

CARTE DE PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES



CÔTE D'IVOIRE
GHANA
TOGO
BENIN

COMITÉ INTERAFRICAIN D'ÉTUDES
HYDRAULIQUES



1970

824 APW 70
3855

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

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

KD 3255

824
AFW78

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

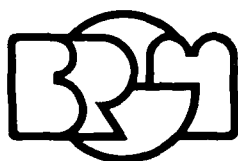
NOTICE EXPLICATIVE

DE LA CARTE DE PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU

DE CÔTE D'IVOIRE, DU GHANA, DU TOGO ET DU BÉNIN

par

M. BOURGEOIS



AGENCE D'ÉTUDES DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE A L'ÉTRANGER

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél. : (38) 63.80 01

S O M M A I R E

-	AVERTISSEMENT	1
-	RESUME DES THEMES CARTOGRAPHIES	2
-	AVANT-PROPOS.	5
1	- OBJET DES CARTES.	5
2	- THEMES CARTOGRAPHIES.	5
	2.1. - FOND GEOGRAPHIQUE.	6
	2.2. - HYDROLOGIE	6
	2.2.1. - Les lacs de barrage	7
	2.2.2. - Modulation du tracé des cours d'eau en fonction du débit d'étiage. Débits des crues	7
	2.3. - RESSOURCES RENOUVELABLES DES AQUIFERES	9
	2.3.1. - Détermination des précipitations efficaces (Pf).	10
	2.3.1.1. - Méthode classique.	10
	2.3.1.2. - Méthode simplifiée	11
	2.3.2. - Evaluation de la fraction infiltrée	13
	2.4. - AQUIFERES DISCONTINUS.	16
	2.4.1. - Faciès lithostratigraphiques.	16
	2.4.2. - Ouvrages de référence	17
	2.5. - AQUIFERES GENERALISES.	18
	2.5.1. - Réserves exploitables	18
	2.5.2. - Productivité.	20
	2.5.3. - Minéralisation de l'eau	22
	2.5.4. - Ouvrages de référence	22

2.5.5.	- Coût de l'eau	25
2.5.5.1.	- Dépenses d'énergie	25
2.5.5.2.	- Dépenses d'investissement et d'entretien.	26
a -	Le forage.	26
b -	L'équipement de pompage.	30
c -	L'équipement moteur.	30
2.5.5.3.	- Elaboration des cartes de coût et commentaire.	32
3 -	UTILISATION DES CARTES.	36
4 -	CONCLUSION.	39
5 -	BIBLIOGRAPHIE - OUVRAGES GENERAUX	41
- NOTICES PAR PAYS :		
. COTE D'IVOIRE		45
. GHANA		60
. TOGO.		77
. BENIN		87

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1	: Ecoulement souterrain dans 15 sous-bassins du Fleuve Volta	13
TABLEAU 2	: Points d'eau en aquifères discontinus de Côte d'Ivoire	53
TABLEAU 3	: Points d'eau en aquifères généralisés de Côte d'Ivoire	56
TABLEAU 4	: Points d'eau en aquifères discontinus au Ghana	72
TABLEAU 5	: Points d'eau en aquifères généralisés au Ghana	74
TABLEAU 6	: Points d'eau en aquifères discontinus au Togo.	84
TABLEAU 7	: Points d'eau en aquifères généralisés au Togo.	85
TABLEAU 8	: Points d'eau en aquifères discontinus au Bénin	96
TABLEAU 9	: Points d'eau en aquifères généralisés au Bénin	98

- AVERTISSEMENT :

Les trois cartes jointes en pochette de la présente notice, à savoir :

- FEUILLE 1 : Carte de planification des ressources en eau de la Côte d'Ivoire,
- FEUILLE 2 : Carte de planification des ressources en eau du Ghana, du Togo et du Bénin,
- FEUILLE 3 : Carte de planification des ressources en eau de Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et du Bénin - Bassins sédimentaires côtiers,

sont destinées, comme leur nom le suggère, à répondre aux problèmes de planification relatifs aux ressources en eau, souterraines essentiellement, soit par exemple :

- En un point déterminé à quel type d'aquifère généralisé ou discontinu avons-nous affaire ? Quelle est la nature des formations aquifères, quel est l'ordre de grandeur des débits exploitables ?

- Quel est le stock d'eau souterraine disponible dans tel aquifère ? autrement dit : quelles sont les réserves exploitables ?

- Comment se fait la reconstitution du stock après prélèvement d'un certain volume d'eau, c'est à dire quelle est en moyenne annuelle la ressource renouvelable ?

- Quel débit peut-on extraire d'un puits ou d'un forage correctement exécuté en un point donné ou encore quelle est la productivité journalière d'un captage ?

- Quel est le coût d'exploitation du mètre cube d'eau souterraine dans une région donnée. Peut-on le comparer au mètre cube extrait dans les régions voisines ?

Ces cartes peuvent être utilisées seules sans le complément de cette notice ; les légendes et avertissements qui accompagnent ces cartes permettent, en effet, une compréhension directe. Il va sans dire, cependant, qu'une consultation attentive de la notice permettra d'approfondir et de compléter les informations apportées par les cartes, d'en cerner les domaines d'utilisation mais aussi les limites, ce qui est fort important.

RESUME DES THEMES CARTOGRAPHIES

- FEUILLES 1 ET 2 :

Dans la zone d'Afrique objet de notre propos, les terrains cristallins ou sédimentaires anciens, imperméables en profondeur, s'étendent sur de grandes surfaces. L'eau s'accumule inégalement dans les fissures de la tranche supérieure de la roche ou dans les produits de décomposition plus ou moins argileux qui la recouvrent sur une épaisseur variable pour former des aquifères discontinus. Au contraire, les couches de sables, de grès, de calcaires des bassins sédimentaires côtiers récents qui présentent une bonne continuité, constituent des aquifères généralisés.

La nature lithologique des aquifères discontinus a été représentée par des figurés de couleur verte caractéristiques chacun des principaux faciès lithologiques délimités par les cartes géologiques.

Pour les aquifères généralisés la même couleur a été conservée en modulant toutefois le figuré en fonction de la réserve exploitable de l'aquifère représenté.

Les ressources en eau superficielle ont été cartographiées et le cours des rivières a été repris en traits bleus continus ou pointillés dont l'épaisseur est représentative de la valeur du débit d'étiage médian (exprimé en m^3/s) obtenu par calcul sur plusieurs années d'observations de la moyenne des débits mensuels les plus faibles, et susceptible d'être atteint une année sur deux.

Pendant la période "sèche" cet écoulement provient en totalité des aquifères ; le réseau hydrographique des cartes donne l'image d'un minimum relatif du débit des nappes, ce qui constitue un "bon coup d'oeil d'ensemble" sur les possibilités en eau souterraine d'une région.

Le débit de crue médian connu en quelques stations correspond au plus fort débit journalier observé sur plusieurs années et susceptible d'être atteint, une année sur deux.

La ressource renouvelable représente la hauteur d'eau, ou encore le volume par km^2 , qui parvient en moyenne annuelle à l'aquifère. Une fraction importante des précipitations est reprise par l'évapotranspiration ; le reste se dénomme : précipitations efficaces, ou plus couramment : pluie efficace, dont une partie ruisselle directement (ou presque) vers la rivière tandis que l'autre pénètre dans le sous-sol vers la nappe : c'est la ressource renouvelable. La légende indique, selon les terrains, l'estimation de la part qui rejoint la nappe et la valeur de la ressource renouvelable apparaît en trames jaunes et orangées d'intensité variable sur la carte.

La réserve exploitable est définie par la légende : la réserve doit être exploitable dans certaines conditions économiques, d'où

les limites de profondeur adoptées pour les forages et le relevage de l'eau ; en outre, comme il ne s'agit pas de "vider" complètement l'aquifère, on conviendra que le rabattement ne doit pas dépasser 1/3 de la hauteur d'eau dans le forage et l'on réduira encore ce rabattement admissible à l'approche du littoral en vue de maintenir l'équilibre eau douce - eau salée. La réserve exploitable dépendra donc du rabattement obtenu et du coefficient d'emmagasinement local de la nappe, coefficient correspondant schématiquement au pourcentage d'eau récupérable pour un volume unitaire d'aquifère.

