour
- C2 : productivité supérieure à 3 000 m³/jour.

La zonation relativement régulière qui apparait sur les cartes reflète l'imprécision des données qui devraient être améliorées dans l'avenir par les observations sur les futurs forages.

Cette remarque concerne particulièrement le bassin de Douala dont l'esquisse géologique présentée figure 2 permettra de mieux comprendre les cartes de productivité et de coût de l'eau.

2.5.3. - Minéralisation de l'eau

Sur les cartes de productivité il était prévu d'indiquer les secteurs où la minéralisation de l'eau souterraine est égale ou supérieure à 1 gramme de sels par litre.

Les résidus secs reportés en dernière colonne des listes de points d'eau montrent que les eaux analysées n'atteignent pas une telle salinité.

La nappe du Pliocène inférieur et même celle du Continental terminal du bassin du Lac Tchad titrent 300 à 600 mg/l au Cameroun ; au Nord du Lac pour les forages tchadiens de la FAD, captant la même nappe, on peut déduire de la conductivité, les résidus secs ci-après :

850 mg/l	sur le forage Ngouri 2	testé à 282 m	de profondeur
1 108 mg/l	sur le forage Rig Rig 2	" 501 m	"
1 404 mg/l	sur le forage Baga-Sola	" 475 m	"

La nappe des terrains quaternaires est douce très généralement, y compris à proximité du Lac dont l'eau titrait 301 mg/litre en saison sèche (B 41). Au Nord du parallèle de Kousséri, les analyses d'eau de puits peu profonds révèlent toutefois des teneurs parfois supérieures à 1 g/litre, signe probable d'une concentration locale par évaporation en saison sèche dans des lentilles de faible extension, isolées de l'aquifère principal plus profond.

L'eau prélevée sur les forages captant la nappe des grès de Garoua est douce ou très douce puisque la salinité varie entre 40 et 350 mg/litre. Cette gamme de valeurs s'applique aussi à l'eau des puits

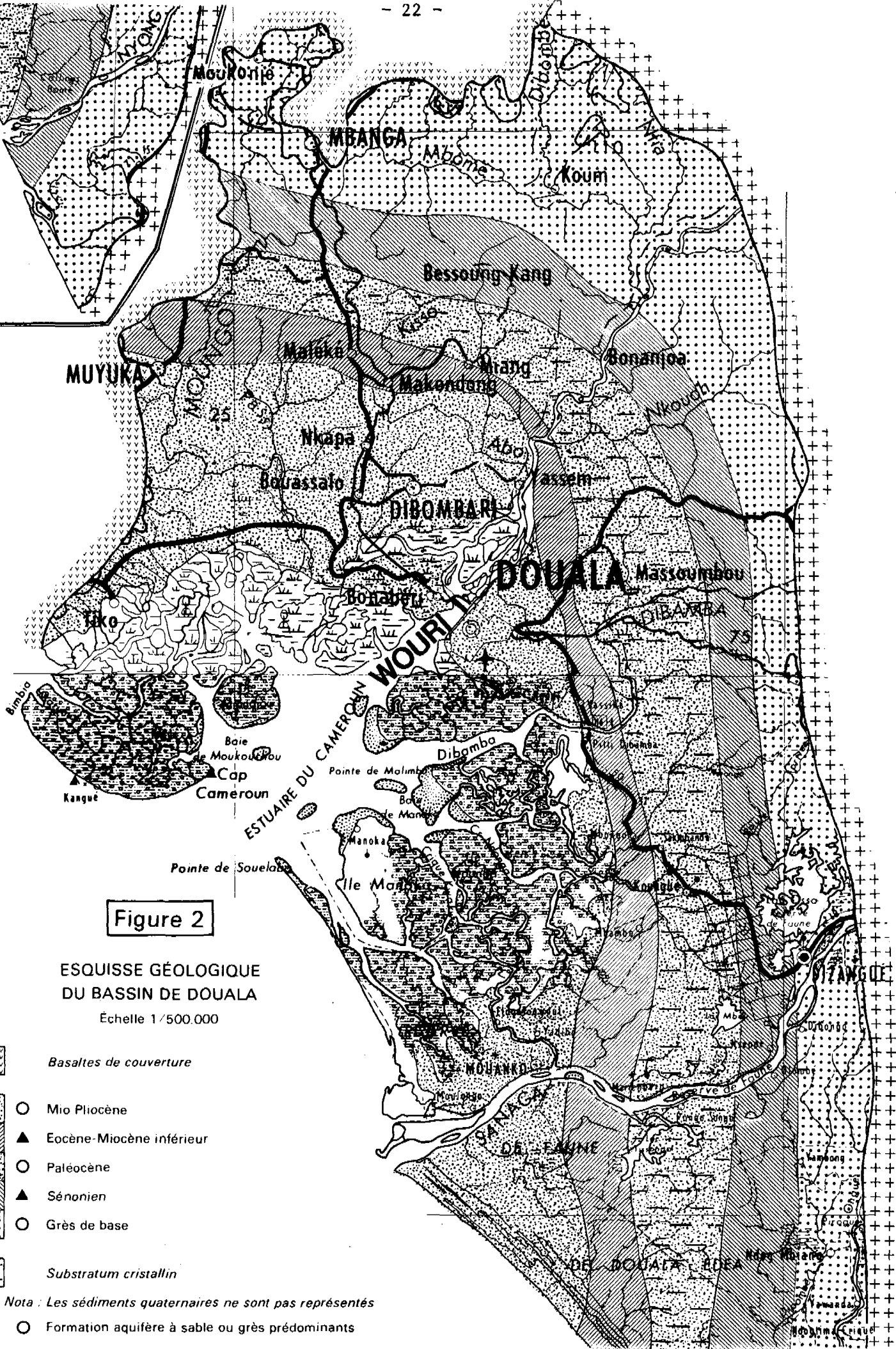











Figure 2

ESQUISSE GÉOLOGIQUE
DU BASSIN DE DOUALA
Echelle 1/500.000

-  Basaltes de couverture
-  ○ Mio Pliocène
-  ▲ Eocène-Miocène inférieur
-  ○ Paléocène
-  ▲ Sénonien
-  ○ Grès de base
-  ++++ Substratum cristallin

Nota : Les sédiments quaternaires ne sont pas représentés

-  ○ Formation aquifère à sable ou grès prédominants
-  ▲ Formation à prédominance argileuse

Voir suite en haut, à gauche

contrôlée sur plusieurs centaines de points par Wakuti ; les teneurs maximales apparaissent à l'extrême Sud-Est du bassin, dans la région de Rey Bouba, avec 720, 750 et 920 mg/litre.

A Douala, l'eau des sables quaternaires titre 30 à 50 mg de sels par litre ; celle des grès de base convient nettement mieux à l'alimentation humaine avec 220 mg/litre.

Les diagraphies effectuées sur les forages pétroliers confirment la présence d'eau douce à plusieurs centaines de mètres sous la surface du sol ; dans la mesure où l'on évitera des prélèvements ponctuels très élevés à faible distance du littoral océanique, la qualité chimique de l'eau des futurs puits et forages sera satisfaisante.

2.5.4. - Ouvrages de référence

Parmi les forages exécutés dans les aquifères généralisés ceux dont les caractéristiques plus ou moins nombreuses pouvaient être utiles à la connaissance - même partielle - des nappes, ont fait l'objet de tableaux placés en fin de notice et dans lesquels ils sont regroupés par bassins ; ils sont signalés par leur numéro sur la feuille n° 2.

Aux 71 points retenus nous ajoutons, pour le bassin de Douala, la position de 46 sondages de reconnaissance géologique ou de recherche pétrolière réalisés par SEREPCA (44) et GULF-OIL (2) : 6 sont reportés sur la carte à 1/500 000 en feuille 2 et les 40 restants, parfois très rapprochés, sont signalés sur la figure 3 ci-après (fond de carte à 1/200 000).

Les renseignements énumérés dans les 13 colonnes des tableaux sont brièvement explicités ci-dessous :

- Colonne 1

Le numéro de classement des points d'eau en aquifères généralisés commence à 201 pour une distinction facile avec les points d'eau en aquifères discontinus dont les numéros sont inférieurs à 100, et avec les points d'eau en aquifères généralisés peu connus et d'extension limitée et dont les numéros sont compris entre 100 et 200.

- Colonne 2

La désignation de l'ouvrage est celle mentionnée dans le document consulté : agglomération la plus proche, symbole utilisé par l'auteur du rapport pour une reconnaissance ou par l'exploitant.

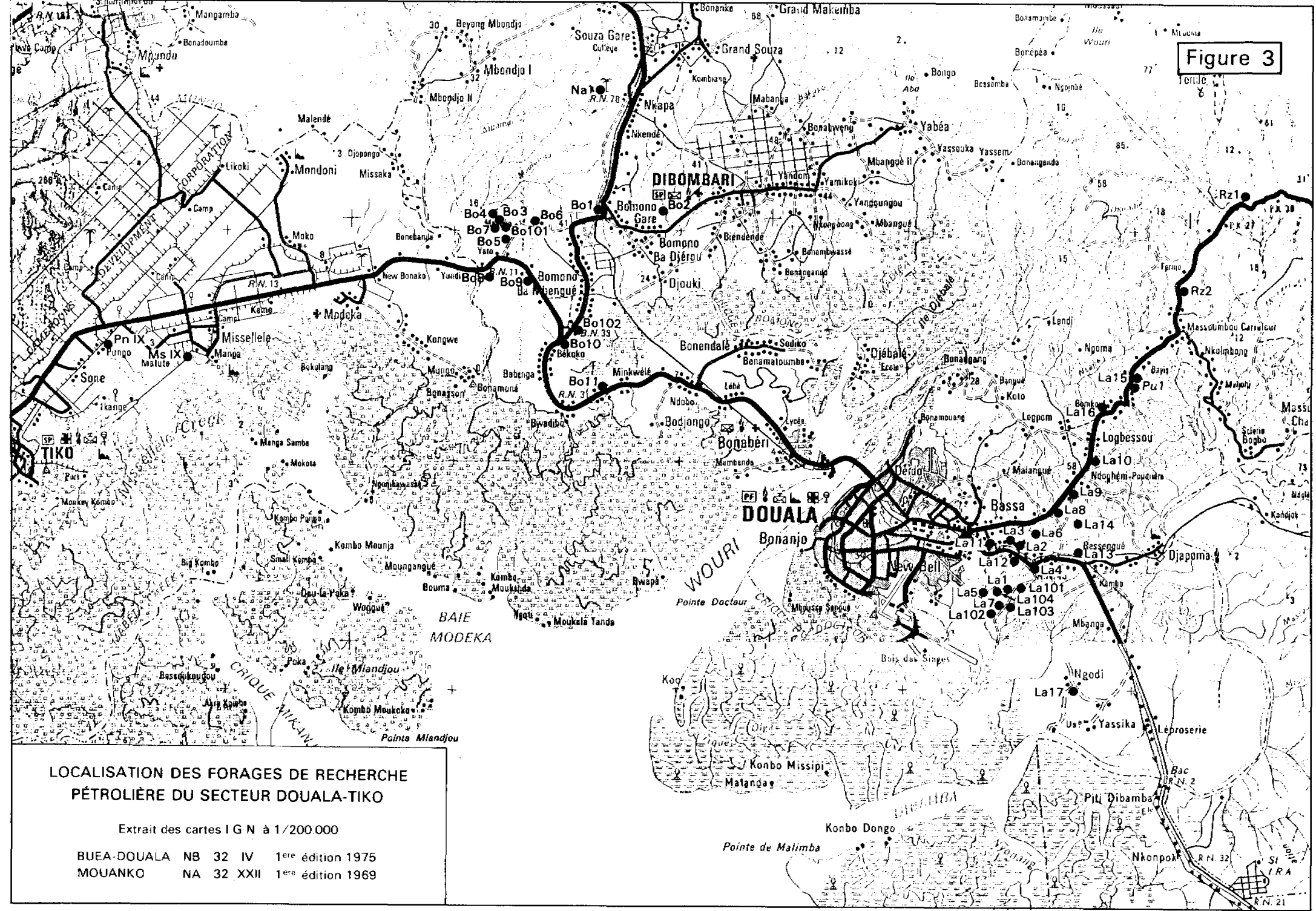
- Colonnes 3 à 5

L'altitude du sol est donnée par rapport au niveau de la mer ; la profondeur totale du forage et la profondeur de l'eau au repos (niveau piézométrique) sont prises par rapport au niveau du sol.

- Colonne 6.

Il est nécessaire de noter que le débit indiqué à la colonne 7 résulte d'un pompage ou d'une mesure d'écoulement artésien sur un forage crépiné et de préciser la longueur et le diamètre de la crépine qui conditionnent la représentativité du débit spécifique.

Figure 3



**LOCALISATION DES FORAGES DE RECHERCHE
PÉTROLIÈRE DU SECTEUR DOUALA-TIKO**

Extrait des cartes I G N à 1/200.000

BUEA-DOUALA NB 32 IV 1ère édition 1975
MOUANKO NA 32 XXII 1ère édition 1969

- Colonne 7

Le débit d'essai le plus représentatif s'il y en a plusieurs, est donné en m^3/h .

- Colonne 8

Le rabattement, en mètres, est la différence entre la profondeur de l'eau après une certaine durée de pompage à débit stable et la profondeur de l'eau au repos ; la durée de pompage est presque toujours inconnue.

- Colonne 9

Le débit spécifique, en $m^3/h/m$, correspond au quotient du débit en m^3/h , par le rabattement en m.

- Colonne 10

La hauteur d'eau H, dans le forage complet, est calculée par différence entre la profondeur de la base de l'horizon aquifère et la profondeur de l'eau au repos.

- Colonne 11

Le rabattement admissible, D_a , est calculé selon les règles conventionnelles du § 2.5.1.

- Colonne 12

La classe de productivité est symbolisée par les lettres A, B, C, etc... définies au §2.5.2. La lettre placée entre parenthèses est estimée plus représentative de la réalité qu'une déduction directe faite à partir des chiffres des colonnes 11 et 9. Voici un exemple : le débit spécifique obtenu sur un forage recoupant 60 m de sables aquifères, mais crépinés sur 2 m seulement est de $1 m^3/h/m$; on peut estimer que $5 m^3/h/m$ seraient beaucoup plus proches de la réalité. Si $D_a = 45 m$, la productivité déduite serait : $45 \times 1 = 45 m^3/h = 900 m^3/jour$ en 20 heures de pompage, ce qui suppose la classe $A < 1\ 000 m^3/jour$. On obtiendrait en fait plus probablement :

$$45 \times 5 = 225 m^3/h = 4\ 500 m^3/jour (= 4\ 000 \text{ à } 6\ 000 m^3/jour)$$

et l'on indiquera (D) en colonne 12.

- Colonne 13

Le résidu sec de l'eau, en mg/l, est pris tel quel dans la documentation ou déduit de la résistivité ou de la conductivité ; en exprimant à $20^\circ C$ la résistivité ρ en $\Omega \times cm$ et la conductivité C en $\mu mho/cm$, le résidu sec, en mg/l, sera approximativement égal à :

- $850\ 000/\rho$ si $\rho < 100$, ou $0,85 \times C$ si $C > 10\ 000$
- $759\ 000/\rho$ si $100 < \rho < 1\ 200$, ou $0,759 \times C$ si $830 < C < 10\ 000$
- $716\ 000/\rho$ si $1\ 200 < \rho < 3\ 000$, ou $0,716 \times C$ si $330 < C < 830$
- $770\ 000/\rho$ si $3\ 000 < \rho < 6\ 000$, ou $0,77 \times C$ si $170 < C < 330$
- $948\ 000/\rho$ si $6\ 000 < \rho < 20\ 000$, ou $0,948 \times C$ si $50 < C < 170$
- $1365\ 000/\rho$ si $> \rho\ 20\ 000$, ou $1,365 \times C$ si $C < 50$

2.5.5. - Coût de l'eau

Le coût moyen du m³ d'eau souterraine est esquissé sur la feuille 2 en T2, G2 et D2. Il est déterminé conformément aux hypothèses exposées ci-dessous sur les aquifères dont la productivité a été préalablement définie.