Les ouvrages de référence des aquifères discontinus : De nombreux puits ou forages ont été creusés dans les aquifères discontinus et les travaux se poursuivent aujourd'hui à un rythme accéléré. Choisis parmi les plus productifs, 260 points d'eau sont reportés sur les feuilles 1 et 2, repérables par leurs numéros de classement précédés de la lettre C pour la Côte d'Ivoire, G, T et B respectivement pour le Ghana, le Togo et le Bénin. Leurs caractéristiques techniques : profondeur, profondeur de l'eau, débit, rabattement, débit spécifique sont donnés dans des tableaux récapitulatifs placés en fin de notice par pays.

- FEUILLE 3 :

La feuille 3 apporte des informations complémentaires sur les aquifères généralisés ; elle visualise les variations de productivité, de coût d'exhaure, et de minéralisation de l'eau.

La productivité d'un forage correctement exécuté est par définition égale au produit du débit spécifique par le rabattement maximal admissible. Elle est exprimée en m^3 /jour.

Le débit spécifique est conditionné par la transmissivité locale du système aquifère, et le rabattement maximal admissible est égal au 1/3 de la hauteur d'eau dans le forage avec un maximum de 100 m sous le sol.

Pour chacun des aquifères généralisés quatre classes de productivité sont distinguées, par référence aux résultats des pompages sur les forages existants ; elles apparaissent sur les cartes en quatre nuances différentes, soit sous forme de teinte uniforme lorsque la productivité est calculée, soit sous forme de hachurage si la productivité est estimée.

Le coût d'exploitation du m^3 d'eau est déterminé en supposant quatre types de forages correspondant aux quatre classes de productivité ; chaque type est défini par ses principales caractéristiques et l'on montre que l'incidence du coût-forage rapporté au m^3 d'eau produit, est proportionnel à la profondeur de l'ouvrage. De même l'équipement de pompage adapté à chaque ouvrage - une pompe à axe vertical actionnée par moteur diesel - entraînera un coût de pompage, comprenant les dépenses d'investissement et de fonctionnement, proportionnel à la hauteur de relevage du m^3 d'eau pompé. En pratique deux abaques simples permettent un calcul rapide du coût d'exploitation du m^3 d'eau.

La minéralisation : L'eau étant généralement peu minéralisée, la part faite à la minéralisation est réduite au tracé de l'isocône 1 g/l, à quelques kilomètres au Nord du littoral ; en notice, le résidu sec ou la résistivité est indiqué dans les tableaux récapitulatifs des points d'eau.

Les ouvrages de référence des aquifères généralisés : Une sélection de 180 forages jugés représentatifs des bassins sédimentaires côtiers a été réalisée. Les forages reportés sur la feuille 3 sont repérables par leur numéro de classement précédé de la lettre C pour la Côte d'Ivoire, G, T et B respectivement pour le Ghana, le Togo et le Bénin. Leurs caractéristiques techniques : aquifère capté, altitude, profondeur, profondeur de l'eau, crépine (longueur - diamètre) , débit, rabattement, débit spécifique, rabattement admissible, résidu sec, sont données dans des tableaux récapitulatifs placés en fin de notice par pays.

- AVANT-PROPOS :

Cette notice explicative comprend une première partie relative à la conception et au contenu des cartes, suivie de quatre chapitres spécifiques des quatre pays concernés.

Les cartes de planification des ressources en eau de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et du Bénin ont été réalisées en 1977-78 par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) à la demande du Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), au titre d'une convention en date du 26 juillet 1977 financée sur crédits du Fonds d'aide et de coopération de la République Française (FAC).

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 font apparaître la nature, l'extension et les caractéristiques essentielles des deux grandes catégories de nappes existantes en Afrique de l'Ouest :

- *les aquifères discontinus*, localisés surtout dans les terrains anciens cristallins ou sédimentaires,
- *les aquifères généralisés*, constitués par les couches poreuses ou fissurées des bassins sédimentaires côtiers.

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 de chaque pays.

2 - THEMES CARTOGRAPHIES :

Les données relatives aux deux types d'aquifères sont présentées à l'échelle du 1/1000 000 sur la feuille 1 pour la Côte d'Ivoire et sur la feuille 2 pour le Ghana, le Togo et le Bénin. Il s'agit de la répartition des précipitations efficaces moyennes annuelles, des ressources renouvelables qui en découlent, et du régime d'étiage observé en

divers points des rivières, qui traduit globalement le débit issu des nappes en cette période, donc un débit minimal des nappes souterraines.

Grâce aux informations acquises à partir des forages exécutés dans les bassins sédimentaires côtiers, à plusieurs centaines de mètres de profondeur parfois, des éléments complémentaires sont fournis sur les aquifères généralisés, en particulier :

- les réserves d'eau souterraine exploitable pour les quatre pays concernés (feuilles 1 et 2),
- la productivité de ces aquifères représentée en général à 1/500 000 et à 1/1000 000 pour la Paléocène (feuille 3),
- le coût d'exploitation cartographié à 1/500 000 en général et à 1/1000 000 pour le Paléocène (feuille 3),
- la minéralisation de l'eau esquissée par le tracé de l'isocône 1 g/l (feuille 3).

2.1. - FOND GEOGRAPHIQUE :

Le fond géographique des feuilles 1 et 2 est celui des coupures régulières à 1/1000 000 : Abidjan, Bobo-Dioulasso - Accra - Lomé - Porto-Novo, Tamalé et Niamey de la carte internationale du monde publiée en France par l'Institut géographique national (IGN).

Ce fond regroupe le noir et le rouge des feuilles originelles c'est à dire : la toponymie des localités, les frontières entre états, les limites administratives principales, les routes et les voies ferrées, les méridiens et parallèles, les points cotés et installations diverses.

Comme il n'existe pas de coupures homogènes à l'échelle du 1/500 000 pour les régions représentées en feuille 3, le fond géographique utilisé est celui du 1/1000 000 agrandi photographiquement deux fois.

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 sur la feuille n° 3, sans modification pour les cartouches 2.1 et 4.1 et agrandi photographiquement deux fois sur les cartouches à 1/500 000 : 2.1 et 4.1.

Sur les feuilles n° 1 et 2 deux modifications ont été apportées :

- report des limites et tramage des lacs de barrages importants construits ou projetés,

- tracé des fleuves et rivières en tronçons d'épaisseur variable selon le débit d'étiage médian.

2.2.1. - Lacs de barrages :

Sur la feuille n° 1 le contour du lac de barrage d'Ayamé provient de la coupure IGN Abidjan.

Les limites des lacs du barrage de Kossou (existant) et des lacs des barrages projetés de Taabo, Buyo et Soubré ont été ajoutées ; elles correspondent aux esquisses figurant sur un plan fourni par EECI, qui ont été adaptées d'après les courbes hypsométriques des cartes IGN.

Sur la feuille n° 2 les contours des lacs de barrage d'Akosombo et de Bui sont ceux des coupures d'Accra, Lomé, Porto-Novo et de Tamalé ; précisons que le barrage de Bui est toujours en projet.

La limite du lac de barrage de Nangbeto est tirée d'une esquisse relevée au Service hydrologique de la Direction du Génie rural au Ministère de l'Economie rurale du Togo.

Une note de septembre 1974, relative à l'aménagement du Mono, indique le débit qui serait régularisé à Nangbeto et l'utilisation de l'eau pour produire de l'énergie électrique et irriguer les terres.

Dans la monographie ORSTOM (publiée avec le concours financier du CIEH) : "Le bassin du fleuve Volta" (B25)*, les auteurs calculent la puissance fournie au barrage d'Akosombo pour un débit régularisé de 1 090 m³/s, qui a été retenu comme vraisemblablement représentatif. Ce débit correspond à 90 % du module interannuel du fleuve à l'endroit du barrage. Par analogie, les débits régularisés par les autres barrages ont été estimés à 90 % du module interannuel local de la rivière concernée.

Faute d'information sur les documents consultés, l'ORSTOM a bien voulu nous indiquer oralement l'utilisation probable de l'eau des divers barrages de la Côte d'Ivoire.

2.2.2. - Modulation du tracé des cours d'eau en fonction du débit d'étiage - Débits des crues :

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'al-tération.

En prenant chaque année le débit moyen mensuel le plus faible, on peut considérer que ce débit mensuel d'étiage provient presque exclusivement de "l'écoulement souterrain" issu des aquifères.

* Numéro de référence bibliographique de la liste donnée en fin de première partie de la notice.

Connaître cet écoulement mensuel d'étiage en différents points d'un pays, c'est donc apprécier globalement les débits restitués par les aquifères en ces différents points, à l'étiage.