Les chiffres avancés ne sauraient être considérés comme rigoureux, d'autant plus que les documents de base dont ils proviennent sont eux-mêmes fortement extrapolés à partir de quelques données ponctuelles très dispersées : ils représentent seulement certaines tendances auxquelles les aménageurs pourront se référer.

La méthodologie utilisée ici s'inspire de celle qui a été élaborée antérieurement pour des études analogues (B 8 et B 11).

Le coût moyen du m³ d'eau résulte de deux types de dépenses :

- les dépenses d'investissement et d'entretien pour les ouvrages de captage et le matériel de pompage,
- les dépenses d'énergie pour actionner les pompes.

Dépenses d'investissement et d'entretien

Ces dépenses comprennent trois postes :

- le forage livré prêt pour l'exploitation (a)
- la pompe et ses accessoires (b)
- le moteur et ses accessoires. (c)

a) Le coût du forage résulte de frais variables, présentés en premier et de frais fixes exposés ensuite.

Toutes les évaluations relatives au forage supposent que l'entrepreneur est chargé d'exécuter une campagne de 10 forages au minimum, chaque forage étant éloigné du suivant de 10 km au plus.

Dans un souci d'uniformisation, on a admis que l'ouvrage était un forage produisant 20 heures par jour et 360 jours par an les débits ci-après :

- 25 m³/heure dans les plages de productivité de catégorie A, c'est à dire inférieure à 1 000 m³/jour
- 75 m³/heure dans les plages B (1 000 à 2 000 m³/jour)
- 150 m³/heure " " " C (2 000 à 4 000 m³/jour)
- 250 m³/heure " " " D (4 000 à 6 000 m³/jour)
- 325 m³/heure " " " E (>6 000 m³/jour).

A titre d'exemple, dans le bassin de Garoua, les débits unitaires les plus élevés sont :

- 125 m³/h dans les plages C1 (2 000 à 3 000 m³/jour)
- 175 m³/h dans les plages C2 (> 3 000 m³/jour).

Tous les forages pris en compte dans le calcul du coût de l'eau sont par hypothèse complets : leur équipement se compose d'une colonne de pompage (Cp) en "casing" API, entièrement cimentée, et d'une colonne (Cc) de crépines à nervures repoussées en tôle d'acier inoxydable d'épaisseur suffisante pour résister mécaniquement aux conditions de mise en place et d'exploitation ; cette colonne crépinée a un diamètre et une longueur compatibles avec le débit à extraire :

- la longueur de Cp doit être déterminée au plus juste dans les zones où la hauteur d'eau (H) dans le forage est réduite : si Cp est trop grande, l'aquifère sera masqué et la productivité diminuera ; si Cp est trop faible, la pompe sera trop haute et le rabattement sera limité en conséquence.
- la longueur de Cc est très généralement de plusieurs dizaines de mètres avec un maximum de 100 mètres.

Pour chaque type de forage, le diamètre de foration, Df, est homogène sur toute la hauteur ; de même, le tubage de diamètre Dt utilisé pour la colonne de pompage et les crépines de diamètre Dc employées pour la colonne de captage, sont standardisés. Selon la coutume, ces divers diamètres sont exprimés ci-après en pouces :

- forage A : Df = 12 1/4" ; Dt = 9 5/8" ; Dc = 4"
- forage B : Df = 14 3/4" ; Dt = 10 3/4" ; Dc = 6"
- forage C : Df = 17 1/2" ; Dt = 13 3/8" ; Dc = 6"
- forage D : Df = 17 1/2" ; Dt = 13 3/8" ; Dc = 8"
- forage E : Df = 17 1/2" ; Dt = 13 3/8" ; Dc = 10"

- Nota :*
- dans le forage E, si la pompe doit être installée au-dessous de 70 m, la partie supérieure du forage sera forée en 20" et tubée en 16" jusqu'à 10 m au-dessous de la profondeur la plus grande prévue pour la pompe.
 - les programmes des forages C1 et C2 sont identiques à celui du forage C.

Les diamètres adoptés sont justifiés pour les raisons suivantes :

1°) L'énergie électrique n'étant pas obligatoirement disponible dans tous les secteurs couverts par les nappes exploitables, il a paru logique de concevoir un relevage de l'eau, dans tous les cas, au moyen de pompes à axe vertical entraînées par moteur diesel. L'encombrement de ces pompes et la verticalité nécessaire à leur bon fonctionnement impliquent une marge suffisante entre la pompe et le casing.

Voici l'encombrement effectif de quelques modèles de pompes (il s'agit de pompes ALTA, fabriquées par les Ets Guinard, et bien connues des utilisateurs depuis plusieurs décennies) utilisables pour relever jusqu'à 110 m HMT les débits prévus, comparé au diamètre intérieur du manchon des divers casings ; l'épaisseur des casings est intentionnellement de l'ordre de 10 mm pour résister longtemps à l'action corrosive de certaines eaux.

Type de forage et débit	Diamètre intérieur casing (mm)	Type de pompe et nombre d'étages		Diamètre pompe (mm)	Marge (mm)
A = 25 m ³ /h	220,5	F 7 - 35	12	168	52,5
B = 75 m ³ /h	248,8	F 8 - 50	10	192	56,8
C = 150 m ³ /h	313,9	F 10 - 220 *	11	270	43,9
D = 250 m ³ /h	313,9	F 10 - 220	7	270	43,9
E = 325 m ³ /h	379,4 **	F 320 - 300 *	7	320	59,4

* Vitesse de rotation 1 750 t/mn au lieu de 2 200 pour les autres pompes

** La pompe F 10 - 220 / 2 200 t/mn installée dans le casing 13 3/8" conviendrait pour des relevages inférieurs à 80 m.

2°) Les diamètres des casings qui conditionnent ceux de la foration sont peu nombreux et très courants, ce qui facilite l'approvisionnement et peut donc à la fois réduire les délais et les prix.

Ces normes techniques étant posées, les frais variables du forage dépendront de trois catégories de prix unitaires et des longueurs à prévoir dans chaque cas.

Les coûts unitaires sont ceux des mètres linéaires (ml) de foration, de fourniture et pose des tubages, de fourniture et pose des crépines, selon les diamètres conventionnels.

Par extrapolation des propositions d'entreprises pour des interventions ponctuelles, les prix unitaires sont estimés au 1er janvier 1979 pour des campagnes de 10 forages, comme indiqué plus haut.

- Foration

Diamètre	12 1/4"	14 3/4"	17 1/2"	20"
Prix du ml F. CFA	41 000	47 000	54 000	60 000

- Tubage

Diamètre	9 5/8"	10 3/4"	13 3/8"	16"
Prix du ml F. CFA	38 000	47 000	54 000	66 000

- Crépines

Diamètre	4"	6"	8"	10"
Prix du ml F. CFA	66 000	90 000	114 000	138 000

Les frais fixes (Ff) de forage sont constitués par une série de dépenses présentées dans les devis en montants forfaitaires ou assimilables statistiquement à des forfaits. Il s'agit des frais découlant de l'amenée et repli du matériel, du déplacement de forage à forage, de la récolte et du classement pour conservation des échantillons de terrains, des diagraphies géophysiques nécessaires, des cimentations, de la mise en place du filtre de gravillons, des opérations de traitement, développement et pompes, de l'aménagement de la tête de puits par avant-trou, tube-guide, massif de protection en béton, fermeture cadénassée, du compte rendu complet des travaux dû par l'entrepreneur, des analyses d'eau, etc...

L'incidence de ces frais fixes varie avec la productivité de l'ouvrage et avec sa profondeur :

- selon qu'il s'agit de forage A, B, C, D, E, on a admis une incidence constante Ff de 2,2 - 3,3 - 4,4 - 6 et 7,4 millions de F. CFA.
- on a également supposé une incidence "profondeur" F'f (p) de 1,1 MF. CFA par centaine de m, pour tous les types de forages.

Ainsi pour un forage A de 300 m : $Ff = 2,2 + 3 (1,1) = 5,5$ MF. CFA.

Le coût global du forage s'exprime, compte tenu de la décomposition des prix adoptée, par la somme :

- coût de foration Cf,
- coût de la colonne de pompage Cp,
- coût de la colonne crépinée Cc,
- frais fixes constants Ff,
- frais fixes liés à la profondeur F'f.

Si l'on considère a priori que la longueur crépinée est constante pour une gamme de débits donnée, donc pour chaque ouvrage type considéré, le coût global apparaît comme une fonction linéaire de la profondeur p ; il peut en effet s'exprimer de la façon suivante :

$$C = Cf + Cp + Cc + Ff + F'f$$
$$= f_1 (p) + f_2 (p) + K_1 + K_2 + f_3 (p)$$

Si en réalité la longueur crépinée n'est pas constante mais susceptible de varier pour s'adapter aux caractéristiques locales de l'aquifère,

l'incidence de cette variation sur le coût global s'avère le plus souvent négligeable si l'on considère la faible amplitude des écarts de coûts obtenus pour différentes longueurs de crépines, sur un ouvrage type donné :

- le forage A de 600 m, avec $C_p = 550$ m, $C_c = 50$ m coûte 62,4 MF. CFA
- le forage A de 600 m, avec $C_p = 500$ m, $C_c = 100$ m coûte 63,8 MF. CFA
- le forage A de 100 m, avec $C_p = 80$ m, $C_c = 20$ m coûte 11,74 MF. CFA
- le forage A de 100 m, avec $C_p = 60$ m, $C_c = 40$ m coûte 12,3 MF. CFA
- le forage E de 600 m, avec $C_p = 550$ m, $C_c = 50$ m coûte 83 MF. CFA
- le forage E de 600 m, avec $C_p = 500$ m, $C_c = 100$ m coûte 87,2 MF. CFA
- le forage E de 600 m, avec 100 m de C_p 16" substitués à 100 m de 13" $\frac{3}{8}$ des deux exemples précédents voit varier son coût de 84,8 MF. CFA à 89 MF. CFA.

Sur ces exemples, on constate des écarts maximaux de 2,2 % pour les forages A de 600 m, 4,5 % pour les forages A de 100 m et 7,2 % pour les 4 forages E de 600 m ; ceci est pratiquement négligeable sur le coût total du m^3 d'eau puisque, on le verra plus loin, C représente une fraction généralement faible de ce coût total.

Pour connaître le coût-forage du m^3 d'eau (CF), on a admis comme antérieurement (B 8 et B 11), que le forage était amorti en 15 ans et que l'on ne tenait pas compte des intérêts d'un éventuel emprunt. CF est donc égal au quotient du prix du forage par le volume d'eau extrait en 15 ans en supposant que le pompage a lieu 20 heures/jour et 360 jours/an, soit :

- $25 \times 20 \times 360 \times 15 = 2,7$ M m^3 pour le forage A
- $75 \times 20 \times 360 \times 15 = 8,1$ M m^3 pour le forage B
- $125 \times 20 \times 360 \times 15 = 13,5$ M m^3 pour le forage C1
- $150 \times 20 \times 360 \times 15 = 16,2$ M m^3 pour le forage C
- $175 \times 20 \times 360 \times 15 = 18,9$ M m^3 pour le forage C2
- $250 \times 20 \times 360 \times 15 = 27,0$ M m^3 pour le forage D
- $325 \times 20 \times 360 \times 15 = 35,1$ M m^3 pour le forage E.

Après calcul on peut donc dresser l'abaque figure 4 qui donne le coût-forage (CF) selon la profondeur et le type de forage.

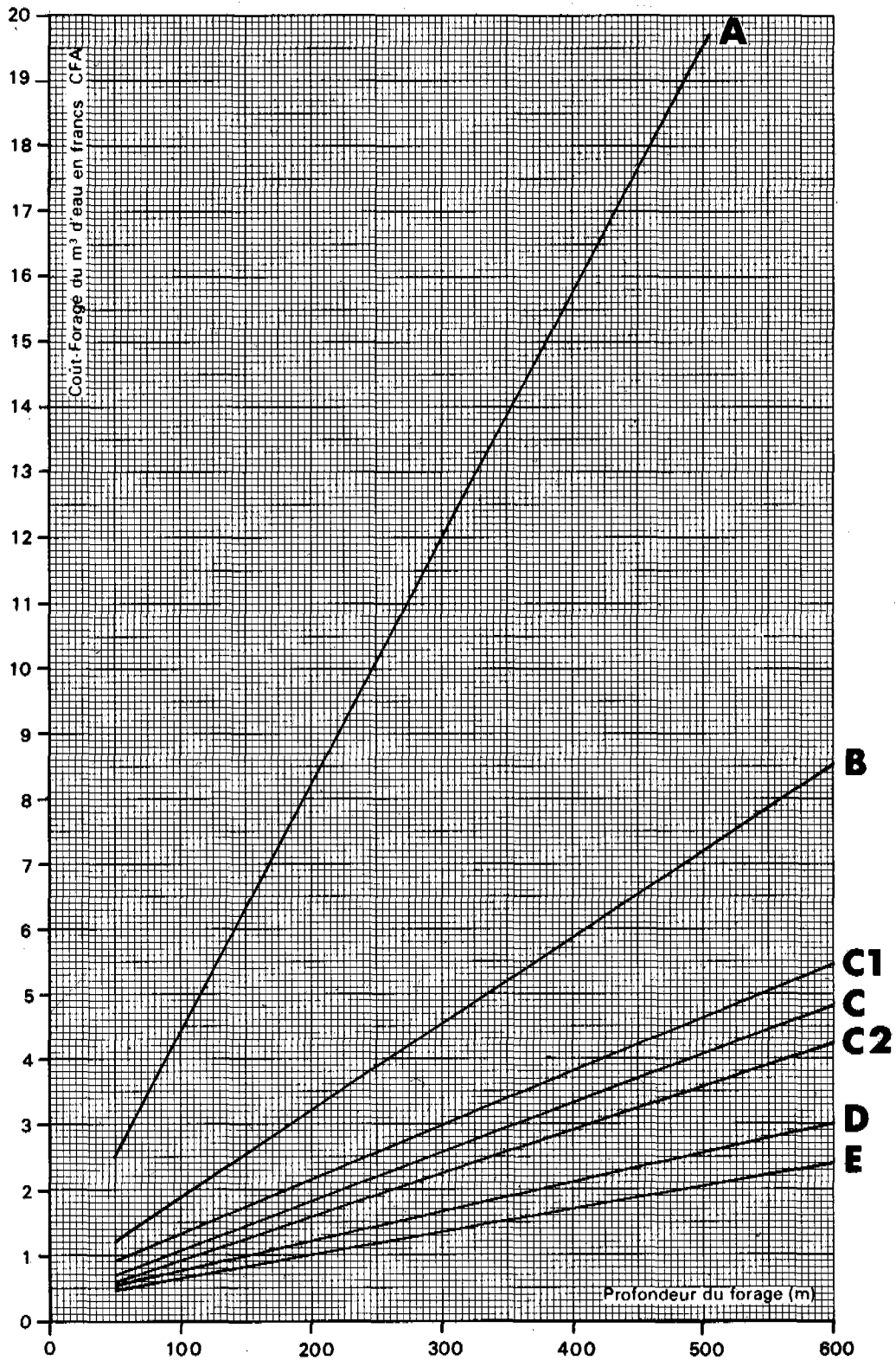
b) L'équipement de pompage :

Partant des prix unitaires des divers éléments constituant les pompes à axe vertical ALTA désignées au paragraphe précédent, il est possible de calculer les prix des pompes sur chaque type de forage, selon la profondeur de relevage, équivalente à la hauteur entre le niveau dynamique et celui du sol, majorée de 10 m pour disposer de 1 kg/cm^2 de pression à la sortie ; trois éléments interviennent :

- la tête de pompe avec poulie et la crépine d'aspiration
- le nombre d'étages selon la hauteur de relevage
- le nombre d'éléments de colonne montante avec arbre d'entraînement.

Figure 4

COUT-FORAGE DU M³ D'EAU EN FONCTION DE LA PROFONDEUR ET DU TYPE DE FORAGE



A partir des prix unitaires de ces trois éléments, on peut calculer le prix total de la pompe pour diverses hypothèses de profondeur.

Selon les indications du représentant pour un matériel bien installé et entretenu, on a supposé que la pompe pouvait tourner pendant 4 ans avec une dépose pour révision et réparation chaque année.

Pour les dépenses, on a estimé que le coût global de la pompe livrée installée et entretenue pendant 4 ans de fonctionnement au Cameroun représentait 2 fois le prix d'achat en France (prix hors taxes de février 1979) y compris les pièces couramment échangées.

Le quotient du coût global de la pompe par le volume d'eau qu'elle extrait en 4 ans donne le coût-pompe (CP) du m³ d'eau qui s'établit ainsi pour 4 valeurs caractéristiques de la hauteur de relevage (HMT) entre lesquelles l'évolution est linéaire.

HMT (m)		20	50	80	110
CP (F. CFA) A		1,57	2,90	4,20	5,62
selon la B		0,65	1,29	1,90	2,50
catégorie C		0,62	1,08	1,50	1,98
de forages D		0,40	0,80	1,18	1,55
	E	0,35	0,70	1,03	1,36

c) L'équipement moteur :

La pompe est entraînée par un moteur diesel du type ALSTHOM Atlantique refroidi à l'air, susceptible de tourner au rythme de pompage indiqué plus haut pendant 3 ans s'il est bien installé et entretenu ; 9 moteurs complets avec démarreur sur batterie et embrayage sont prévus.

Selon l'hypothèse déjà avancée pour les pompes, le prix HT de chaque moteur affiché en France en février 1979 est doublé pour tenir compte du transport, de l'installation et de l'entretien courant au Cameroun ; on ajoute un coût de révision et réparations, estimé sur 3 ans, pour obtenir le coût global et l'on arrive aux chiffres du tableau ci-dessous :

Type de moteur	Puissance (Kw)	Prix du moteur installé MF. CFA	Frais révision réparations MF. CFA	Coût global du moteur MF. CFA
272	14,7	2	1,5	3,5
372	28	2,4	1,7	4,1
472	40	2,6	1,9	4,5
672	59	3,4	2,1	5,5
672 S	71	3,7	2,3	6
L 62	87,6	6,6	2,5	9,1
L 62 S	106,7	7,2	2,75	9,95
V 82	118	8,5	3,1	11,6
V 10	147	10,5	3,5	14

Les différents moteurs sont utilisés pour actionner les pompes selon la puissance demandée par le débit à extraire et par la hauteur de relevage. Il est alors facile de définir le coût-moteur (CM) du m³ d'eau à partir d'une série de calculs sur les divers forages-types qui seraient équipés du moteur le mieux adapté. On prend les valeurs moyennes obtenues pour dresser la droite représentative de CM pour chaque forage-type. Comme précédemment pour les pompes, le tableau suivant donne CM pour 4 valeurs caractéristiques de HMT.

HMT (m)		20	50	80	110
CM (F. CFA) A		3,75	4,50	5,30	6,10
selon la B		1,95	2,15	2,37	2,57
catégorie C		1,10	1,32	1,60	1,85
de forage D		0,84	1,14	1,47	1,80
	E	0,62	1,00	1,40	1,80

Les abaques de CP et CM ayant les mêmes coordonnées, HMT (m) en abscisses et le coût en francs CFA en ordonnées, on peut additionner CP et CM en tout point pour obtenir le coût-équipement de pompage du m³ d'eau auquel il suffira d'ajouter le coût énergie pour aboutir au coût relevage (CR) du m³ d'eau.

Dépenses d'énergie

Pour relever 1 litre d'eau (=1 kg) par seconde de 1m, la puissance théorique nécessaire est de 9,81 watts ; pour relever 1 m³/h de 1 m la puissance théorique est donc de 9,81/3,6 = 2,725 W. Dans la pratique, on constate que la puissance de relevage de 1 m³/h de 1 m exige une puissance de l'ordre de 4 watts.

La consommation horaire en gazole des moteurs diesel s'étale entre 220 et 340 grammes pour une puissance de 1 kW. En admettant que ceux que l'on installerait au Cameroun consommeraient 300 g = 0,375 litre par kWh et que le prix du litre de gazole soit de 100 F.CFA, le coût de l'énergie pour relever 1 m³/h de 1 m sera :

$$\frac{100 \times 0,375 \times 4}{1\ 000} = 0,15 \text{ F. CFA}$$

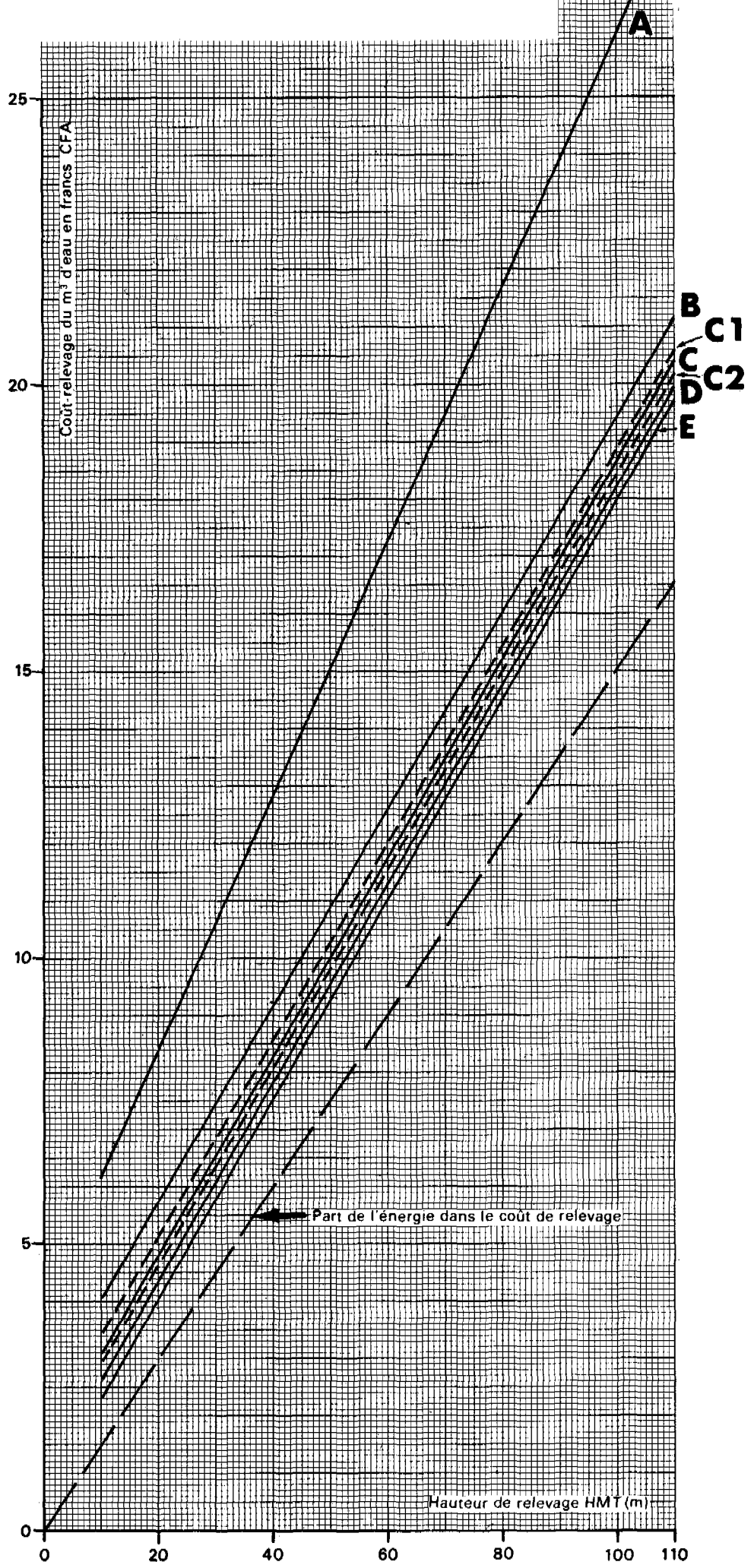
Sur l'abaque du coût de relevage (CR) du m³ d'eau de la figure 5 intercalée ci-après, la part de l'énergie a été dégagée pour illustrer son incidence prédominante sur CR. On notera par ailleurs le coût relativement élevé de l'équipement de pompage sur les forages A de faible débit, coût diminuant très vite sur les forages B à E où les droites sont rapprochées ; ceci a permis de tracer sans grand risque d'erreur les droites correspondantes aux forages C1 et C2 dont les éléments n'ont pas été calculés.

Elaboration des cartes de coût et commentaire

L'élaboration de ces cartes implique la consultation de divers documents de base :

COUT-RELEVAGE DU M³ D'EAU EN FONCTION DE HMT ET DU TYPE DE FORAGE

Figure 5



- les caractéristiques des forages regroupés dans les tableaux commentés au § 2.5.4 ou estimées au mieux,
- l'hypsométrie des cartes géographiques,
- les cartes et coupes géologiques disponibles,
- les cartes préalablement établies pour cette étude et les documents provisoires qu'elles ont nécessités, tels que les esquisses sur la géométrie et la piézométrie des aquifères.

Partant de là, on détermine sur quelques centaines de points représentatifs :

- la classe de débit A, B, C, D ou E d'après la carte de productivité,
- la profondeur du forage,
- la profondeur de l'eau, le rabattement probable et par conséquent la hauteur de refoulement HMT.

Sur chaque point ainsi défini, on calcule le coût du m³ d'eau par addition des résultats lus sur les abaques des figures 4 et 5.

Comme indiqué plus haut, le coût du m³ d'eau dépend en premier lieu de la hauteur de relevage, donc de la profondeur du niveau dynamique sous le sol : à faible profondeur, faible coût.

En second lieu, les figures 4 et 5 font clairement ressortir l'élévation des coûts sur les forages A peu productifs, surtout s'ils sont profonds.

En prenant des bases de prix différentes, on obtiendrait évidemment des coûts différents.

On pourrait aboutir à des coûts plus bas à partir d'un puits heureusement très productif réalisé "à bas prix", exploité avec une pompe électrique alimentée par le réseau dans des conditions avantageuses.

Au contraire, on trouverait des coûts supérieurs en s'écartant de nos hypothèses initiales :

- le coût d'un forage unique est évidemment supérieur à celui d'une série de 10,
- faute d'étude préalable et de surveillance des travaux, l'ouvrage médiocrement exécuté et peu productif coûtera davantage à l'exploitant, surtout si le pompage est limité à quelques heures par jour,
- la prise en considération du coût de refoulement dans un réservoir élevé, à plus forte raison du coût de distribution dans le réseau, les pertes inévitables, les à-coups de fonctionnement, le choix d'un matériel de relevage inadapté d'entretien très coûteux, l'incidence de l'amortissement d'un emprunt, etc... constitueraient évidemment des facteurs de majoration de coût.

Il faudrait faire une multitude de cartes pour obtenir les coûts réels en fonction d'une multitude d'hypothèses d'exploitation. Mais avant de modifier les hypothèses de travail, il conviendra surtout d'améliorer la reconnaissance des aquifères à partir de nouveaux forages correctement programmés, exécutés et surveillés.

3. - UTILISATION DES CARTES

On pourrait prendre de multiples exemples d'utilisation des cartes ; le problème suivant, aux éléments purement imaginaires, illustre les conditions d'emploi de la plupart des thèmes traités.

Une industrie de produits alimentaires doit être installée à 10 km environ à l'Ouest de Garoua. Elle a besoin d'eau souterraine de qualité constante et se propose de prélever sur la nappe des grès 7 000 m³/jour, 250 jours par an.

Ce projet est-il envisageable a priori et dans quelles conditions ?

Sur les feuilles 1 et 2, cartouches G1 et G2, on note les renseignements suivants à une dizaine de kilomètres à l'Ouest de Garoua :

- ressources renouvelables : 100 à 200 000 m³/an, moyenne : 150 000
- réserves exploitables : 3,75 à 5 Mm³/km², moyenne \approx 4,4
- productivité d'un forage : 3 000 à 4 000 m³/jour, moyenne = 3 500
- coût du m³ d'eau : entre 10 et 12,50 F.CFA, moyenne = 11,25.

Le débit annuel demandé sera de : 7 000 x 250 = 1,75 Mm³. La surface théorique d'impluvium nécessaire au renouvellement du volume prélevé est de : 1 750 000/150 000 = 11,67 \approx 12 km², ce qui correspond à un rectangle de 3 x 4 km (3 à 4 mm sur la feuille 1) ou encore à un cercle de 1,95 km de rayon.

Deux forages du type C2, débitant 175 m³/h pendant 20 heures par jour, suffiront à satisfaire les besoins de l'usine :

$$2 \times 175 \times 20 = 7\,000 \text{ m}^3/\text{jour.}$$

Si l'usine ne fonctionne que 10 heures par jour et que le coût du stockage de 3 500 m³ d'eau s'avère nettement plus élevé que la réalisation et l'équipement de forages supplémentaires, on fera 4 forages au lieu de 2.

En supposant que l'aire d'influence des puits soit de 6 km² au lieu des 12 km² nécessaires au renouvellement de la ressource, on fera donc appel à la réserve exploitable ; cette réserve contribuera pour 50 % au prélèvement annuel et sera amputée de 1,75 Mm³ x 0,5 = 875 000 m³ chaque année.

Sur les 6 km² concernés, la réserve exploitable est de : 6 x 4,375 = 26,40 Mm³ ; la ponction de 0,875 Mm³/an épuiserait théoriquement cette réserve en : 26,40/0,875 \approx 30 ans.

En réalité, l'extension de l'aire d'influence dépassera assez vite les 6 km² et la surface complémentaire intéressera à la fois le renouvellement de la ressource et la réserve exploitable.

Admettons que l'exploitant choisisse de faire seulement 2 forages de type C2 :

- l'un de 250 m de profondeur sur lequel la hauteur de relevage de l'eau serait de 40 m,
- l'autre de 300 m de profondeur avec 50 m HMT.

La figure 4 montre que le coût forage du m³ d'eau serait respectivement de 1,45 et de 2,25 F. CFA, soit 1,88 F. CFA en moyenne. De même, la figure 5 indique des coûts de relevage à 40 m et 50 m qui sont pour C2 de 8 et 9,80 F. CFA, soit 8,90 F. CFA en moyenne. Le coût total moyen du m³ d'eau serait donc de 1,88 + 8,90 = 10,78 F. CFA.

Comme l'exploitation n'a lieu que 250 jours au lieu de 360 jours par an, si l'on souhaite néanmoins amortir les investissements en 15 ans pour les forages, en 4 ans pour les pompes, et en 3 ans pour les moteurs, une modification du coût ci-dessus s'impose :

- le coût-forage du m³ deviendrait : $1,88 \times 360 / 250 = 2,71$ F. CFA
- le coût-relevage déduction faite de celui de l'énergie est également à multiplier par 360 / 250. Pour la hauteur moyenne de relevage : 45 m, le coût de l'énergie s'élève à $0,15 \times 45 = 6,75$ F. CFA ; pour l'amortissement du matériel de relevage, il reste donc : $8,90 - 6,75 = 2,15$ F. CFA $\times 360 / 250 = 3,10$ F. CFA.

Le coût réel du m³ d'eau serait alors :

$$2,71 + 3,10 + 6,75 = 12,56 \text{ F. CFA.}$$

Le renchérissement dû au pompage à 70 % du temps adopté à l'origine pour nos calculs de coût du m³ d'eau n'est que de 16,5 %.

A partir des figures 4 et 5, il est facile de se livrer à des exercices simples sur ce type de question pour apprécier l'incidence théorique de l'utilisation des puits à temps partiel.

Ainsi sur un forage de profondeur moyenne = 300 m dont l'eau serait relevée de 50 m on obtiendrait, pour les catégories extrêmes A, B et E, les coûts théoriques suivants du m³ d'eau selon que l'exploitation a lieu 20 h/jour et 360, 270, 180 et 90 jours/an.