Dans les quatre pays étudiés on peut distinguer schématiquement deux types de climats :

- *dans la zone nord*, la saison des pluies avec le maximum en août, dure environ 5 mois suivis de 7 mois de saison sèche d'octobre à avril,
- *dans le Sud*, il existe deux saisons des pluies : mars-juillet avec maximum en juin et septembre-novembre, avec maximum en octobre, soit 8 mois au total; la "petite saison sèche" est pratiquement réduite au mois d'août et la "grande saison sèche" à décembre-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.

Les données de base utilisées pour établir la hiérarchisation du tracé des cours d'eau proviennent de l'ORSTOM y compris celles qu'il a obtenues par échange de documentation avec le Service hydrologique du Ghana. Il s'agit des tableaux de débits journaliers aux diverses stations de jaugeage publiés dans les annuaires ou repris, après analyse, dans les monographies.

Sur bon nombre de stations on a pu retenir entre 5 et 25 valeurs annuelles d'étiage ; à partir de ces chiffres, la valeur médiane a été recherchée et reportée sur les feuilles n° 1 ou 2.

Pour certaines stations, observées moins régulièrement ou sur une période plus courte, on dispose seulement de quelques débits mensuels d'étiage ; le débit médian que l'on en tire est alors présenté comme probable. Enfin, pour la Côte d'Ivoire, l'ORSTOM a pu fournir en complément une série de valeurs approchées provenant de stations créées récemment sur des petits cours d'eau.

A partir des 208 débits d'étiage inscrits sur les feuilles 1 et 2 la position des zones de passage ou seuils des différentes gammes de débits a été fixée d'après la configuration locale du réseau hydrographique. Pour faciliter la lecture, les tronçons de 0,001 à 0,5 m³/s, 0,5 à 1 m³/s, 1 à 5 m³/s, etc... sont alternativement en traits continus et pointillés d'épaisseur croissante.

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.

L'étude des débits de crue, qui n'ont aucun rapport avec les eaux souterraines, n'intéresse qu'une soixantaine de stations de jaugeage.

Le chiffre retenu est celui du débit annuel de crue médian appelé encore : "à récurrence 2 ans". Il s'agit donc du débit journalier le plus élevé de l'année que la rivière est susceptible d'atteindre une année sur deux.

Dans un certain nombre de cas, les données disponibles ne permettaient d'obtenir que le débit moyen de la crue annuelle, qui apparaît statistiquement un peu supérieur au débit médian.

2.3. - RESSOURCES RENOUVELABLES DES AQUIFERES :

L'eau emmagasinée dans les aquifères est prélevée par l'homme à partir des puits et forages, mais la majeure partie s'écoule vers les sources et rivières, dont le débit en dépend, pour une grande part en toutes saisons, et totalement en période d'étiage.

Pour compenser ces sorties d'eau les nappes sont alimentées principalement par l'infiltration sur de vastes surfaces d'une fraction des précipitations ; accessoirement les apports peuvent provenir des rivières lorsque celles-ci traversent des terrains perméables à des cotes supérieures à celles des nappes.

L'apport direct dû à la pluie dépend de "l'efficacité" de celle-ci et de la "capacité d'infiltration" du terrain.

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 .

Les feuilles 1 et 2 comportent une zonation des pluies efficaces moyennes annuelles données par des courbes limites de 200 en 200 mm/an avec des courbes intermédiaires en tiretés : 100 et 300 mm.

Selon la valeur de la pluie efficace, sept 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 400 mm, c'est à dire supérieure à :
400 000 $m^3/an.km^2$.

2.3.1. - Détermination des précipitations efficaces :

2.3.1.1. - Méthode classique :

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).

Les données sur l'évapotranspiration potentielle Ep ont plusieurs origines :

- pour la Côte d'Ivoire Ep est donné dans la monographie n° 50 de l'ORSTOM (B3) selon un découpage en 18 régions,
- pour le Togo et le Bénin Ep est emprunté aux cartes d'un rapport CIEH de février 1972 par J.C. Prat (B23),
- pour le Ghana, outre les valeurs des Ep reprises dans la monographie du fleuve Volta, une interpolation a pu être faite pour l'ensemble du pays sous forme de 12 cartes mensuelles à partir des cartes du Togo - Bénin et de Côte d'Ivoire mentionnées plus haut.

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 celles des 12 valeurs Er donne pour chaque année Er annuelle et Ex annuel.

Conventionnellement RFU est limitée à 100 mm. En effectuant des bilans dans ces pays du 1er mars au 28 février, chaque année hydrologique se termine par RFU = 0. On a donc Ex annuel + Er annuelle = P annuelle. Les moyennes sur 20 ans de ces trois termes donnent :

$$\bar{P} \text{ moyenne} = \bar{E_r} \text{ (moyenne)} + \bar{E_x} \text{ moyen}$$

$\bar{E_x}$ moyen sur 20 ans correspond aux précipitations efficaces moyennes annuelles recherchées (Pf).

Voici un exemple de bilan par méthode classique pour la station pluviométrique : Abidjan-ville, année hydrologique 1955-1956 ; toutes les valeurs sont exprimées en mm.

Mois	Ep	P	VR	RFU	D	Ex	Er
mars	162	105	0	0	57	0	105
avril	153	243	+ 90	90	0	0	153
mai	128	481	+ 10	100	0	343	128
juin	100	967	0	100	0	867	100
juillet	109	51	- 58	42	0	0	109
août	108	36	- 42	0	30	0	78
septembre	117	95	0	0	22	0	95
octobre	137	255	+100	100	0	18	137
novembre	151	203	0	100	0	52	151
décembre	144	210	0	100	0	66	144
janvier	132	70	- 62	38	0	0	132
février	144	48	- 38	0	58	0	86
Totaux	1585	2764	-	-	167	1346	1418

En répétant cet exercice sur les 19 années suivantes, on obtient 20 valeurs annuelles de Ex, dont la moyenne donne Pf pour ces 20 années, soit 880 mm. De même on aura 20 valeurs annuelles de P et de Er pour calculer les moyennes correspondantes :

$$\begin{aligned}
 P \text{ moy.} &= 2\ 026 \text{ mm} \\
 \text{et Er moy.} &= 1\ 146 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

2.3.1.2. - Méthode simplifiée :

Après élaboration de 9 bilans complets sur des stations de Côte d'Ivoire, très différentes les unes des autres par les valeurs de \bar{P} annuelle et de Ep, une remarque est apparue. La hauteur des précipitations moyennes annuelles est toujours supérieure pour la décennie 1955-1964 à celle de 1965-1974, de 2 à 30 % soit 14 % de moyenne. Ceci entraîne des variations encore plus importantes de Pf pour ces deux décennies, soit 4 à 120 % ou 42 % en moyenne.

Il en découle que Pf sera plus représentatif si la période de référence du bilan est longue.

En application de cette remarque, la prise en compte de la période de mesure des pluies la plus longue possible a été envisagée, tout en recherchant par ailleurs une méthode de bilan plus rapide.

Un nouveau bilan a donc été tenté pour les 9 stations sur "l'année moyenne" définie par les 12 moyennes "inter-mensuelles" de pluie calculées sur les 20 ans.

Deux essais ont été faits dans chaque cas avec RFU = 100, comme habituellement et avec RFU = 0.

Il existe une bonne corrélation entre les résultats trouvés par la méthode classique et la méthode simplifiée utilisant les moyennes interannuelles avec RFU = 0, en soustrayant 32 mm du chiffre obtenu. Avec cette méthode rapide l'écart des valeurs, toujours inférieur à 10 %, est limité à 3 % dans la moitié des cas.

Par exemple, à Abidjan-ville, les moyennes mensuelles des précipitations des 20 années 1955-1974 sont affichées ci-après et traitées comme précédemment, mais sans tenir compte de VR, RFU et D.

Mois	Ep	P	Ex	Er
mars	162	92	-	92
avril	153	140	-	140
mai	128	271	143	128
juin	100	688	588	100
juillet	109	281	172	109
août	108	34	-	34
septembre	117	67	-	67
octobre	137	141	4	137
novembre	151	140	-	140
décembre	144	93	-	93
janvier	132	27	-	27
février	144	52	-	52
Totaux	1585	2026	907	1119

En bref, ce bilan simplifié consiste à retenir seulement les mois où $P > E_p$; la différence entre la somme des valeurs de P et E_p ainsi retenues donnera l'excédent total "brut" qui dépasse ici de 27mm (907 - 880) P_f obtenu par la méthode classique.

Nous avons vu que l'écart moyen sur 9 stations est de 32 mm. Sur Abidjan- ville : $907 - 32 = 875$ mm reste très proche de $P_f = 880$ mm trouvé plus haut.