Forages de catégorie :	A	B	C
Coût-forage	12	4,50	1,35
Coût-relevage (hors énergie)	7,50	3,40	1,80
Coût-énergie	7,50	7,50	7,50
Coût du m ³ d'eau pour 360 jours/an	27	15,40	10,65
Coût du m ³ d'eau pour 270 jours/an	33,50	18,03	11,70
Coût du m ³ d'eau pour 180 jours/an	46,50	23,30	13,80
Coût du m ³ d'eau pour 90 jours/an	85,50	39,10	20,10

Les écarts de coûts pour une exploitation à temps partiel seraient plus grands sur les forages plus profonds et pour des relevages plus importants ; et ceci, en particulier sur les forages peu productifs de catégorie A et même de catégorie B.

Inversement les écarts seraient plus réduits sur les forages courts avec faible hauteur de relevage.

Il ne faudrait pas toutefois prendre ces résultats sans précaution : s'il est vrai qu'un forage inutilisé peut "vieillir" aussi vite, et parfois davantage qu'un forage exploité, il n'en est pas de même du matériel de pompage dont l'usure est pratiquement proportionnelle au temps de fonctionnement, à condition d'assurer un minimum d'entretien et de protection du matériel au repos.

4. - CONCLUSION

Les brèves réflexions sur les variations du coût de l'eau qui terminent le paragraphe précédent pourraient s'appliquer à l'autres thèmes cartographiés. Elles montrent que l'auteur d'un projet ponctuel ne saurait trouver sur ces cartes synthétiques à petite échelle les réponses à tous ses problèmes mais il est probable qu'il en tirera des informations générales bénéfiques.

Il faut confirmer les remarques inscrites en légende des cartes et rappelées à diverses reprises dans ce texte sur le manque total de renseignements dans certaines régions. Or, il est évident :

- que la densité et la qualité des données de base conditionnent la validité de la synthèse qui en découle localement,
- que la fiabilité du renseignement fourni par les différents thèmes représentés est d'autant plus grande que l'aire de référence est étendue.

Pour répondre au titre de l'étude, résumons en quelques chiffres les résultats du calcul des ressources renouvelables et des réserves exploitables qui sont détaillés dans la 2ème partie de cette notice :

- ressources renouvelables totales : 147 milliards de m³, dont 10 milliards environ pour les 3 grands bassins sédimentaires
- réserves exploitables dans les 3 bassins sédimentaires : environ 42 milliards de m³.

Le renouvellement des ressources est donc bien assuré dans l'ensemble du pays, sauf sur la zone la plus septentrionale où les épandages de crues du Logone et du Chari concourent heureusement à l'améliorer.

Les réserves exploitables sont apparemment importantes elles aussi ; souhaitons que dans l'avenir l'accroissement des forages permette de les utiliser davantage et par contre coup d'en préciser l'évaluation.

BIBLIOGRAPHIE - OUVRAGES GENERAUX

- (1) *Albinet M. et Castany G. (1972)* - Evaluation rapide et cartographie des ressources en eaux souterraines d'une grande région (application au Vénézuéla) - Bull. BRGM 1972. Section III, n° 2.
- (2) *Archambault J. (1960)* - Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale Ed. Berger - Levrault, Nancy.
- (3) *Balek J. (1973)* - Use of representative and experimental catchments for the assessment of hydrological data of african tropical basins - UNESCO - WMO - AIHS - Madrid 1973.
- (4) *Barber W. et du Preez J.W. (1965)* - The distribution and chemical quality of Groundwater in Northern Nigeria Geological Survey of Nigeria - Bull. n° 36
- (5) *Baumgartner A., Reichelt R. (1973)* - Carte des pluies efficaces de l'Afrique 1/30 000 000 - Extrait de : The world water balance. Ed. Elsevier.
- (6) *Bessoles B. (1969)* - Synthèse simplifiée des connaissances sur la géologie du Cameroun. - Bull. n° 5 de la Direction des Mines et de la Géologie du Cameroun - 2ème partie.
- (7) *Biscaldi R. (1967)* - Etude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif et métamorphique en Afrique occidentale. Rapp. BRGM DAK 67 A 14, arch. CIEH Ouagadougou.
- (8) *Bourgeois M. (1978)* - Carte de planification des ressources en eau de Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et du Bénin - Rapp. BRGM 79 AGE 005, arch. CIEH Ouagadougou.
- (9) *BRGM (1968)* - Hydrogéologie des roches éruptives et métamorphiques en zones tropicales et arides. Huit notes consacrées à ce thème sont rédigées par R. Biscaldi (3 notes), J. Forasiewicz et J. Margat, B. George, F. Lelong et J. Lemoine, H. Plote, E.F. Suszczynski. Bull. BRGM, 2ème série, section III, n° 2 et 3 - 1968.
- (10) *BRGM (1973)* - Ressources en eau souterraine des grès et des arènes du Massif armoricain - Travail collectif du SGR Bretagne - Pays de la Loire. Rapp. BRGM 73 SGN 002 BPL.
- (11) *BRGM (1975)* - Cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne : Productivité des nappes (Débits de production initiaux des ouvrages captants) - Aptitude des eaux à l'irrigation - Coût moyen de captage et d'exploitation de l'eau souterraine. Fonds d'aide et coopération - 1975.

- (12) BRGM (1976) - Carte de planification des ressources en eau souterraine des états membres du CIEH de l'Afrique soudano-sahélienne. Rapp. BRGM 76 AGE 009, arch. CIEH Ouagadougou.
- (13) BURGEAP (1972) - Etude comparative des avantages respectifs des puits et forages dans les régions à substratum cristallin d'Afrique de l'Ouest. Bull. de liaison CIEH n° 8 - 1972.
- (14) Castany G. (1963) - Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod.
- (15) Castany G., Delarozières-Bouillin O. et Margat J. (1973) - Evaluation et cartographie des ressources en eau souterraine renouvelables. Eléments du bilan de l'eau en France. Rapp. BRGM 73 SGN 244 AME.
- (16) Castany G., Margat J., Albinet M. et Delarozières-Bouillin O. (1970) - Evaluation rapide des ressources en eau d'une région. Actes Conv. int. acque sotterane - Palermo.
- (17) Comité technique de l'eau de Bretagne (1975) - Annuaire hydrologique régional 1975. Cornet G. - Etude hydrogéologique du bassin du fleuve Allier (1977) BRGM Archives F.A.C.
- (18) Engalenc M. (1975) - Rôle de la fracturation dans la recherche des eaux souterraines dans les granites de l'Afrique occidentale. Bull. de liaison CIEH n° 20 - février 1975.
- (19) FAO (1973) - Etude des ressources en eau du bassin du Lac Tchad en vue d'un programme de développement - Commission du bassin du Lac Tchad, Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad - AGL : DP/RAF/66/579 - PNUD - FAO - Rome 1973 - 2 tomes - Cartes et coupes de forages annexées.
- (20) Gazel J., Hourcq V. et Nicklès M. (1956) - Carte géologique du Cameroun au 1/1 000 000 avec notice explicative - Bull. n° 2 Directions Mines et Géologie du Cameroun.
- (21) Guiraud F. (1975) - Eléments pour une orientation nouvelle de la recherche des eaux souterraines dans les régions à substratum métamorphique ou éruptif de l'Afrique occidentale. Bull. de liaison CIEH n° 21 - mai 1975.
- (22) Laplaine L. (1969) - Indices minéraux et ressources minérales du Cameroun Bull. n° 5 Direction Mines et Géologie du Cameroun - 1ère partie.
- (23) Le Maréchal A. (1977) - Géologie et géochimie des sources thermominérales du Cameroun - Travaux et documents de l'ORSTOM n° 59.

- (24) *Lemoine L. et Prat J.C. (1972)* - Cartes d'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de L. Turc pour les pays membres du CIEH Ouagadougou. Neuf fascicules - fascicule n° 5 Togo - Dahomey. Rapp. CIEH.
- (25) *Margat J. Trad. (1973)* - Variantes dans les conceptions de ressources exploitables. Rapp. BRGM inédit 73 SGN 290 AME.
Traduction de : Alternative yield concepts in : Ground water management. American society of civil engineering (ASCE). Manuals and report on engineering practice, n° 40, chap. III.
- (26) *ORSTOM - puis ONAREST* - Annuaire hydrologiques du Cameroun - Années 1962 à 1976.
- (27) *ORSTOM (1967)* - Monographie hydrologique du Logone.
- (28) *ORSTOM (1969)* - Monographie hydrologique du Lac Tchad.
- (29) *ORSTOM (1970)* - Monographie hydrologique du bassin du Niger. Trois parties : cartes, graphiques, tableaux. Paris - ORSTOM/CIEH.
- (30) *ORSTOM (1974)* - Le bassin du fleuve Chari - Monographie hydrologique n° 2.
- (31) *ORSTOM (1974)* - Annales hydrologiques des états d'Afrique francophone et de Madagascar - Années 1968 et 1969.
- (32) *ORSTOM (1975)* - Le bassin de la rivière Senaga - Monographie hydrologique n° 3.
- (33) *Peaudecerf P. (1975)* - Essai de mise en production des aquifères profonds. Rapport n° 1 - Calcul du coefficient d'emmagasinement par l'évaluation du compactage des formations. Rapp. BRGM 75 SGN 184 AME.
- (34) *PNUD (1972)* - Synthèse hydrologique du Lac Tchad 1966-1970. Commission du bassin du Lac Tchad. Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad. Rapport technique UNESCO/UNDP/REG 71, Paris 1972.
- (35) *Rambert B. (1971)* - Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. Deux rapports BRGM 71 SGN 389 HYD et 72 SGN 371 AME.
- (36) *Rambert B. (1973)* - Recherches sur la signification hydrogéologique de la densité de drainage. Application à la détermination et à la cartographie de l'écoulement souterrain. Rapp. BRGM 73 SGN 422 AME.

1. - LES EAUX SUPERFICIELLES : LES BARRAGES

L'objet principal de cette étude n'est pas l'étude des eaux superficielles, il paraît bon, cependant, de rappeler qu'une partie de ces eaux transite par la tranche altérée des roches, les éboulis, les arènes, les alluvions etc..., alimente les cours d'eau assez longtemps après les pluies et assure le débit d'écoulement parfois notable du mois d'étiage (débit figuré sur la feuille 1).

Au Cameroun, les eaux superficielles sont déjà très utilisées pour l'alimentation humaine -peut-être trop lorsqu'elles sont polluables- pour l'irrigation des terres et la production d'énergie électrique. Pour ces deux derniers usages, il est intéressant de stocker les gros volumes apportés par les crues de façon à s'en servir en saison sèche. Plusieurs barrages sont déjà construits et d'autres sont prévus pour les prochaines années. Voici quelques indications sur les ouvrages existants ou en projet, figurés sur la feuille 1.

Le barrage de Mokolo, en cours de construction, stockera l'eau potable nécessaire à la ville et à quelques villages périphériques. Situé vers la cote 800 dans le haut bassin du Mayo Tsanaga, le barrage en terre verrouillera un défilé entre deux hossérés (collines) de granite et de gneiss qui culminent vers la cote 1 300. A l'amont, 49 km² de bassin versant reçoivent en moyenne annuelle calculée sur 17 ans 950 mm de pluie en quelques mois d'été, ce qui donnerait d'après les études hydrologiques de l'ORSTOM 8 millions de m³ de ruissellement en année moyenne et 5 millions de m³ en année exceptionnellement sèche. Le cavalier amont de la digue sera arasé à la cote 820,65 et la cote normale de retenue à 818 permettra le stockage de 5,35 M m³. L'évacuateur prendra 100 m³/s à la cote 818,78 et 260 m³/s à la cote 819,50 les crues décennales et millénales prévues étant respectivement de 150 et 350 m³/seconde.

Pour régulariser le mayo Tsanaga, le projet de barrage de Holoum est envisagé à une quarantaine de kilomètres à l'aval du précédent. Deux digues arasées à la cote 546 retiendraient l'eau qui monterait normalement à + 541 et au maximum à 544,50. Le lac s'étendrait sur 12 à 15 km² et la cuvette aurait une capacité de l'ordre de 120 M m³ à la cote 541.

Le projet très avancé de Semry Deux consisterait à dériver une partie des eaux de crues du Logone pour les stocker à l'amont d'une digue érigée approximativement à 1 km au Sud des trois agglomérations de Guirvidig, Maga et Pouss en vue d'irriguer 7 000 hectares de riz. A la cote maximale de 312,73 le lac couvrirait environ 175 km².

Sur la Bénoué, le projet de barrage de Lagdo, préparé par EDF/DAFECO, fait actuellement l'objet d'études nouvelles par des techniciens chinois. Dans le projet primitif, selon la cote maximale adoptée, soit 210, soit 218, prise en compte sur notre carte, la superficie noyée passerait de 425 à 815 km² et le volume emmagasiné de 2 925 à 7 825 M m³. La régularisation des crues d'été permettrait à la fois la production d'énergie électrique et l'irrigation.

Le projet de barrage de Koumban, sur la Vina-Nord, constituerait une possibilité de régularisation du Logone en tête de bassin en vue de produire de l'énergie électrique. A la cote 535, le lac de retenue couvrirait 360 km² pour un volume proche de 6 000 m³.

Deux barrages sont en eau sur les affluents de la Sanaga, le fleuve le plus important du Cameroun, avec 135 000 km² de bassin versant à l'amont d'Edia où se situe la principale usine hydro-électrique de 170 mégawatts de puissance normale. Malgré un débit moyen interannuel (module) proche de 2 100 m³/s, cette usine "au fil de l'eau" est tributaire du débit d'étiage, qui entraînait un important déficit de production plusieurs dizaines de jours par an avant la construction des barrages. Ainsi jusqu'en 1968, les 9 turbines existantes avaient une puissance cumulée de 157 000 kw en utilisant la chute, sur 24 m, de 782 m³/s. Or, entre 1944 et 1968, le débit de la Sanaga était en moyenne inférieur à 800 m³/s une centaine de jours par an, chutant au-dessous de 520 m³/s pendant 50 jours et de 300 m³/s pendant une dizaine de jours. En utilisant l'eau emmagasinée dans les deux retenues, les débits d'étiage disponibles varient entre 600 et 700 m³/s pendant les 10 jours d'étiage les plus bas et entre 700 et 800 m³/s pendant les 40 jours d'étiage encadrant les 10 précédents.

Mbakaou, sur le Djerem, comporte plusieurs digues en terre et un ouvrage de prise et d'évacuation en béton qui ferment une cuvette susceptible de mettre en réserve 2 600 M m³, soit environ 20 % du volume moyen annuel d'écoulement de la rivière en ce point.

Bamendjin, sur le Noun, a nécessité des travaux d'aménagement moins importants et la cuvette de 1 800 M m³ autorise le stockage d'eau des années excédentaires puisqu'elle correspond à 120 % du volume annuel écoulé ; le lac peu profond laisse émerger de nombreux îlots et la surface couverte par l'eau dépasse 400 km².

Enfin, sur le Nyong, il existe le projet de barrage de Njock, à 7 km environ au Sud d'Eseka ; l'objectif est également la production d'énergie électrique par aménagement de cette petite retenue de 120 Mm³.

2. - CARACTERES GENERAUX DES AQUIFERES

Les 475 000 km² du Cameroun sont occupés à plus de 90 % par les terrains cristallins puisque la superficie totale des bassins sédimentaires n'est que de 45 000 km².

2.1. - LE SÔCLE CRISTALLIN

La légende de la carte indique la nature lithologique des différents ensembles du socle :

- Le complexe de base comprend des granites souvent orientés, des gneiss, micaschistes et migmatites, et des roches basiques qui constitueraient le terme le plus ancien de ce Précambrien inférieur : c'est le complexe calco-magnésien localisé dans le Sud-Est du Pays.

- Les séries schisteuses du Nyong, du Dja supérieur, du Lom, etc... affleurent dans le Sud et l'Est, mais également au Nord de l'Adamaoua dans la zone de Poli ; elles peuvent être rapprochées des séries birrimiennes des pays du golfe de Guinée avec leurs intercalations de grès, de quartzites, de phyllades qui évoquent une origine sédimentaire.

- La série du Dja inférieur, peu ou pas métamorphique, rappelle l'Infracambrien du Ghana par ses tillites, grès, schistes et calcaires.

Ces trois termes anciens sont recoupés par les venues de roches éruptives, acides ou basiques, dont les plus récentes dateraient du Tertiaire.

Enfin, les roches effusives, qui sont apparues entre la fin du Crétacé et l'époque actuelle, forment les reliefs les plus accusés tel le Mont Cameroun, le sommet le plus élevé de l'Afrique de l'Ouest qui dépasse le niveau de la mer toute proche de 4 095 m.

L'eau souterraine peut remplir les fissures de ces diverses roches, les vides existant dans leur partie supérieure altérée ou surtout dans les produits de décomposition dénués d'argile. Ce sont les roches volcaniques qui présentent de ce point de vue le maximum de capacité d'emménagement.

2.2. - LES PRINCIPAUX BASSINS SEDIMENTAIRES

2.2.1. - Le bassin du Tchad

Le Quaternaire récent comprend :

- les alluvions argilo-sableuses du Logone et de ses affluents et celles des rivières temporaires qui se déversent dans le mayo Kébi et le lac Tchad,
- les alluvions grossières avec blocs, des rivières orientales issues des Monts Mandaras,
- les argiles lacustres et limons qui forment la partie supérieure de la plaine tchadienne,
- les sables éoliens qui constituent les dunes constamment remaniées et le cordon dunaire jalonnant l'ancien rivage du lac à la cote + 320 entre Limani et Yagoua.

Le Quaternaire ancien est représenté par plusieurs dizaines de mètres d'alternances d'argiles et de sables en couches et lentilles discontinues.

Le Pliocène - Au-dessous du Quaternaire ancien, les forages recoupent 100 à 200 m d'argiles versicolores blanches, beiges, vertes ou bleutées admettant quelques passées sableuses, puis 50 à 80 m de couches à prédominance sableuse avec intercalations d'argiles. Les géologues qui ont travaillé au Cameroun et au Tchad dénomment habituellement : Pliocène supérieur l'unité argileuse et Pliocène inférieur les sables sous-jacents.

Nous avons repris cette désignation pratique bien que les coupures stratigraphiques soient souvent confuses ; au Nigéria, les géologues regroupent en un seul ensemble ces terrains supérieurs de comblement de la cuvette tchadienne qu'ils appellent Formation du Tchad (Chad formation).

Le Continental terminal - Les forages approfondis au-dessous du Pliocène inférieur traversent une série à prédominance détritique qui se distingue de la précédente par la présence d'oxydes de fer dans les sables et par une cimentation plus ou moins accusée pour donner des grès ; les argiles intercalées dans les sables et grès deviennent souvent prédominantes à la partie inférieure de ce Continental terminal qui atteint 200 à 400 m de puissance.

Dans les pays voisins, au Niger entre autres, on a pu observer les termes inférieurs au Continental terminal ; il s'agit du Continental hamadien qui représente l'équivalent latéral du Crétacé supérieur d'origine marine (Cénomarien à Sénonien). Au-dessous de ce Crétacé supérieur marin ou continental, se trouve le vaste ensemble grès-argileux du Continental intercalaire qui affleure sur plusieurs centaines de milliers de km² dans la région sahélo-saharienne d'Afrique.

Au Cameroun, seul le forage de Ngodeni (1 003 m) dépasse le Continental terminal et recoupe du Continental hamadien probable.

Cette description sommaire montre la complexité relative des aquifères.

- La nappe des terrains quaternaires : Cette appellation simplifiée désigne en réalité plusieurs nappes aussi bien dans les sables éoliens et alluviaux récents, dont l'épaisseur et la granulométrie varient beaucoup, que dans les couches et lentilles sableuses du Quaternaire ancien.

- La nappe du Pliocène inférieur : Les sables aquifères de la base du Pliocène sont souvent mal séparés des sables et grès du Continental terminal sous-jacent. Par ailleurs, certaines coupes de forages révèlent des horizons sableux aquifères intercalés dans les argiles du Pliocène supérieur.

- La nappe du Continental terminal est probablement la mieux individualisée compte tenu de l'épaisseur de la série au sein de laquelle la pression de l'eau est probablement assez voisine d'une lentille détritique à l'autre.

Ces nappes du Pliocène inférieur et Continental terminal étant très peu exploitées au Cameroun, sont donc mal connues tandis qu'au Niger elles sont déjà sollicitées par de nombreux forages. On peut espérer que l'exploitation se développera dans les futures décennies. Ensuite il sera peut-être utile de reconnaître les possibilités des horizons gréseux du Continental hamadien.

2.2.2. - Le bassin de Garoua

Les forages de reconnaissance mettent en évidence deux unités lithostratigraphiques dans le bassin de Garoua :

- une série inférieure d'argiles gréseuses connue en bordure de bassin, par exemple à l'E.N.E. de Garoua et au Sud-Est dans le secteur de Rey Bouba,

- une série supérieure gréseuse qui intéresse en particulier la zone occidentale du bassin.

Au point de vue structural, on note deux cuvettes profondes, parfaitement apparentes sur les cartes des réserves exploitables et de productivité, séparées par la remontée du socle au voisinage de Lamoudan (voir le point d'eau n° 262).

Les structures devraient être précisées par géophysique et par de nouveaux forages.

Les mesures du niveau de l'eau sur de nombreux puits ont permis l'élaboration d'une esquisse piézométrique (B 59) mais nous ignorons si celle-ci est représentative des niveaux qui seraient observés sur des forages de quelques centaines de mètres, traversant tout ou partie notable des grès aquifères et captant l'eau des horizons les plus perméables.

De même, en ce qui concerne les caractéristiques hydrauliques de ces grès, on dispose seulement de quelques informations acquises à l'occasion de pompages d'essai sur les puits et forages de la ville de Garoua ; or, ces forages de 40 à 80 m, captant moins de 20 % de l'épaisseur totale des grès, ne peuvent être considérés comme représentatifs de l'ensemble.

2.2.3. - Le bassin de Douala

Ce bassin, bien prospecté pour la recherche de pétrole dans la zone centrale interne, est mal connu au Nord du parallèle de Nkapa et au Sud du 4ème parallèle. Dans la dernière décennie, les géologues pétroliers ont travaillé exclusivement en mer, en particulier au large du bassin occidental de Bamusso, ce qui apporte évidemment peu d'éléments à l'hydrogéologie du bassin de Douala.

Au contraire, leurs premières études, qui consistaient en levés de terrains et reconnaissance par forages, apportent de meilleurs renseignements sur les aquifères. La carte géologique à 1/500 000 qu'ils ont esquissée serait utilement complétée par de nouveaux forages recoupant la couverture de terrains superficiels marquée par les affleurements, et précisant la nature lithologique des couches dans les 300 à 400 premiers mètres de la majeure partie du bassin.

Parmi les quatre formations aquifères évoquées en 1ère partie au § (c) du chapitre 2.5, si la continuité lithologique des grès de base est relativement sûre, on est plus indécis sur les variations latérales de faciès des sables quaternaires, miocènes et paléocènes; de même il est possible que les couches relativement argileuses du Sénonien qui surmontent les grès de base se chargent en éléments détritiques grossiers vers l'extérieur du bassin.

A titre d'illustration, les figures 6 et 7 ci-après représentent quelques coupes géologiques de forages dans les trois principaux bassins sédimentaires.

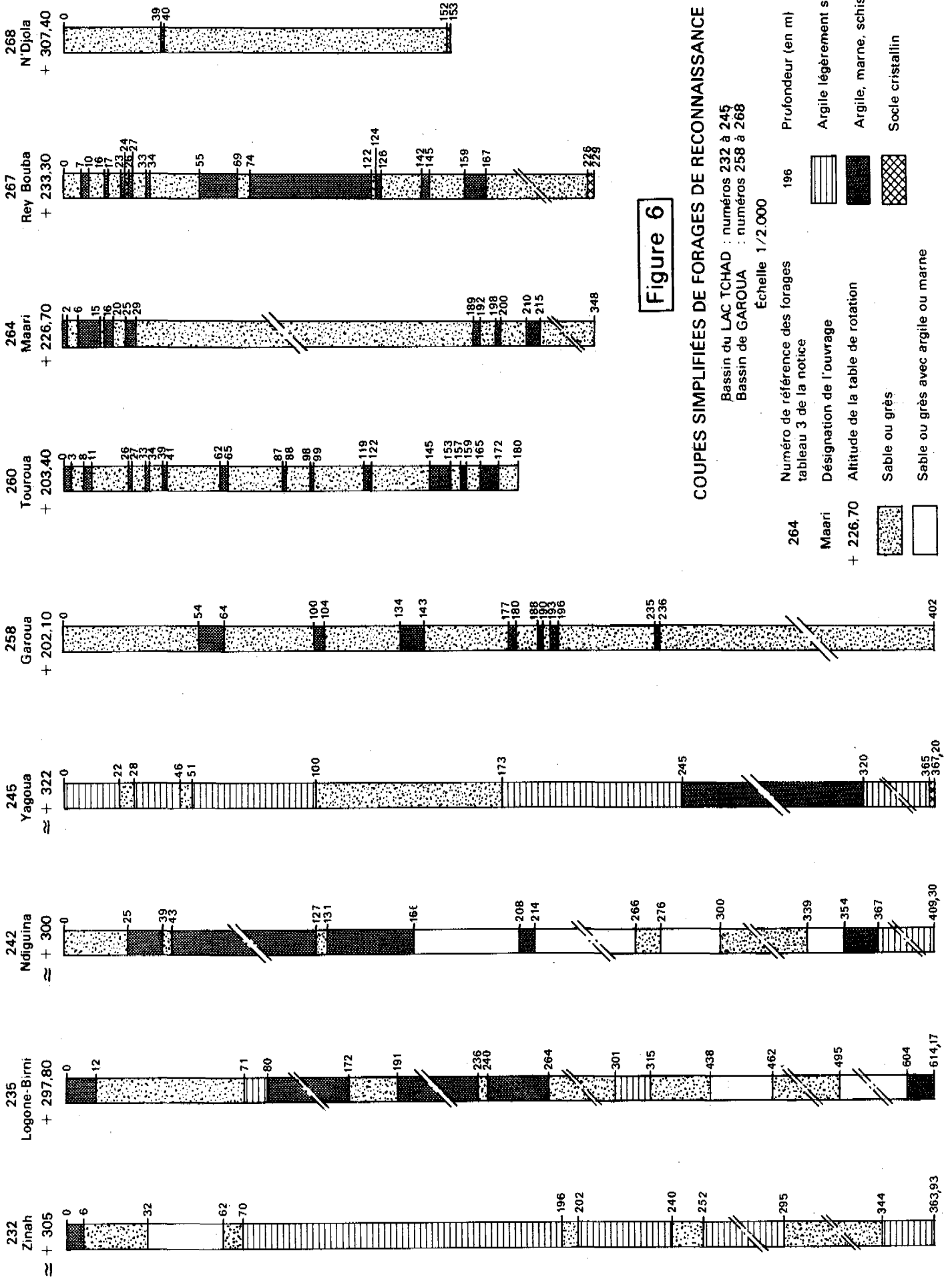
3. - RESSOURCES EN EAU

3.1. - LE SÔCLE CRISTALLIN

Dans le Nord du Cameroun, où ils sont les plus nombreux, les puits en pays cristallin ont de quelques mètres à 20 m de profondeur et un diamètre final de l'ordre de 1 m.

La partie supérieure de l'ouvrage est revêtue d'un cuvelage en béton armé jusqu'à l'horizon productif cohérent ; dans la zone aquifère, les puisatiers installent des buses en béton avec barbacanes pour l'entrée de l'eau.

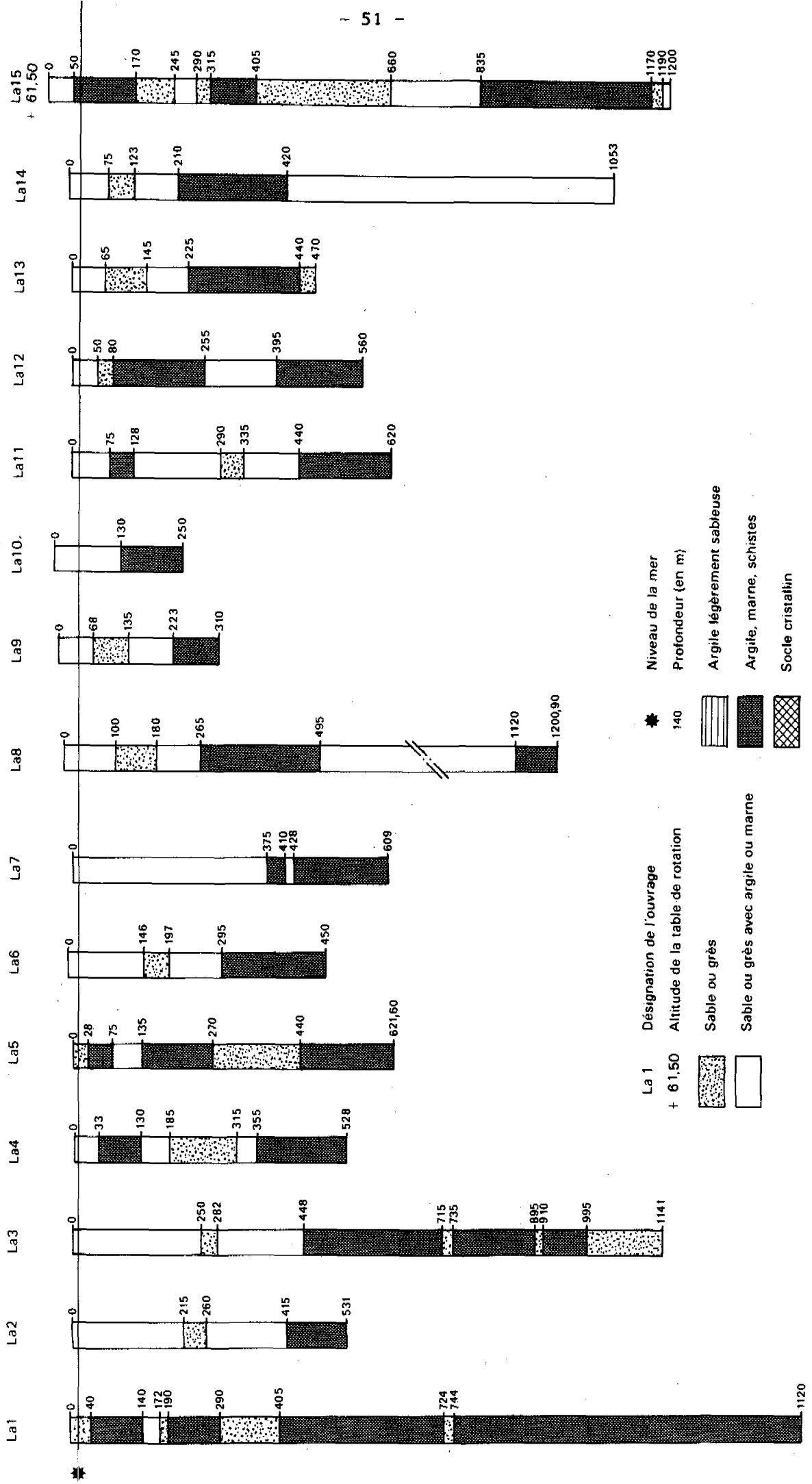
A défaut d'inventaire spécifique des ouvrages exploitant les terrains anciens, nous reproduisons ci-après 2 tableaux extraits de la thèse de M. B. Tillement (B 58). Le premier indique le nombre de puits dans les divers départements du Nord et précise en dernière colonne la nappe exploitée ; le terme "socle" concerne évidemment les terrains cristallins. Le second donne le débit spécifique obtenu sur des ouvrages sollicitant les "nappes" de diverses formations y compris le socle, sans spécifier toutefois le débit pompé et la durée des essais.