Outre les 9 valeurs de P_f déterminées par bilans traditionnels en Côte d'Ivoire aux stations :

- d'Abidjan, Abengourou, Bondoukou, Bouna, Ferkessédougou, Korhogo, Soubré, Tabou et Yamoussoukro,

201 ont été calculés par la méthode simplifiée soit 210 au total se répartissant ainsi :

- 59 en Côte d'Ivoire, à partir des moyennes mensuelles des pluies depuis l'origine des stations jusqu'à 1967,
- 50 au Ghana, 56 au Togo, 42 au Bénin et 3 dans la zone limitrophe de Haute-Volta, en utilisant les moyennes annuelles des pluies sur 25 ans (1949-1973) dans 94 cas et les moyennes sur 20 ans (1955-1974) dans les 57 autres.

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 (M_e) est comparée, sur une série d'années de mesures, au module inter-annuel de l'écoulement total (M) ; la fraction $M_e \times 100/M$ exprimera (par défaut) le pourcentage de l'écoulement souterrain (E_s) par rapport à l'écoulement total, c'est à dire le "coefficient d'écoulement souterrain".

A partir des données de base de la monographie du fleuve Volta, E_s a été calculé sur une quinzaine de sous-bassins dont la superficie va de 52 km² à 260 330 km² (voir tableau 1).

E_s varie entre 21 et 66 %. Les valeurs les plus élevées concernent le plus petit bassin versant (Dzogbegan), sur lequel l'écoulement permanent est observé dans de bonnes conditions et les trois plus grands bassins où la régularisation en période de basses eaux est meilleure grâce à la variété géographique des apports.

Il ne semble pas que la nature des terrains conditionne directement E_s , ce qui ne permet donc pas d'attribuer à chacun un coefficient d'écoulement souterrain moyen propre.

- les grès emmagasinent mieux, donc "restituent" mieux l'eau que les terrains cristallins*,
- E_s n'apparaît pas très différent à l'aval des bassins schisteux ou granitiques.

Des stations d'étude seraient donc nécessaires pour améliorer les connaissances dans ce domaine et à défaut de valeurs fiables déduites de mesures il a fallu évaluer la fraction infiltrée dans les divers terrains pour élaborer les cartes de 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 pensent que, dans ces pays, les altérites recouvrant les deux grandes "familles" de terrains cristallins, les granitoïdes et les schistes (au sens large) ne présentent pas de grande différence 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 E_f

* Sur la station de Nwokuy en Haute-Volta, (partie amont de la Volta noire) on a calculé $E_s = 79$ %; 75 % du bassin versant sont constitués de grès.

TABLEAU 1 - Calcul de l'écoulement souterrain dans 15 sous-bassins du fleuve Volta

Station de jaugeage	Années de mesures	Superficie Sous-bassin (km ²)	Terrains du sous-bassin* en %	Précipitations moyennes (mm)	Module interannuel (M)		Ecoulement souterrain(E _s) (mm)	E _s /M en %
					(m ³ /s)	(mm)		
Dzogbegan	10	52	Bu 100	1 500	0,83	504	331	66
Barkoissi	4	190	Sh 90 - Gr 10	1 080	0,92	153	48	31
Bassari	8	202	Bu 100	1 350	1,91	298	80	27
Bolgatanga	3	293	Gt 90 - Bi 10	1 060	1,68	179	47	26
Kpesside KP	10	417	Gt 65 - Bu 35	1 400	7,16	541	111	21
Tiéélé	4	836	Bu 100	1 100	5,98	225	88	39
Pruso	11	1 212	Gs 90 - Sh 10	1 400	2,86	74	25	33
Lama Kara	16	1 560	Gt 100	1 400	24,86	502	127	25
Nabogo	12	1 950	Sh 90 - Gs 10	1 080	15,29	247	93	38
Borgou	14	2 240	Gt 70 - Sh 15 - Gs 15	1 050	9,54	134	30	22
Kpesside KA	10	2 790	Gt 80 - Bu 20	1 400	34,72	392	122	31
Prang	7	6 355	Sh 70 - Gs 30	1 370	38,86	193	68	35
Ekumdipe	8	6 810	Sh 70 - Gs 30	1 200	60,75	281	136	49
Lawra	14	93 820	Gs+Sh 50 - Bi 25 - Gt 25	940	104,41	35	23	65
Yeji	7	260 330	Gt 43 - Gs+Sh 36 - Bi 21	1 000	663,29	80	41	51

* Gs = grès infracambriens à ordoviciens - Bu = Buem et Atacora
 Sh = schistes infracambriens à ordoviciens - Bi = Birrimien
 Gt = granitoïdes

beaucoup plus faibles, de l'ordre de 5 à 10 %, Ils distinguent les altérites des granites de celles des schistes : dans le Massif armoricain 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.

Dans les pays d'Afrique de l'Ouest, comme en d'autres régions à terrains cristallins, si les débits des forages sont statistiquement aussi élevés en zones schisteuses qu'en zones granitiques, on manque malheureusement d'informations quant à la permanence du débit d'exploitation en période sèche sur ces deux types d'aquifères pour apprécier indirectement si la recharge s'y produit de façon identique ou différente.

En définitive, il serait illusoire de diversifier à l'excès les pourcentages d'infiltration de Pf en fonction de la lithologie. Les cartes de ressources renouvelables sont donc faites à partir de trois coefficients qui, soulignons le bien, ont une signification de moyenne :

- 1/4 des précipitations efficaces pourraient en moyenne s'infiltrer dans les diverses formations schisteuses ou schistogréseuses : les schistes de l'Oti, du Buem, de l'Atacora, ainsi que sur les marnes et argiles des bassins sédimentaires.
- 1/3 des précipitations efficaces s'infiltreraient dans les zones granitiques : granites, gneiss, migmatites, etc...
- 1/2 des précipitations efficaces s'infiltreraient dans les sables, grès et calcaires des bassins sédimentaires, du Continental intercalaire (Kandi) et du Voltaïen (Infracambrien à Ordovicien).

La zonation des ressources renouvelables est déterminée en prenant la valeur moyenne des précipitations efficaces entre deux courbes successives, valeur qui est affectée de l'un des coefficients ci-dessus, selon le terrain affleurant. Par exemple entre les courbes de précipitation efficace 400 et 600 mm, la valeur moyenne est de 500 mm ; en terrain schisteux $500/4 = 125$ mm correspond à la classe 100 à 150 mm ; on aurait de même : pour les granites $500/3 = 167$ mm, dans la classe 150 à 200 mm, et pour les grès $500/2 = 250$ mm, dans la classe 200 à 300 mm.

Bien que les feuilles 1 et 2 soient présentées séparément, la zonation a été établie sur un assemblage provisoire en vue d'assurer une continuité entre la Côte d'Ivoire et le Ghana.

2.4. - AQUIFERES DISCONTINUS :

2.4.1. - Faciès lithostratigraphiques :

Les aquifères discontinus sont identifiés par six faciès lithologiques pour la feuille 1, et treize faciès pour la feuille 2. Les figures choisis tendent à représenter la roche prédominante de chaque

formation, ou à s'en rapprocher au mieux lorsque la lithologie est complexe, dans l'Atacora et le Birrimien par exemple.

Pour obtenir une bonne homogénéité, les contours des formations sont empruntés essentiellement à la "Carte géologique de la partie méridionale de l'Afrique de l'Ouest" à 1/2 000 000 (B7).

Une simplification a été apportée, dans l'optique de nos cartes, par regroupement sous un seul faciès :

- de toutes les roches cristallines antébirrimiennes avec celles dont l'âge et la nature sont indéterminés,
- des formations birrimiennes d'origine sédimentaire,
- des formations birrimiennes d'origine volcano-sédimentaire,
- des formations birrimiennes d'origine volcanique,
- de tous les granitoïdes éburnéens,
- des deux termes du Voltaïen moyen, les Schistes de l'Oti et les calcaires, dolomies et tillites de base.

Sur la feuille n° 2 les contours de la carte géologique suscitée ont été modifiés dans la partie septentrionale du bassin voltaïen à partir d'une carte inédite (B 19) tenant compte des données de la géologie ghanéenne actualisées début 1975.

Faute d'informations pour définir les réserves exploitables, la productivité et le coût de l'eau, deux bassins sédimentaires étendus sont présentés comme des aquifères discontinus : il s'agit du bassin voltaïen, sa partie supérieure stable surtout, qui est postérieure à la zone plissée du Buem, et du bassin de Kandi constitué de grès, argiles et sables du Continental intercalaire à la base et du Continental terminal au sommet.

Malgré cette précaution on retiendra que dans ces deux bassins, celui de Kandi en particulier, une certaine continuité des couches des aquifères devrait être mise en évidence par des séries de forages de reconnaissance.

Mentionnons pour mémoire les lambeaux isolés de Continental terminal à l'Ouest du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire et les petits affleurements dévono-carbonifères près du littoral du Ghana. Bien qu'il s'agisse de terrains sédimentaires côtiers, ces affleurements isolés de dimension réduite appartiennent à la catégorie des aquifères discontinus.

2.4.2. - Ouvrages de référence :

Les caractéristiques des puits et forages de reconnaissance ou d'exploitation de l'eau dans les aquifères discontinus sont répertoriées

sous forme de tableaux en fin des quatre notices par pays. Certaines publications ou rapports donnent des indications relatives à quelques ouvrages ou comportent des listes assez importantes de ces caractéristiques. Le choix des ouvrages de référence reportés sur les feuilles 1 et 2 a été fait en fonction des documents disponibles, comme mentionné plus loin dans la notice relative à chaque pays ; 260 ouvrages ont été retenus parmi ceux qui ont la plus forte productivité :

- en Côte d'Ivoire, 104 puits ou forages récents dont le débit spécifique $Q_s > 1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ de rabattement, dont 9 pour lesquels $Q_s > 5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$,
- au Ghana, 59 forages anciens à $Q_s > 1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ dont 6 à $Q_s > 5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$,
- au Togo, 18 forages divers dont le débit d'épuisement est proche ou supérieur à $2 \text{ m}^3/\text{h}$ dont 10 à débit $\geq 5 \text{ m}^3/\text{h}$,
- au Bénin, 79 puits récents dont le débit d'épuisement est égal ou supérieur à $2 \text{ m}^3/\text{h}$, parmi lesquels 11 ont un débit d'épuisement supérieur à $5 \text{ m}^3/\text{h}$.

2.5. - AQUIFERES GENERALISES :

Les aquifères généralisés se situent dans les deux bassins sédimentaires côtiers :

- *le bassin occidental* de Côte d'Ivoire et du Sud-Ouest du Ghana présente la forme d'un croissant étiré de 400 km de long et de 40 km de flèche. Son aquifère principal est représenté par les sables du Continental terminal,
- *le bassin oriental* s'étend du Sud-Est du Ghana au Nigéria, à travers le Togo et le Bénin. Sur les trois pays étudiés il affecte grossièrement la forme d'un triangle rectangle de 280 km de base et de 130 km de hauteur. Trois aquifères principaux y sont partiellement reconnus : les sables et grès argileux du Continental terminal, les calcaires du Paléocène, qui surmontent parfois quelques couches sableuses, les sables du Crétacé supérieur.

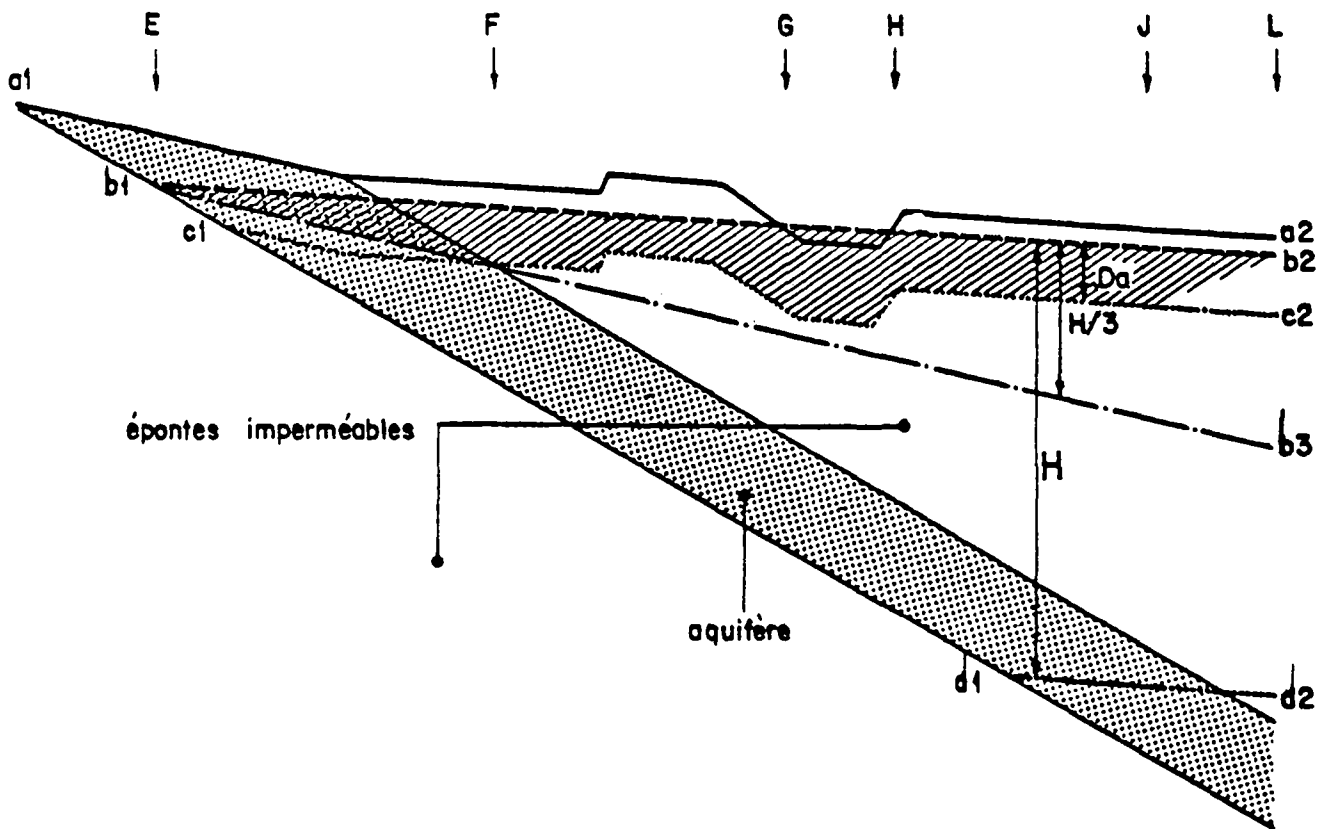
Les dépôts littoraux quaternaires ou plio-quaternaires constitués de vases, limons, argiles et sables renferment de l'eau douce en quantité limitée. Les sables localement très perméables, peuvent fournir de bons débits en certaines zones tandis que l'invasion saline apparaîtra rapidement en d'autres secteurs. Le calcul des réserves exploitables, de la productivité et du coût de l'eau n'a donc pas été entrepris sur les aquifères littoraux, trop hétérogènes pour être traités à petite échelle.

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'emmagasinement (S) de l'aquifère et du rabattement admissible (D_a) sur le puits de captage.

Le croquis ci-dessous illustre les conventions adoptées :



- 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 $C1 - C2$) ; D_a 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 D_a , qui est par ailleurs volontairement réduit en bordure de la plaine littorale pour éviter l'invasion saline. Sur le profil, entre E et F, $D_a = H/3$;

entre F et J, D_a est limité par $n_d = 100$ m sous le sol, mais D_a dépasse 100 m dans la zone d'artésianisme G - H ; entre J et L, D_a 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 D_a selon les règles conventionnelles,
- S moyen est estimé au mieux sur chaque aquifère en tenant compte des coefficients déduits des pompages d'essai ; en adoptant un S moyen différent, la réserve par km^2 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 3 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 aux notices par pays, 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.

Les mêmes classes de productivité ont été choisies sur les différentes cartes qui sont ainsi comparables entre elles :

- productivité $> 5\ 000\ m^3/jour$,
- $2\ 500\ m^3/jour < productivité < 5\ 000\ m^3/jour$,
- $1\ 200\ m^3/jour < productivité < 2\ 500\ m^3/jour$,
- productivité $> 1\ 200\ m^3/jour$.

Les seuils de valeurs des diverses catégories correspondent aux débits horaires suivants (en valeurs arrondies) en exploitation 24 h sur 24 ou 20 h sur 24 :

- supérieur à 210 ou 250 m³/h,
- compris entre 105 et 210 ou 125 et 250 m³/h,
- compris entre 50 et 105 ou 60 et 125 m³/h,
- inférieur à 50 ou 60 m³/h.