COUPES SIMPLIFIÉES DE FORAGES PÉTROLIERS DANS LE BASSIN DE DOUALA

Échelle 1/10.000

Figure 7B

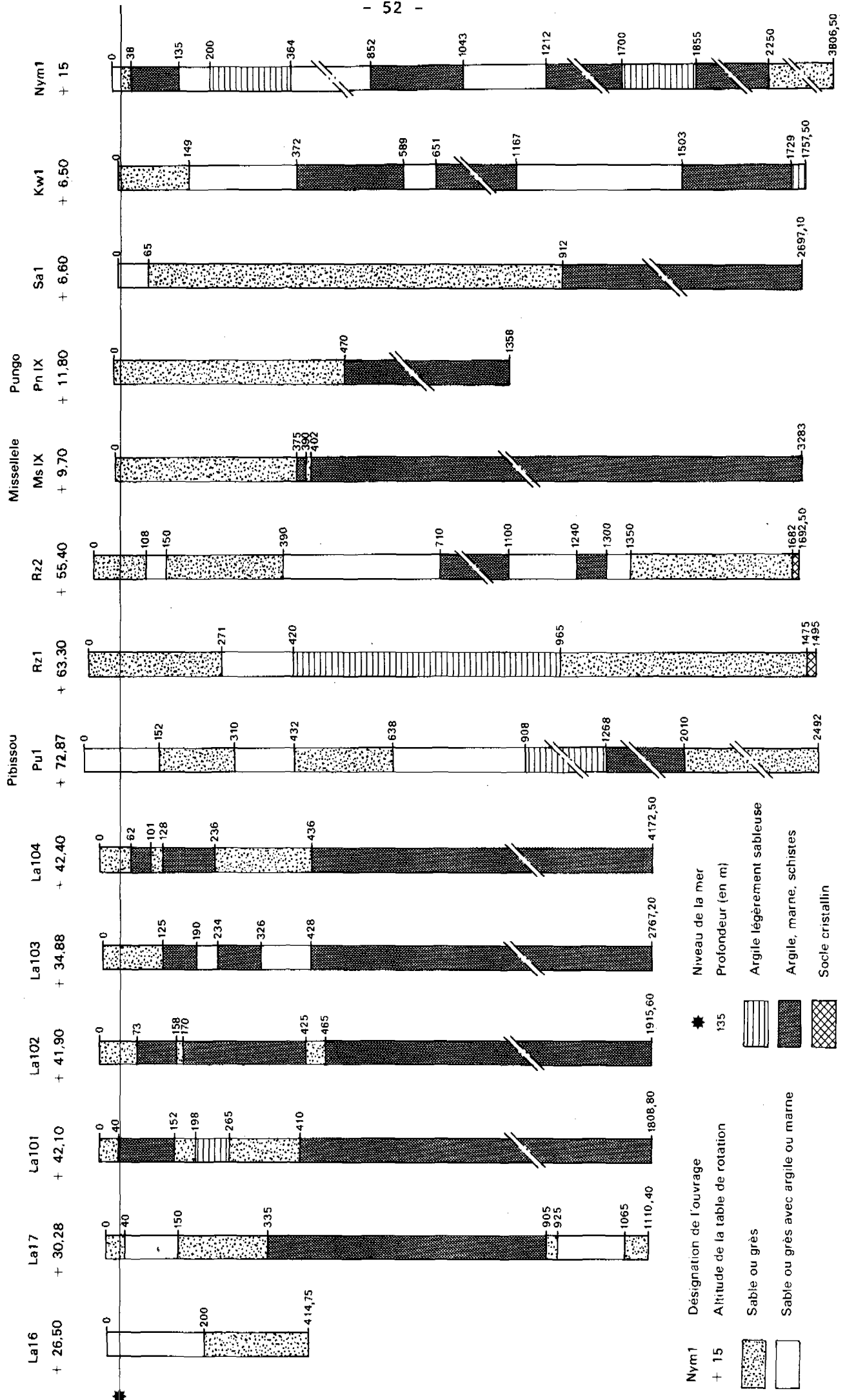


- La 1 Désignation de l'ouvrage
 + 61,50 Niveau de la mer
 * Profondeur (en m)
- Altitude de la table de rotation
 140
- Sable ou grès
 Argile légèrement sableuse
 Sable ou grès avec argile ou marne
 Argile, marne, schistes
 Socle cristallin

Figure 7C

COUPES SIMPLIFIÉES DE FORAGES PÉTROLIERS DANS LE BASSIN DE DOUALA

Echelle 1/10.000



REPARTITION DES PUIITS DANS LE NORD DU CAMEROUN (1968 ?)

(d'après B. Tillement)

département	arrondissement	population	nombre d'habitants par puits	puits	nappes exploitées
Logone et Chari	Serbewel	58 000	440	130	Chari-Tchad
	Fort Foureau	24 000	530	45	Logone
Diamaré	Maroua	130 000	760	170	Socle et Nord-Diamaré
	Bogo	34 000	480	70	Nord-Diamaré
	Mindif	45 000	560	80	Socle et Nord-Diamaré
	Kaélé	98 000	400	240	Socle et Kar Hay
	Meri	35 000	1 100	30	Socle
Margui-Wandala	Mora	121 000	630	190	Piémont et socle
	Mokolo	183 000	960	190	Socle
Mayo Danaï	Yagoua	110 000	630	175	Logone
	Kar Hay	46 000	650	70	Logone et Kar Hay
Bénoué	Guider	119 000	560	210	Bassin synclinaux et socle
	Garoua	73 000	450	160	Socle et Crétacé
	Poli	36 000	400	90	Socle
	Tcholliré	52 000	370	140	Socle et Crétacé

DÉBIT SPECIFIQUE OBTENU SUR QUELQUES OUVRAGES DU NORD - CAMEROUN

(d'après B. Tillement)

nappe	terrains	débit m ³ /h/m	village	ouvrage et diamètre en cm	coordonnés
Terrasse du Kébi	alluvions	37	Lengui J.P.	puits 100	x = 13°37' y = 9°20'
Piémont, nappe Tsanaga	alluvions	8,5	Meskin	puits 100	x = 14°16' y = 9°05'
Crétacé de Garoua	grès	6,2	Ndjola	forage 20	x = 13°30' y = 9°05'
Crétacé de Garoua	grès	5,8	Garoua ad. d'eau	puits 300	
Piémont, nappe Tsanaga	alluvions	4,5	Balaza	puits 100 + forage	x = 14°27' y = 10°42'
Socle altéré	arène lavée	4,0	Dankassa	puits 100	x = 13°50' y = 10°00'
Terrasse du Kébi	alluvions	2,3	Lengui J.P.	puits 100	x = 13°37' y = 9°20'
Flat Badjouma sur socle	alluvions	2,3	Badjouma village	puits 100	x = 13°39'
Crétacé de Garoua	grès	1,6	verger agr. Garoua	puits 120	
Socle altéré	arène lavée	1,1	Béli	puits 100	x = 14°00' y = 10°09'
Socle altéré	gneiss altéré	0,8	Badjengo	puits 100	x = 13°41' y = 9°29'
Crétacé de Koum	grès + marnes	0,7	Koum	puits 100	x = 14°31' y = 8°23'
Socle altéré	granite altéré	0,7	Baela	puits 100	x = 14°55' y = 8°40'
Socle altéré	granite altéré	0,7	Ganmbou	puits 100	x = 14°51' y = 8°41'
Crétacé de Koum	grès + marnes	0,6	Tamm	puits 100	x = 14°24' y = 8°22'
Socle altéré	gneiss altéré	0,3	Dolla fali	puits 100	x = 13°34' y = 9°26'
Socle altéré	granite altéré	0,3	Bor	puits 100	x = 15°00' y = 8°39'
Crétacé de Koum	grès + marnes	0,2	Gouga	puits 100	x = 14°26' y = 8°22'
Socle altéré	granite altéré	0,1	Djoubao	puits 100	x = 14°49' y = 8°41'
Socle altéré	gneiss altéré	0,1	M.Sanguanaré	puits 100	x = 13°55' y = 10°06'

Si les puits classiques sont faciles à exploiter par les villageois, l'avenir est probablement aux forages en petit diamètre réalisés très rapidement y compris dans la roche fissurée, ce qui favorise souvent la permanence du débit, même en période sèche ; le puisage traditionnel est remplacé par le pompage avec un matériel simple, robuste et d'entretien facile.

Des campagnes de forages sont déjà commencées, mais des résultats statistiques représentatifs ne seront disponibles que dans un ou deux ans.

Sur les aquifères généralisés des petits bassins sédimentaires et sur les matériaux d'origine volcanique les forages s'imposeront tôt ou tard selon les besoins locaux et en raison de l'intérêt évoqué en première partie au § 2.4.1.

3.1.1. - Les ressources disponibles

Les ressources renouvelables des aquifères, cartographiées sur la feuille 1, sont des moyennes annuelles exprimées en lame d'eau infiltrée et en volume par km².

Sur toute l'étendue des terrains cristallins, on peut donc calculer le volume global annuel infiltré en faisant pour chaque plage le produit de sa surface par le volume moyen correspondant ; entre 0 et 50 000 m³/km²/an, le volume moyen sera 25 000 m³/km²/an ; entre 50 000 et 100 000 m³/km²/an, le volume moyen sera 75 000 m³/km²/an, etc...

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus pour les 475 000 km² du Cameroun et l'on soustrait la part relative aux trois grands bassins sédimentaires dont le détail est donné plus loin.

Volume moyen annuel infiltré 10 ³ m ³ /km ²	Superficie concernée 10 ³ km ²	Ressources renouvelables 10 ⁶ m ³
25	19,7	492
75	40,65	3 049
150	104,08	15 612
300	236	70 800
500	37,95	18 975
700	10,45	7 315
900	9	8 100
1 300	17,25	22 425
TOTAUX	475	146 768

En déduisant 9 826 x 10⁶ m³ concernant les 35 100 km² des trois grands bassins sédimentaires, il reste :

146 768 - 9 826 = 136 942 millions de m³ d'eau représentant les ressources renouvelables moyennes annuelles des terrains cristallins, petits bassins sédimentaires inclus, soit en chiffres arrondis :

137 milliards de m³ d'eau pour les terrains cristallins

147 milliards de m³ d'eau pour l'ensemble du Cameroun.

Pour situer la vraisemblance de ces volumes d'eau théoriquement infiltrés, il est bon de les traduire en débit moyen et de les comparer au débit global des rivières :

147 milliards de m³/an correspondent à un débit moyen permanent de 4 652 m³/seconde. D'après les valeurs reportées sur la feuille 1, on peut évaluer grossièrement les débits cumulés des rivières camerounaises pour obtenir :

- débit mensuel d'étiage des rivières \approx 1 425 m³/s

- débit moyen (module) des rivières \approx 6 600 m³/s.

Les ressources renouvelables des aquifères représenteraient donc :

$4\ 652 / 1\ 425 = 3,25$ fois le débit d'étiage des cours d'eau

$4\ 652 / 6\ 600 = 70\ %$ du débit moyen des cours d'eau.

Ces rapports sont tout à fait vraisemblables :

- il est admissible que les terrains apportent à la rivière un débit moyen triple de celui du mois d'étiage,

- si les volumes d'eau des crues interviennent presque uniquement dans l'écoulement total annuel des rivières du Nord, d'où l'on déduira le module, il n'en est pas de même au Sud de l'Adamaoua, c'est-à-dire sur la plus grande partie du Pays où le régime hydraulique est beaucoup mieux régulé par les eaux qui ont transité dans les terrains. Une analyse des ressources renouvelables (Rre) par région montrerait probablement :

Rre \approx 20 à 30 % du module dans le Nord du pays

Rre \approx 30 à 40 % du module au voisinage de l'Adamaoua

Rre \approx 75 à 80 % du module dans le Sud et le Sud-Ouest.

La moyenne de 70 % résulte donc de l'influence conjuguée des superficies importantes au Sud et des valeurs élevées de Rre dans les zones montagneuses et littorales du Sud-Ouest.

3.2. - LES AQUIFERES GENERALISES

3.2.1. - Le bassin du Tchad

La nappe des terrains quaternaires

a) La nappe de la plaine du Tchad est exploitée par de nombreux puits donnant de faibles débits. L'interprétation des pompages d'essais (B 41 et B 52) effectués sur une dizaine de puits portant les numéros 203 à 213 dans le tableau 3 annexé, révèle pour les 10 cas interprétables :

- une transmissivité moyenne : $T = 7 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$
- 4 transmissivités faibles : $6 < T < 9 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$
- 5 transmissivités très faibles : $2 < T \leq 4 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$.

Les premiers horizons sableux aquifères atteints par les puits ne représentent pas la totalité de "la nappe" ; en creusant jusqu'au toit des argiles pliocènes, d'autres horizons aquifères seraient captables, ce qui améliorerait le débit des ouvrages assez fréquemment, comme on peut le constater sur les forages n° 227 à 229 ; notons pourtant qu'à 93 m de profondeur sur le n° 227 des horizons sableux du Pliocène supérieur ont probablement été recoupés.

La réalimentation en eau des lentilles sableuses résulte des inondations superficielles en provenance du Logone à l'Est et, pro parte minima, des crues de rivières descendant des Monts Mandaras à l'Ouest.

L'eau, généralement très douce, présente une minéralisation bicarbonatée-calcique qui s'enrichit en chlorures, en sulfates et en sodium dans les dépressions fermées (B 41).

b) A l'Ouest, la nappe de piémont du socle cristallin et celle des alluvions de rivières offrent des caractéristiques assez variées selon la nature et l'épaisseur des sédiments. Les points d'eau n° 216 à 226, sélectionnés parmi ceux qui ont été réalisés pour la ville de Maroua, sont creusés dans les alluvions de la Tsanaga et du Kaliao ; les débits atteignent couramment 40 à 80 m³/heure sur des forages bien exécutés et les débits spécifiques vont de 5 à 30 m³/h/m de rabattement. Les transmissivités déterminées dans 8 cas sur les points n° 224 à 226 et sur des piézomètres proches varient entre 8×10^{-3} et $4 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ tandis que le coefficient d'emmagasinement de la partie libre de la nappe serait de 6 % à 25 % (B 50).

Les nappes du Pliocène inférieur et du Continental terminal sont pratiquement inexploitées au Cameroun ; les informations, dues aux études et sondages de reconnaissance, utilisées pour élaborer les diverses cartes et coupes ont déjà été citées en première partie de la notice (chapitre 2.5.).

Les ressources renouvelables

Cette notion est relativement théorique dans le cas présent ; il a été dit plus haut que la réalimentation de la nappe des terrains quaternaires était assurée, sur une superficie notable, par les inondations dues aux crues du Logone dont l'origine est extérieure au bassin du Tchad. De même, à l'Ouest, l'alimentation des nappes alluviales et de piémont provient, elle, en partie des écoulement en rivières et des ruissellements sur le socle cristallin pendant et immédiatement après les fortes pluies.

Le renouvellement des ressources par la fraction des précipitations efficaces susceptibles de s'infiltrer directement sur les 19 800 km² de terrains sédimentaires a néanmoins été calculé. En évaluant le produit du volume annuel moyen infiltré sur 1 km² par chacune des surfaces représentées sur la feuille 1, on obtient la ressource renouvelable totale (Rre).

Vol. annuel moy. infiltré (en 10 ³ m ³ /km ²)	Superficie concernée (en 10 ³ km ²)	Rre (en 10 ⁶ m ³)
25	14,85	371
75	4,95	371
TOTAUX	19,8	742

Les 740 millions de m³ correspondent à un débit moyen permanent de 23 m³/seconde environ ou encore à une lame d'eau équivalente de 37 mm sur la surface du bassin.

Réserves exploitables

Les réserves exploitables cartographiées en feuille 1 pour la nappe des terrains quaternaires sont diversifiées en 3 zones ; le produit du volume unitaire moyen au km² de chacune d'elles par leur surface donne la réserve exploitable Rex calculée ci-dessous :

$$170.10^3 \times 3,75.10^3 = 637.10^6 \text{ m}^3$$

$$105.10^3 \times 11,65.10^3 = 1\,223.10^6 \text{ m}^3$$

$$35.10^3 \times 4,4.10^3 = 154.10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Rex totales des nappes quaternaires} = 2\,014.10^6 \text{ m}^3$$

La figure 8 ci-après esquisse la zonation probable de Rex sur la nappe du Pliocène inférieur. On calcule comme plus haut :

$$100.10^3 \times 8,4.10^3 = 840.10^6 \text{ m}^3$$

$$88.10^3 \times 1,15.10^3 = 101.10^6 \text{ m}^3$$

$$63.10^3 \times 1,83.10^3 = 115.10^6 \text{ m}^3$$

$$37.10^3 \times 3,22.10^3 = 119.10^6 \text{ m}^3$$

$$12.10^3 \times 0,2.10^3 = 2.10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Rex totales de la nappe du Pliocène inférieur} = 1\,177.10^6 \text{ m}^3$$

Les réserves exploitables de la nappe du Continental terminal devraient être du même ordre que celles du Pliocène inférieur, ce qui donnerait 4 à 5 milliards de m³ d'eau de réserves exploitables totales pour les aquifères du bassin du Tchad.

Un prélèvement fictif de 100 000 m³/jour pendant 200 jours par an sur 10 années sèches consécutives ne prendrait que 4 à 5 % de ce capital.

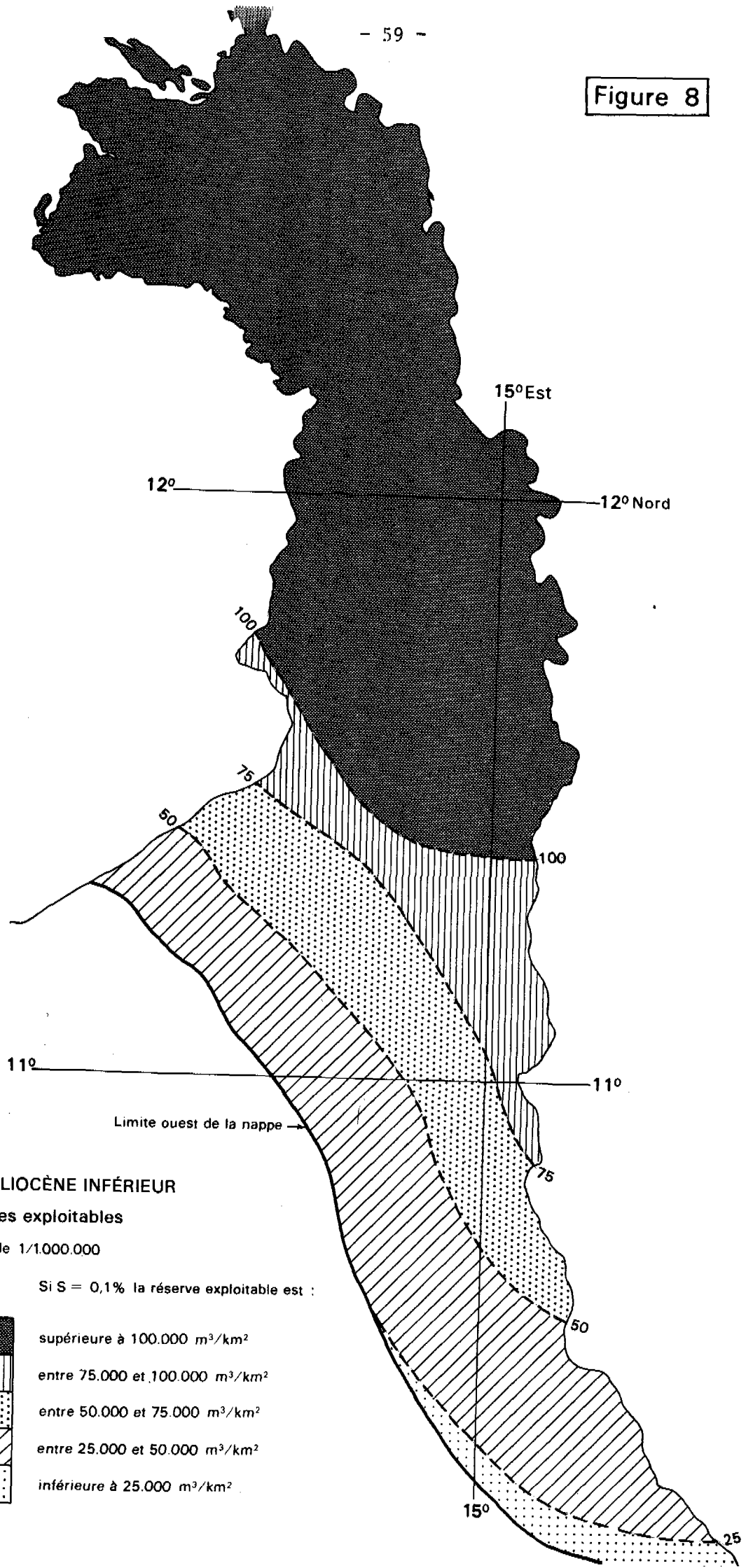
3.2.2. - Le bassin de Garoua

La ville de Garoua est le principal consommateur de l'eau souterraine pompée de la nappe des Grès de la Bénoué. La production actuellement de 11 000 m³/jour a quadruplé en 10 ans et l'on estime qu'en 1985, elle pourrait atteindre 45 000 m³/jour.

Cette ponction très localisée à partir d'une dizaine de forages conduit à une bonne connaissance locale de la zone supérieure de la nappe. Des pompages d'essai effectués récemment (8 50) ont permis de calculer les caractéristiques hydrauliques de cette "tranche" supérieure des grès :

- la transmissivité T varie entre 3×10^{-3} et $1,7 \times 10^{-2}$ m²/s
- le coefficient d'emmagasinement S, de l'ordre de 25 % lorsqu'il concerne la partie libre de la nappe, passe à 10^{-4} et à 5×10^{-4} dans la partie captive profonde.

Figure 8



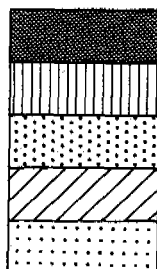
NAPPE DU PLIOCÈNE INFÉRIEUR

Réserves exploitables

Échelle 1/1.000.000

Rabatement admissible

- supérieure à 100 m
- entre 75 et 100 m
- entre 50 et 75 m
- entre 25 et 50 m
- inférieure à 25 m



Si $S = 0,1\%$ la réserve exploitable est :

- supérieure à 100.000 m^3/km^2
- entre 75.000 et 100.000 m^3/km^2
- entre 50.000 et 75.000 m^3/km^2
- entre 25.000 et 50.000 m^3/km^2
- inférieure à 25.000 m^3/km^2

Sur le tableau des points d'eau(3.2) on constate que les débits pompés sur ces forages de Garoua vont couramment de 60 à 120 m³/h avec des débits spécifiques de 5 à 10 m³/h par m de rabattement.

L'eau est très peu minéralisée, probablement corrosive en raison du faible pH ; voici les principaux éléments (en mg/l) donnés par l'analyse de l'eau prélevée sur le forage n° 256 :

- Ca = 2,4 ; Mg = 0,9 ; Na = 1,3 ; K = 8,4 ; Fe ≤ 0,1
- HCO₃ = 24,4 ; Cl = 1,2 ; SO₄ = 9 ; NO₃ = 2,1
- Résidu sec = 50 ; pH = 5,1 ; TH = 0,97° F

Les renseignements lithologiques obtenus sur les sondages de reconnaissance autorisent à penser que l'on pourrait créer de nombreux forages profonds dans l'ensemble du bassin pour solliciter les divers horizons aquifères, en sélectionnant les plus productifs à partir des diagraphies géophysiques.

Les ressources renouvelables

A la différence de ce qui a été souligné sur le bassin du Tchad, la notion de ressources renouvelables s'applique bien ici en raison de la part prédominante de la recharge directe à partir des précipitations sur les grès affleurants.

Volume annuel infiltré (en 10 ³ m ³ /km ²)	Superficie concernée (en 10 ³ km ²)	Rre (en 10 ⁶ m ³)
150	7,7	1 155
75	0,1	7
TOTAUX	7,8	1 162

Les réserves exploitables

Sur la feuille 1 on a diversifié 4 zones de valeurs pour les réserves exploitables à partir de rabattements admissibles compris entre 1 et 100 m, par tranches de 25 m, avec S = 5 %. On calcule Rex ci-dessous :

$$4\ 400 \cdot 10^3 \times 1,87 \cdot 10^3 = 8\ 228 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$3\ 100 \cdot 10^3 \times 0,95 \cdot 10^3 = 2\ 945 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$1\ 900 \cdot 10^3 \times 1,25 \cdot 10^3 = 2\ 375 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$600 \cdot 10^3 \times 3,7 \cdot 10^3 = 2\ 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Rex totales de la nappe des Grès de Garoua} = 15\ 748 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Ce résultat, proche de 16 milliards de m³, dépend beaucoup du coefficient d'emmagasinement supposé : S = 5 %. A Garoua, les pompages d'essai ont montré que S pouvait être de 25 % ; dans certaines zones du bassin où les argiles recouvrent les grès sur plusieurs dizaines de mètres, il faudrait pomper très longtemps pour atteindre la partie libre avec S ≥ 10⁻². La réalité s'écarte certainement de cette valeur unique adoptée par simplification et les reconnaissances ultérieures permettront de l'approcher davantage.

3.2.3. - Le bassin de Douala

Les travaux de reconnaissance hydrogéologique et d'exploitation des principaux aquifères devraient se développer dans l'avenir. Au stade actuel, on ne peut que fournir une esquisse grossière des possibilités de ce bassin.

Les ressources renouvelables

Le tableau décomposant Rex pour les 3 zones figurées en feuille 1 se présente ainsi :

Volume annuel infiltré ($10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$)	Superficie concernée (en 10^3 km^2)	Rre (en 10^6 m^3)
1 300	3,28	4 264
900	3,52	3 168
700	0,7	490
TOTAUX	7,50	7 922

Les réserves exploitables

Les réserves exploitables sont, selon les régions, celles de la nappe la plus importante qui puisse être captée en respectant les limites conventionnelles de profondeur des ouvrages et de rabattement énoncées en première partie au § 2.5.1. D'Est en Ouest, l'évaluation concerne : la nappe des grès de base, la nappe des sables paléocènes, la nappe des sables miopliocènes.

Cette disposition a dû être adoptée également pour élaborer les cartes de productivité de ce coût de l'eau.

Avec $S = 5 \%$ et des rabattements admissibles compris entre 1 m et plus de 100 m dans les zones d'artésianisme la feuille 1 comporte 6 plages de valeurs de Rex calculée ci-dessous :

$$5\,200 \cdot 10^3 \times 0,4 \cdot 10^3 = 2\,080 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$4\,500 \cdot 10^3 \times 2,4 \cdot 10^3 = 10\,800 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$3\,500 \cdot 10^3 \times 1,8 \cdot 10^3 = 6\,300 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$2\,500 \cdot 10^3 \times 0,6 \cdot 10^3 = 1\,500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$1\,500 \cdot 10^3 \times 0,4 \cdot 10^3 = 600 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$500 \cdot 10^3 \times 0,7 \cdot 10^3 = 350 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Rex totales du bassin de Douala} = 21\,630 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

En éliminant $1\,200 \text{ km}^2$ de mangroves et marécages sur les $7\,500 \text{ km}^2$ du bassin, la surface retenue pour déterminer Rex est donc de $6\,300 \text{ km}^2$. Les 21,6 milliards de m^3 évalués correspondent à une lame d'eau moyenne de 3,40 m, ce qui paraît tout à fait vraisemblable. Une telle réserve constitue un bon volant régulateur pour les futurs exploitants ; il ne serait utilisé que très localement puisque le renouvellement annuel élevé de la ressource suffirait à compenser de forts prélèvements bien répartis sur le bassin.

Supposons en effet que pour éviter l'invasion saline par l'océan on n'opère aucun prélèvement d'eau souterraine sur les 1 200 km² de mangroves et marécages où Rex est de l'ordre de $1\,300 \times 10^3 \text{ m}^3$ par km², soit $1,56 \times 10^9 \text{ m}^3$ au total ; cette masse d'eau infiltrée en moyenne chaque année jouant le rôle de "barrière anti-sel", les ressources renouvelables restantes seraient de :

$$7,92 - 1,56 = 6,36 \text{ milliards de m}^3/\text{an.}$$

Le pompage de la moitié de cet apport annuel aux nappes représenterait un débit permanent de l'ordre de 100 m³/s.

4. - OUVRAGES DE REFERENCE

Les points d'eau cités en référence dans les pages suivantes sont ainsi regroupés :

- Tableau 1

Points d'eau en aquifères discontinus : ces 11 puits et forages en terrains cristallins figurent sur la feuille 1,

- Tableau 2

Points d'eau en aquifères généralisés, d'extension limitée : ce sont les 11 forages de reconnaissance dans les petits bassins sédimentaires et dans les dépôts d'origine volcanique reportés sur la feuille 1,

- Tableau 3

Points d'eau des aquifères généralisés : ce sont les 71 puits et forages des 3 grands bassins sédimentaires situés sur les cartes de productivité T1, G1 et D1 de la feuille 2.

La position des 46 forages pétroliers réalisés dans le bassin de Douala est donnée également ; le triangle et le symbole désignant ces points sont placés sur la carte D1, pour 6 d'entre eux ; pour les 40 restants, souvent proches les uns des autres, le lecteur se référera à la figure 2 en première partie de la notice.