La zonation relativement régulière est due au manque de données de base ou à leur imprécision fréquente et à l'échelle du travail ; lorsque l'extrapolation est très forte, sur les nappes du Continental terminal et du Paléocène du bassin oriental en particulier, un figuré spécial a été utilisé. A partir d'informations plus fournies et de bonne qualité, une étude plus détaillée à grande échelle serait possible ; outre la productivité des aquifères étudiée ici, celle des nappes littorales et alluviales devrait fournir des renseignements intéressants.

2.5.3. - Minéralisation de l'eau :

L'eau des différentes nappes est le plus souvent très peu minéralisée et fréquemment agressive, sauf dans la nappe du Paléocène où la teneur en carbonate de calcium augmente.

En bordure de la plaine littorale, des lacs et des lagunes, dont le niveau est proche de celui de la mer, la minéralisation croît essentiellement par acquisition de chlorure de sodium.

La limite au Sud de laquelle l'eau des principales nappes atteindrait ou dépasserait 1 gramme par litre de résidu sec, a donc été esquissée. Sauf protection locale de l'aquifère par une couverture imperméable on aura intérêt à éviter la création de nouveaux ouvrages au Sud de cette ligne et à surveiller l'exploitation de ceux qui ont été réalisés : à faible distance au Nord, on limitera les captages nouveaux et l'on veillera à ne pas provoquer des rabattements trop importants, favorables à l'invasion saline.

2.5.4. - Ouvrages de référence :

Parmi les ouvrages intéressant les aquifères généralisés, ceux dont les caractéristiques disponibles étaient relativement complètes ont été regroupés en tableaux placés en fin des quatre notices par pays ; ils sont positionnés sur les cartes 1,2 et 2.1 de la feuille 3.

Les renseignements sur ces 180 ouvrages sont énumérés en treize ou quatorze colonnes, brièvement explicitées ci-après :

- colonne n° 1 :

Les numéros de classement, par lesquels ils sont repérables sur les cartes, commencent à 201 afin de les distinguer des points d'eau en aquifères discontinus dont le numéro est toujours inférieur à 200 ; la lettre significative de chaque pays a été conservée : C pour la Côte d'Ivoire,

G,T et B respectivement pour le Ghana, le Togo et le Bénin.

- colonne n° 2 :

La désignation est celle du document consulté : publication, rapport, compte-rendu du foreur etc.. c'est généralement le nom de l'agglomération la plus proche, complété parfois par une mention relative au propriétaire ou utilisateur, ou un symbole en lettres et chiffres attribué par le maître d'oeuvre ou par l'auteur de l'inventaire ou du document de référence ; au Ghana et au Bénin l'identification est double : agglomération et symbole.

- colonne n° 3 :

L'aquifère capté est identifié par une ou deux lettres : CT = Continental terminal, P = Paléocène, C = Crétacé supérieur. En Côte d'Ivoire, où tous les ouvrages captent le Continental terminal, cette colonne n'existe pas.

- colonne n° 4 :

L'altitude du sol près du forage est indiquée par rapport au niveau de la mer, le chiffre étant entre parenthèses s'il s'agit d'une estimation. ~~Aucune altitude n'est donnée pour les forages du Ghana.~~

- colonnes n° 5 et n° 6 :

La profondeur du forage, comme la profondeur de l'eau est mesurée à partir du sol naturel sur lequel la sondeuse est installée.

Le niveau de l'eau au repos est précédé du signe + pour les forages artésiens, indiquant ainsi la hauteur stabilisée au dessus du sol.

- colonne n° 7 :

Elle comporte une double indication : la longueur, L, de la crépine en mètres, et son diamètre, d, en pouces.

- colonne n° 8 :

Le débit d'essai, le plus représentatif s'il y en a plusieurs, est donné en m³/h.

- colonne n° 9 :

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 n° 10 :

Le débit spécifique, en m³/h.m, correspond au quotient entre

le débit en m^3/h , et le rabattement en m. Les valeurs douteuses, par exemple celles qui proviennent d'un rabattement estimé lorsque le document d'origine indiquait un rabattement nul, sont suivies d'un point d'interrogation. Dans quelques cas, le débit spécifique est donné entre parenthèses, par estimation plus représentative que le quotient que l'on déduirait d'un essai non valable.

- colonne n° 11 :

La hauteur d'eau H, dans le forage complet, est calculée par différence entre la profondeur de la base de l'aquifère et la profondeur de l'eau au repos. Sur les forages incomplets elle est parfois estimée par un chiffre entre parenthèses, ou affectée d'un signe > (plus grand que).

- colonne n° 12 :

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

- colonne n° 13 :

La productivité est symbolisée par les lettres A,B,C et D, qui représentent les quatre classes de productivité définies au § 2.5.2. mais dans l'ordre inverse :

- . A : productivité inférieure à $1\ 200\ m^3/jour$,
- . B : productivité comprise entre $1\ 200$ et $2\ 500\ m^3/jour$
etc...

La lettre est placée entre parenthèses si la classe est estimée, parce que les (ou une) données des trois colonnes précédentes sont elles-mêmes estimées ou imprécises. Le signe X, à côté du symbole évoque une limitation volontaire de productivité sur les forages proches de la plaine littorale en vue de prévenir l'invasion saline.

- colonne n° 14 :

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 R en Ω/cm et la conductivité C en $\mu\ mho/cm$, le résidu sec, en mg/l , sera approximativement égal à :

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

Pour le Ghana, le document consulté ne donne pas le résidu sec, mais la teneur en chlorures, qui figure donc en colonne n° 14.

2.5.5. - Coût de l'eau :

Le coût moyen d'exploitation du m³ d'eau souterraine est visualisé sur la feuille 3, en 3, 4 et 4.1; il est déterminé, conformément aux hypothèses exposées plus loin sur les aquifères dont la productivité a été préalablement définie.

Les chiffres avancés ne sauraient être considérés comme très précis mais comme représentatifs de certaines tendances à prendre en compte par les aménageurs.

La méthodologie adoptée ici s'inspire de celle qui a été mise au point en 1975 sur le même thème pour les aquifères des états de l'Afrique Sahélienne (B10).

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

- les dépenses d'investissement et d'entretien pour l'ouvrage de captage, et le matériel de relevage d'eau,
- les dépenses d'énergie pour actionner la pompe.

2.5.5.1. - Dépenses d'énergie :

L'énergie consommée pour relever un m³ d'eau ne dépend que de la hauteur de relevage, appelée couramment hauteur manométrique (HMT) et du rendement mécanique des moteurs, pompe et transmission. Pour un rendement global fixé par référence à ceux qui sont couramment observés, le coût de l'énergie sera donc proportionnel à HMT.

HMT est obtenue en évaluant la profondeur de l'eau, en m, dans le puits en pompage ; c'est le niveau dynamique auquel on ajoute 10 m considérés comme charge hydraulique minimale de sortie de l'eau à la surface du sol.

L'énergie électrique n'étant pas disponible dans tous les secteurs où l'on peut créer des forages, on suppose donc que les pompes sont entraînées par moteur diesel consommant du gas-oil, à raison de 0,2 litre par cheval et par heure. En rappelant que, dans les anciens systèmes d'unités :

1 Ch = 75 kgm/s, la puissance théorique s'exprimera par :

$$P_{th} \text{ (Ch)} = \frac{Q \text{ (l/s)} \times \text{HMT} \text{ (m)}}{75}$$

Si le débit est exprimé en m³/h et le rendement égal à : 0,5
la puissance effective à fournir sera :

$$P \text{ (Ch)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times \text{HMT (m)}}{3,6 \times 75 \times 0,5} = 7,4 \cdot 10^{-3} \times Q \times \text{HMT}$$

En estimant fin 1977 le prix du litre de gas-oil à 100F.CFA,
le coût de l'énergie pour relever un m³ d'eau de 1 m, sera environ de :

$$100 \times 0,2 \times 7 \cdot 10^{-3} = 0,14 \text{ F.CFA/m}$$

L'abaque de calcul résumant cette formule simple avec HMT en
abscisse et le coût en F.CFA en ordonnée, est une droite passant par
l'origine (fig. 1a).

2.5.5.2. - Dépenses d'investissement et d'entretien :

Ces dépenses comprennent trois postes :

- le forage livré prêt pour l'exploitation,
- la pompe et ses accessoires,
- le moteur et ses accessoires.