TABLEAU 1 - POINTS D'EAU EN AQUIFERES DISCONTINUS

N° de Clas.	Désignation	Coordonnées		Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabatement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Résidu sec (mg/l)	Terrain aquifère
		Latitude N	Longitude E							
1	Mora-Est n° 5	11° 02' 44"	14° 12' 54"	34,65	10,70	1,3	2,4	0,54	444	Granite
2	Kourgui n° 2	11° 05' 13"	14° 06' 23"	30	8,59	1,1	4,6	0,24	363	Gneiss
3	Koza n° 1	10° 53' 31"	13° 54' 21"	32,9	11,08	18	1	18	-	Alluvions
4	Koza n° 2	10° 53' 54"	13° 53' 40"	29,8	3,14	18	0,95	19	-	Alluvions
5	Moutouroua n° 2	10° 12' 35"	14° 10' 54"	35	4,05	1,33	13,48	0,1	260	Granite
6	Guider Recon. F4	9° 00' 56"	13° 56' 00"	18	1,28	18,5	0,75	24,7	150	Syénite
7	Bidzar Recon. F1	9° 55' 00"	14° 06' 20"	32,5	2,4	50	?	?	-	Cipolins
8 P	Ndonga	9° 19' 45"	13° 46' 45"	13	7	7,2	?	?	-	Schistes ?
9 P	Bessoum-Bouba	9° 32' 30"	13° 53' 00"	8,5	3,5	3	?	-	-	-
10 P	Bessoum-Labaya	9° 33' 00"	13° 54' 40"	8,00	2	2,8	?	-	-	-
11 P	Baboudji	9° 26' 30"	14° 09' 00"	11	3	5	?	-	-	Arènes granitiques

TABLEAU 2 - AQUIFERES GENERALISES (d'extension limitée)

N° de Clas.	Désignation	Coordonnées		Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Terrain aquifère
		Latitude N	Longitude E						
101	Hama-Koussou S 2	9° 37' 20"	13° 27' 30"	161,10	4,8	-	-	-	Argile et grès créta- cés - socle à 161 m
102	Babouri S 3	9° 48' 45"	13° 49' 10"	51,50	3,20	-	-	-	" "
103	Sorawel S 5	9° 45' 15"	13° 50' 50"	40,7	26	-	-	-	" "
104	Sorawel S32	9° 47' 15"	13° 52' 00"	251	+ 2,5 *	0,2	2,5	-	Argile et grès créta- cés - socle à 240 m
105	Figuil S6B	9° 46' 35"	13° 57' 45"	35,15	5	-	-	-	Argile et grès créta- cés
106	Séboré Nord S 7	9° 42' 50"	13° 51' 00"	51,2	4,50	-	-	-	" "
107	Kagouma S 9	9° 40' 15"	13° 55' 50"	52,5	2,90	-	-	-	Grès créta- cés
108	Séboré Est S31	9° 41' 40"	13° 53' 10"	453,40	6,80	-	-	-	Argile, marne et grès créta- cés
109	Sonara F 1	4° 00' 49"	9° 07' 14"	29,80	8,50	33,7	0,055	610	Scories basaltiques
110	Sonara F 2	4° 00' 52"	9° 07' 34"	69,00	29,30	28,4	0,07	410	" "
111	Sonara F 3	4° 00' 36"	9° 07' 28"	50,50	17,62	28	0,056	500	" "

* Forage artésien

TABLEAU 3 - AQUIFERES GENERALISES

N°	Désignation de l'ouvrage	Altitude (m) > 0	Prof. ouvr. (m)	Prof. eau (m)	Crépine		Débit (m³/h)	Rabat. (m)	Débit spéc. (m³/h/m)	H ou T **	Rabat. admis. Da (m)	P **	Résidu sec (mg/l)
					L (m)	Ø (")							
3.1. - BASSIN DU TCHAD													
3.1.1. - Points d'eau de la nappe des terrains quaternaires													
201	Waza (WZI)	≈ 305,00	49,10	7,39	27,5	5 1/4	15,84	2,31	6,85	38,0	12,60	A	444
202	Ganse n° 2	≈ 362,00	19,50	7,10	8,0	5 1/4	18,00	6,30	2,86	12,0	4,00	A	83
203 *	Yik 7-GF-2	289,05	27,35	21,80	-	-	2,60 •	-	-	4.10 ⁻⁵	-	-	-
204 *	Ambaka 13-GF-2	≈ 290,00	19,82	14,70	-	-	2,28 •	-	-	4.10 ⁻⁵	-	-	-
205 *	Ouroungouime 15-GF-9	291,34	26,30	22,54	-	-	1,35 •	-	-	4.10 ⁻⁵	-	-	-
206 *	Maltam 16-GF-1	293,43	15,75	11,84	-	-	2,40 •	-	-	3.10 ⁻⁵	-	-	-
207 *	Kabo-Kabir 19-GF-4	291,36	36,30	33,20	-	-	1,42 •	-	-	9.10 ⁻⁵	-	-	320
208 *	Goues 1-MO-5	292,49	34,42	30,25	-	-	2,60 •	-	-	6.10 ⁻⁵	-	-	-
209 *	Zigague 4-MO-1	298,16	22,72	18,00	-	-	3,00 •	-	-	-	-	-	518
210 *	Am-Chedire 4-MO-3	294,94	37,00	33,00	-	-	1,90 •	-	-	4.10 ⁻⁵	-	-	700
211 *	Ndiguina 12-MO-1	301,02	28,75	25,80	-	-	1,40 •	-	-	8.10 ⁻⁵	-	-	508
212 *	Tagahouat 17-MO-3	304,95	78,00	66,58	-	-	0,10 •	-	-	-	-	-	844
213 *	Tchede 20-MO-1	305,83	9,00	6,70	-	-	1,73	-	-	7.10 ⁻⁴	-	-	521
214 *	Alagarno 27-MO-4	311,81	44,80	36,30	-	-	0,87	-	-	2.10 ⁻⁵	-	-	500
215 *	Kane-Kane 27-MO-5	≈ 310,00	31,40	27,45	-	-	0,50	-	-	-	-	-	737
216	Maroua AEP n° 1	≈ 395,00	15,00	2,20	5,0	9 5/8	40,00	7,90	5,06	13,0	4,30	A	-
217	Maroua AEP n° 2	≈ 395,00	15,70	2,25	4,0	16	80,00	6,75	11,85	13,5	4,50	B	-
218	Maroua AEP n° 5	≈ 405,00	22,00	2,47	8,0	8	43,00	9,73	4,42	16,5	5,50	A	-
219	Maroua PNUD n° 2	414,00	11,40	2,69	11,0	5 1/4	10,80	0,44	24,50	5,3	1,75	A	312
220	Maroua PNUD n° 5	411,00	18,75	1,86	10,7	7 1/2	16,10	1,83	8,80	13,5	5,50	A	96
221	Maroua PNUD n° 6	414,00	16,50	1,03	5,0	5 1/4	15,80	10,65	1,48	12,0	4,00	A	147
222	Maroua FTM R 7	405,00	32,40	3,25	7,2	2 1/2	11,80	1,10	10,70	13,0	4,30	A	-
223	Maroua FTM R 8	405,00	22,00	3,56	?	-	15,00	0,95	15,80	17,0	5,70	B	-
224	Maroua SNEC n° 9	≈ 410,00	23,65	1,39	17,0	8	61,00	2,95	20,70	21,0	7,00	B	161
225	Maroua SNEC n° 10	≈ 386,00	25,00	5,88	14,0	8	44,00	1,44	30,60	18,0	6,00	C	183
226	Maroua SNEC n° 8	≈ 405,00	24,00	1,28	14,0	8	41,00	6,36	6,40	22,0	7,30	A	99
227	Maga PNUD n° 4	≈ 310,00	93,00	-	-	-	-	-	28,00	-	-	-	-
228	Goulfey PNUD n° 1	≈ 295,00	33,89	7,16	9,0	6 1/2	4,50	1,71	2,60	20,0	6,60	A	-
229	Kousseri Mt Rabat	≈ 297,00	64,00	6,45	9,0	6 1/2	7,20	6,85	1,05	27,0	9,00	A	-
3.1.2. - Points d'eau de la nappe du Pliocène inférieur													
230	Yagoua Semry 3	≈ 318,00	82,30	7,50	21,0	4	21,00	2,50	8,40	69,0	23,00	C	-
231	Logone Birni FAO n° 3	297,80	298,60	2,74 ⁺	6,0	1 3/4	5,70	2,29	2,50	340,0	113,00	D	440
232	Zina (FAO)	304,94	363,93	1,65	2,0	1 3/4	0,82	1,45	0,57	318,0	106,00	(D)	322
233	Ngodeni (FAO)	303,25	1000,00	0,03	2,0	2	8,00	1,20	6,66	318,0	106,00	D	-
234	Kousseri FAO n° 2	294,45	300,00	0,57 ⁺	10,0	3	0,1?	0,1?	≈ 1,00	345,0	115,00	(D)	-
3.1.3. - Points d'eau de la nappe du Continental terminal													
235	Log Birni FAO n° 2	297,80	614,17	6,10 ⁺	2,0	1 3/4	8,20	5,65	1,45	620,0	207,00	(D)	630
236	Kousseri FAO n° 1	294,50	592,25	9,00 ⁺	10,0	3	35,80	8,30	4,30	600,0	200,00	(D)	-
237	Sabata FAO	303,29	269,21	11,20	1,5	1 3/4	0,45	22,10	0,02	258,0	86,00	(A)	420

TABLEAU 3 - AQUIFERES GENERALISES (suite)

N°	Désignation de l'ouvrage	Altitude (m) > 0	Prof. ouvr. (m)	Prof. eau (m)	Crépine		Débit (m³/h)	Rabat. (m)	Débit spéc. (m³/h/m)	H ou T **	Rabat. admis. Da (m)	P :	Résidu sec (mg/l)
					L (m)	Ø (")							
3.1.4. - Forages de reconnaissance indiquant seulement la nature et la géométrie des aquifères													
238	Nakari FAD	≈ 286,00	100,00	-	8,0	12 1/2	Arrêté dans le Pliocène supérieur argileux						
239	Oulki FAD	≈ 288,00	504,00	-	10,0	3	Arrêté dans le Continental terminal argilo-sableux						
240	Tane FAD	≈ 289,00	350,00	-	-	-	Arrêté dans le Continental terminal sablo-argileux						
241	Waza-Lerici	305,20	269,40	-	-	-	A rencontré le socle cristallin à 250 m						
242	Ndiguina-Lerici	≈ 300,00	409,30	-	-	-	Arrêté dans le Continental terminal grès-argileux						
243	Tcheda-Lerici	≈ 300,00	316,00	-	-	-	A rencontré le socle à 306 m						
244	Sabata-Lerici	≈ 304,00	261,70	-	-	-	A rencontré le socle à 260 m						
245	Yagoua-Lerici	≈ 322,00	367,20	-	-	-	A rencontré le socle à 365 m						
3.2. - BASSIN DE GAROUA													
250	Garoua AEP F 1	≈ 222,00	60,40	19,00	11,4	6	62,00	17,50	3,50	42,0	14,00	A	-
251	Garoua AEP F 2	≈ 215,00	41,20	13,40	10,0	6	50,00	11,50	4,30	28,0	9,00	A	-
252	Garoua AEP F 5	≈ 225,00	68,00	23,00	12,0	5	72,00	5,00	14,40	42,0	14,00	C1	-
253	Garoua AEP F 6	≈ 195,00	77,00	13,65	8,0	8	110,00	12,00	9,16	63,0	21,00	C2	-
254	Garoua AEP F 7	≈ 195,00	73,30	20,12	9,0	5	63,00	5,88	10,70	53,0	17,60	C2	-
255	Garoua AEP F 9	≈ 210,00	84,65	23,10	28,0	8	120,00	17,96	6,70	62,0	20,70	(C2)	45
256	Garoua AEP F 10	≈ 205,00	84,75	22,10	28,0	8	118,00	15,32	7,70	63,0	21,00	(C2)	50
257	Garoua (F 12)	≈ 178,00	81,00	1,50 ⁺	12,0	8	10,00	40,00	0,25	81,0	27,00	A	-
258	Garoua WAKUTI S 10	202,10	402,00	9,40	-	-	42,60	11,80	3,60	Essai en cours de forage. Socle non atteint			66
259	Niakara WAKUTI S 14	195,50	156,30	2,50	-	-	-	-	-	"	"	"	-
260	Touroua WAKUTI S 16	203,40	180,00	7,10	-	-	-	-	-	"	"	"	-
261	Sanguere WAKUTI S 17	303,20	222,50	34,00	-	-	-	-	-	"	"	"	196
262	Lamouden WAKUTI S 18	301,00	15,00	?	-	-	-	-	-	Socle non atteint, présumé proche			350
263	Boki WAKUTI S 19	323,40	95,00	17,00	-	-	-	-	-	Socle atteint à 94,50 m			148
264	Maari WAKUTI S 20 A	226,70	347,40	8,80	-	-	-	-	-	Socle non atteint			307
265	Gaschiga WAKUTI S 21	242,90	37,15	12,50	-	-	-	-	-	"	"	"	209
266	Saski WAKUTI S 22	188,30	52,50	8,00	-	-	-	-	-	"	"	"	-
267	Rey Bouba WAKUTI S 24	233,30	229,35	11,60	-	-	-	-	-	Socle atteint à 226 m			-
268	N'Djola WAKUTI S 27	307,40	153,00	12,50	-	-	19,20	2,50	7,70	Socle à 152 m			-
269	Tcheboa WAKUTI S 29	215,80	68,50	2,50	-	-	-	-	-	Socle à 61 m			-
3.3. - BASSIN DE DOUALA													
270	Douala BGI S 10	≈ 15,00	65,00	16,30	14,0	9	88,00	10,87	8,10	41,0	13,70	B	50
271	Tangui BGI Reconnais.	≈ 72,00	152,00	29,73	50,0	4	10,00	11,36	0,88	122,0	41,00	A	218

** P : Productivité

* Puits

** - H : hauteur d'eau (m) - T : transmissivité (m²/s)

• Débit théorique de remplissage du puits pendant la première 1/2 heure après pompage d'épuisement

+ Niveau piézométrique plus haut que le sol = artésianisme

Nota : Voir également en feuille 2, cartouche et sur l'extrait de carte à 1/200 000 page la localisation des forages pétroliers dont les coupes sont utilisables pour déterminer la géométrie des horizons aquifères.

BIBLIOGRAPHIE DU CAMEROUN

- (40) *Biscaldi R.* (1970) - Hydrogéologie de la nappe phréatique du Logone - Chari - Tchad - Rapport de fin de mission 1969-70 - Rapport BRGM 70 YAO 003.
- (41) *Bourgeois M.* (1977) - Etude hydrogéologique d'orientation pour le captage d'eau minérale au Cameroun - Rapport BRGM 77 AGE 013.
- (42) CGG (1964) - Etude hydrogéologique par prospection géophysique dans le Nord Cameroun - Zone de piémont.
- (43) *Chiarelli A.* (1978) - Etude des nappes aquifères profondes du bassin de Douala Cameroun - In : Hydrogéologie des grands bassins sédimentaires - Conférence de Budapest 1976 - Association Internationale des Hydrogéologues - Mémoires vol. XI, tome XI.
- (44) *Dassibat C.* (1967) - Etude hydrogéologique des Monts Mandaras - Rapport BRGM YAO 67 A6.
- (45) *Gulf Oil Company of Cameroun* - Log des sondages Misselle IX (1975) - Pungo IX (1978).
- (46) HYDROGEO (1975) - Recherche et exploitation pilote d'eaux souterraines dans le Nord-Cameroun - Contrat PNUD 58/72 - Rapport HYDROGEO - Rome.
- (47) *Lavie J.* (1978) - Résultats du sondage de reconnaissance de Tangui - Recherche d'eau minérale au Cameroun - Rapport BRGM 78 AGE 009.
- (48) *Lerici C.M.* (1967) - Etudes hydrogéologiques au Nord-Cameroun : janvier-mai 1966, décembre 1966, mai 1967 - Fondazione Ing. C.M. Lerici del Politecnico - Milano - Rapport final n° 427.
- (49) *Martin G.* (1978) - Alimentation en eau des villes de Garoua, Maroua et Guider - Etudes et travaux mai 1977 - juin 1978 - Rapport BRGM 78 AGE 002.
- (50) *Martin G.* (1978) - Alimentation en eau de la Brasserie de Douala - Forage F 10 des Brasseries du Cameroun - Rapport BRGM 78 AGE 010.
- (51) *Peaudecerf P.* (1970) - Etude hydrogéologique de la nappe phréatique du Logone - Chari - Tchad - Compléments hydrodynamiques - Rapport BRGM 70 YAO 005.
- (52) *Schneider J.L.* (1968) - Mission de coordination des études hydrogéologiques FED - Remarques sur les études géophysiques de Lerici - Rapport BRGM YAO 69 001.

- (53) *Schwoerer P. (1968)* - Mission de coordination des études hydrogéologiques dans le Nord-Cameroun (FED) - Rapport BRGM 68 YAO 001.
- (54) *Schwoerer P., Risler J.J., Dassibat C. (1965)* - Mission de recherches hydrogéologiques - Plaine de piémont - FAC - BRGM - Rapport BRGM YAO 65 A 13.
- (55) *SEREPCA (dates variables)* - Carte géologique du bassin de Douala à 1/500 000 - Coupes de forages de recherche géologique et pétrolière - Société de recherche et d'exploitation du pétrole au Cameroun.
- (56) *Steenhoudt M. (1977)* - Alimentation en eau de la Raffinerie de Victoria Cameroun - Etude pour SONARA - Rapport BRGM 77 AGE 029.
- (57) *Tillement B. (1962)* - Hydrogéologie du Nord-Cameroun - Thèse Ing. Dtr. Univ. Cl. Bernard - Lyon.
- (58) *WAKUTI (1968)* - Etude hydrogéologique du bassin créacé de la Bénoué - FED/ET 824 - Rapport WAKUTI - Siegen RFA.
- (59) *WAKUTI (1968)* - Etude hydrogéologique des 3 bassins synclinaux créacés du mayo Oulo, de Babouri-Figuil et de Hama-Koussou - Rapport WAKUTI - Siegen RFA.