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'en-
trepreneur 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 :

- 50 m³/h dans les plages de productivité de catégorie A,
c'est à dire inférieure à 1 200 m³/j,
- 100 m³/h dans les plages de catégorie B : 1 200 à 2 500 m³/j,
- 200 m³/h dans les plages de catégorie C : 2 300 à 5 000 m³/j,
- 250 m³/h dans les plages de catégorie D : Q > 5 000 m³/j.

Tous les forages sont complets ; ils sont constitués 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 ; dans les zones de bordure évoquées au paragraphe précédent la longueur de Cc ne descend jamais au-dessous de 10 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 = 10"3/4 ; Dt = 7"5/8 ; Dc = 4"
- forage B : Df : 12"1/4 ; Dt = 9"5/8 ; Dc = 6"
- forage C : Df = 17"1/2 ; Dt = 13"3/8 ; Dc = 8"
- forage D : Df = 17"1/2 ; Dt = 13"3/8 ; Dc = 10"

Nota : Si la pompe doit être installée au-dessous de 70 m pour les forages D et au dessous de 90 m pour les forages C, la partie supérieure de ces deux types de forages sera forée en 20" et tubée en casing 16" jusqu'à 10 m au-dessous de la position la plus basse prévue pour la pompe.

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.

Les prix unitaires pris en compte sont ceux proposés par les entreprises pour la Côte d'Ivoire et le Bénin au deuxième semestre 1977.

Ils ont été actualisés à fin 1977 et simplifiés dans leur présentation ; les prix au ml, en milliers de F.CFA, selon les diamètres sont les suivants :

A - FORATION

Diamètre	10" 3/4	12" 1/4	17" 1/2	20"
10 ³ F.CFA	32	35	45	50

B - TUBAGE

Diamètre.	7"5/8	9"5/8	13"3/8	16"
10 ³ F.CFA	26	35	50	60

C - CREPINES

Diamètre	4"	6"	8"	10"
10 ³ F.CFA	60	80	100	125

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 pompages, de l'aménagement de la tête de puits par avant-trou, tube-guide, massif de protection en béton, fermeture cadenassée, 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 :

- on a admis une incidence constante Ff selon la catégorie du forage, de 2,5 - 3,5 - 4,5 - 5,5 millions de F.CFA selon qu'il s'agit de forage A, B, C ou D,
- on a également estimé une incidence "profondeur" F'f(p) de 1 million de F.CFA par centaine de mètres de profondeur totale, avec le maximum conventionnel de 6 millions pour la profondeur maximale admise de 600 m.

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

$$\begin{aligned} C &= C_f + C_p + C_c + F_f + F'f \\ &= f_1(p) + f_2(p) + K_1 + K_2 + f_3(p) \end{aligned}$$

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 coût obtenus pour différentes longueurs de crépines, pour un ouvrage type donné :

- le forage A de 600 m, avec $C_p = 550$ m, $C_c = 50$ m coûte 45 MF.CFA,
- le forage A de 600 m, avec $C_p = 500$ m, $C_c = 100$ m coûte 46,70 MF.CFA,
- le forage A de 100 m, avec $C_p = 80$ m, $C_c = 20$ m coûte 9,98 MF.CFA,
- le forage A de 100 m, avec $C_p = 60$ m, $C_c = 40$ m coûte 10,66 MF.CFA,
- le forage D de 600 m, avec $C_p = 550$ m, $C_c = 50$ m coûte 72,25 MF.CFA,
- le forage D de 600 m, avec $C_p = 500$ m, $C_c = 100$ m coûte 76,00 MF.CFA,
- le forage D de 600 m, avec 100 m de C_p 16" substitués à 100 m de 13" 3/8 des deux exemples précédents voit varier son coût de 73,75 MF.CFA à 77,50 MF.CFA.

Pour connaître l'incidence de ces divers coûts de forage sur celui du m^3 d'eau, on a admis, comme cela a été fait pour l'Afrique Sahélienne, que le forage devrait être amorti en 15 ans, sans prendre en compte les intérêts d'un emprunt éventuel. Par ailleurs chaque forage réalisé est supposé en exploitation 20 heures par jour et 365 jours par an.

A titre d'exemple en 15 ans le forage D fournira :

$$250 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \times 365 \times 15 = 27,375 \text{ millions de m}^3 \text{ d'eau.}$$

Le coût-forage du m^3 d'eau variera au maximum de 7 %, pour les quatre forages fictifs D de 600 m différemment complétés, soit de 2,64 à 2,83 F.CFA.

L'incidence du coût du forage dans le prix du mètre cube d'eau est visualisé en figure 1b par un abaque donnant pour chaque type d'ouvrage : A, B, C ou D l'incidence, sur ce prix, de la profondeur de l'ouvrage.

b - L'équipement de pompage :

Il se compose dans tous les cas, d'une pompe à axe vertical de type Alta ou équivalent, de caractéristiques adaptées au débit à relever selon HMT, de sa colonne de refoulement et autres accessoires. La pompe étant supposée amortie sur cinq ans, il est prévu en outre une série de pièces de rechange et une provision de main d'oeuvre pour les remises en état périodiques.

Le coût annuel de l'équipement de pompage en millions de F. CFA en fonction de HMT évalué à partir des prix moyens France actualisés à juin 1977 est le suivant pour chaque type de forage :

H M T	10	40	70	110
Forage A	0,30	0,55	0,80	1,20
Forage B	0,35	0,63	1,00	1,54
Forage C	0,47	0,90	1,40	2,30
Forage D	0,55	1,13	1,80	2,86

Entre les quatre valeurs de HMT l'évolution peut être considérée comme pratiquement linéaire.

c - L'équipement moteur :

Il est constitué par un moteur diesel refroidi par air avec accessoires de transmission et pièces de rechange ; une provision pour la main d'oeuvre d'entretien et de réparation de ce moteur, qui doit tourner pendant 4 ans, est également prise en compte dans les coûts initiaux.

On utilise huit moteurs de puissance variable selon le débit à extraire et HMT limitée par convention à 110 m. La puissance maximale et le coût annuel correspondant en millions de F.CFA, estimé pour chaque moteur, fin 1977, sont donnés dans le tableau suivant :

C V	MF. CFA	C V	MF. CFA
10	0,75	70	1,13
20	0,85	100	1,33
32	0,95	142	1,70
48	1,00	175	2,20

Il est facile de tracer pour les quatre catégories de forages, l'abaque du coût annuel de l'équipement de pompage et l'abaque du coût annuel de l'équipement moteur en fonction de HMT, à partir des prix indiqués.

L'abaque du coût de l'équipement moteur comprend une série de paliers ; ainsi pour le forage B exploité à 100 m³/h, d'après la formule : $P = 7.10^{-3} \times Q \times HMT$, on utilisera :

- un moteur de 10 CV pour HMT < 14 m ; coût : 0,75 MF.CFA/an,
- un moteur de 20 CV pour 14 < HMT < 28 m ; coût : 0,85 MF.CFA/an,
- un moteur de 32 CV pour 28 < HMT < 45 m ; coût : 0,95 MF.CFA/an,
- un moteur de 48 CV pour 45 < HMT < 68 m ; coût : 1,00 MF.CFA/an,
- un moteur de 70 CV pour 68 < HMT < 100 m ; coût : 1,13 MF.CFA/an,
- un moteur de 100 CV pour 100 < HMT < 110 m ; coût : 1,33 MF.CFA/an,

Les deux abaques ayant les mêmes coordonnées, HMT en abscisse et le coût annuel en ordonnée, on peut additionner en tout point les chiffres obtenus pour aboutir à un seul abaque en 4 diagrammes du coût du matériel de pompage (pompe et moteur thermique).

Dans le schéma d'exploitation déjà énoncé on pompe :

- sur les forages A : 50 (m³/h) x 20 x 365 = 365 000 m³/an,
- sur les forages B : 100 (m³/h) x 20 x 365 = 730 000 m³/an,

- sur les forages C : $200 \text{ (m}^3/\text{h)} \times 20 \times 365 = 1\,460\,000 \text{ m}^3/\text{an}$,
- sur les forages D : $250 \text{ (m}^3/\text{h)} \times 20 \times 365 = 1\,825\,000 \text{ m}^3/\text{an}$.

Partant de ces volumes annuels et de l'abaque ci-dessus on trace un nouvel abaque de coût du matériel de pompage par m^3 d'eau en fonction de HMT. Les courbes-enveloppes des 4 graphes obtenus sont transformées, avec une marge d'erreur très faible, en 3 droites caractéristiques des forages types A, B, C et D (confondus en une même droite). Lorsque HMT varie de 10 à 110 m, le coût du matériel de relevage - qui dépend grossièrement pour moitié de l'équipement de pompage et pour moitié de l'équipement moteur - variera ainsi :

- 2,90 à 6 F.CFA pour les forages A,
- 1,50 à 3,90 F.CFA pour les forages B,
- 0,85 à 3,10 F.CFA pour les forages C et D.

Le coût de l'énergie étant lui-même proportionnel à HMT on obtient finalement l'abaque du diagramme a (fig. 1), qui donne le coût de l'extraction du m^3 d'eau (pompe + moteur + énergie) en fonction de HMT.

2.5.5.3. - *Elaboration des cartes de coût et commentaire :*

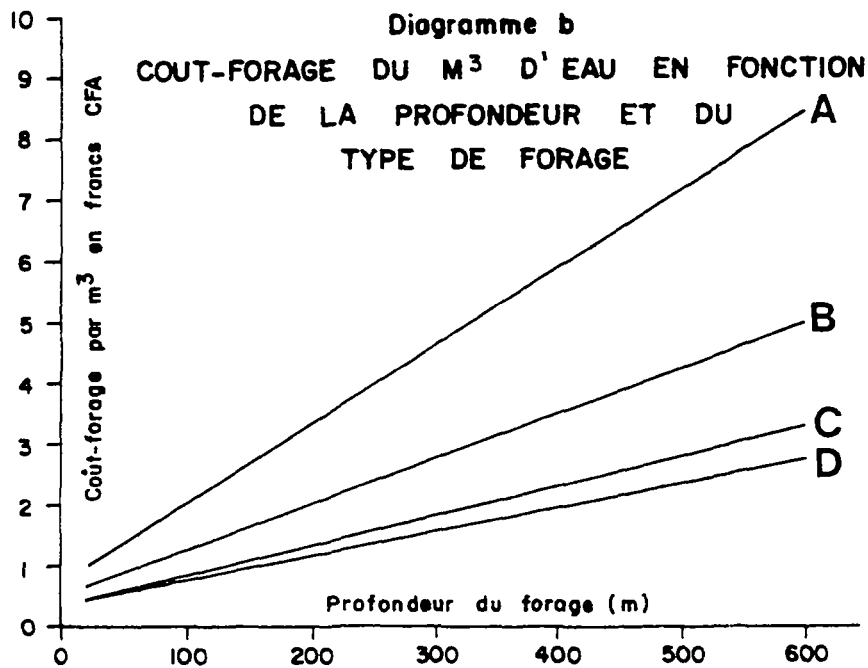
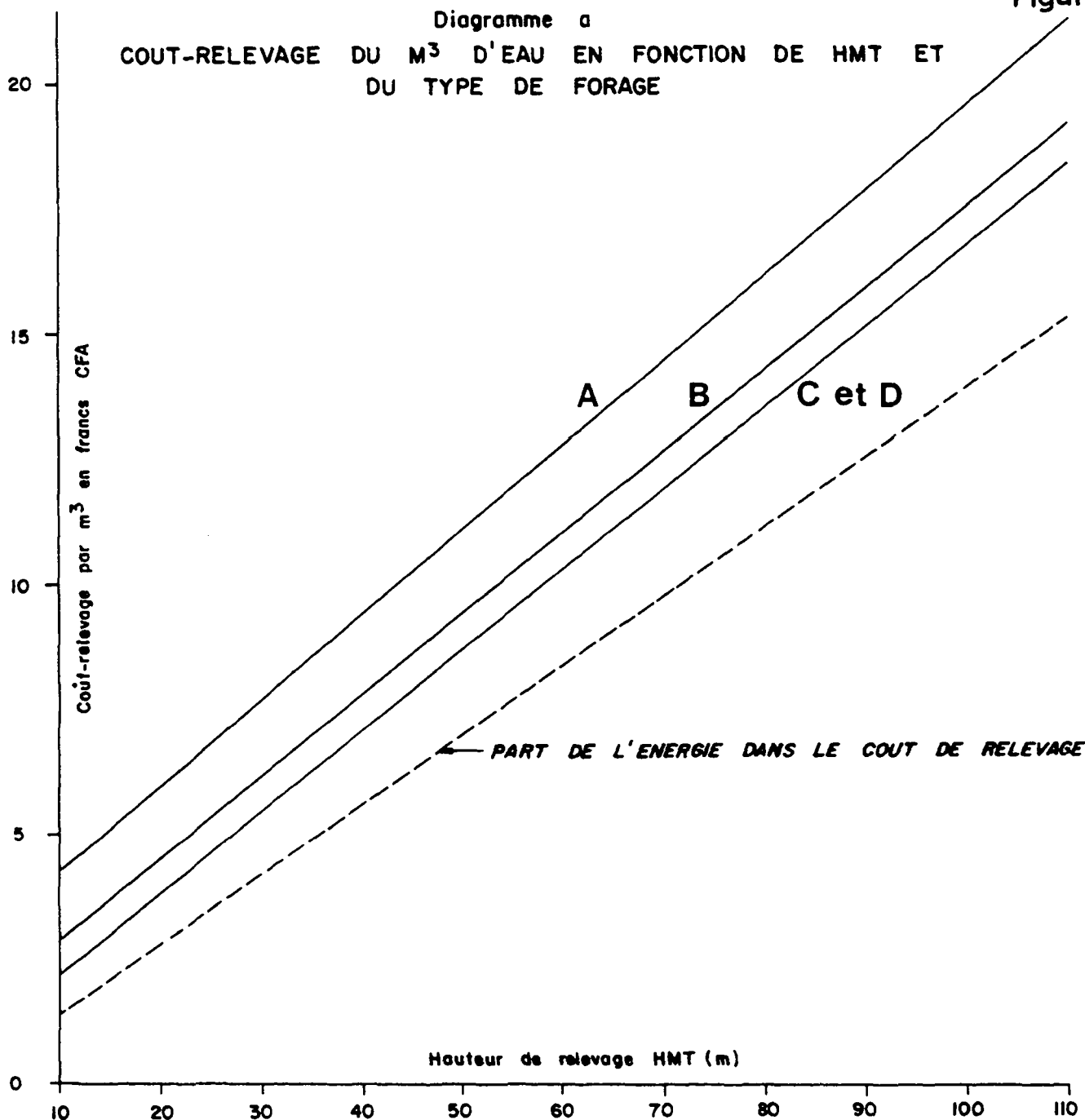
L'élaboration de ces cartes implique la consultation de divers documents de base :

- les caractéristiques des forages regroupés dans les tableaux commentés au § 2.5.4.,
- 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 ou D, 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 m^3 d'eau par addition des résultats lus sur les abaques du diagramme 1 b (fig.1).



Comme ces abaques le laissaient prévoir, le coût du m³ d'eau découle principalement de la hauteur du relevage. En conséquence le coût de l'eau est essentiellement lié à la profondeur sous le sol à laquelle le niveau dynamique se stabilise dans le forage : à faible profondeur, faible coût.

Dans les dépressions où l'eau est artésienne les coûts s'abaissent au-dessous de 5 F.CFA/m³. Au fur et à mesure que l'altitude croît, les coûts passent dans les tranches de 5 à 10, 10 à 15, 15 à 20 F.CFA/m³. Les coûts supérieurs à 20 et surtout à 30 F.CFA concernent les zones d'altitude élevée où le niveau de l'eau est profond, ou bien la frange côtière à nappe mince, peu productive, impliquant 2 à 3 forages pour obtenir les 50 m³/h recherchés.

Certains utilisateurs pourront penser que les coûts obtenus s'éloignent de la réalité, soit qu'ils paraissent trop élevés, ou plus probablement trop faibles.

On peut 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.

Les cartes présentées ici reposent sur quelques hypothèses simples et réalistes, identiques pour tous les aquifères, afin de faciliter la comparaison des résultats. Elles donnent une tendance reflétant assez bien ce que l'on connaît des caractéristiques des diverses nappes.

On peut les utiliser telles quelles ou voir éventuellement l'incidence de quelques modifications.

Par exemple, en augmentant tous les coûts constitutifs : forage, pompe, moteur, énergie, de 20 %, le coût du m³ d'eau augmente évidemment de 20 % et les gammes de coût deviennent respectivement : inférieur à

6 F.CFA/m³, entre 6 et 12 F, entre 12 et 18 F, entre 18 et 24 F, entre 24 et 36 F, supérieur à 36 F, sans changement de la zonalité des cartes.

A partir des abaques de la figure 1 on peut faire varier l'un quelconque des 4 facteurs. Le diagramme b donne le coût des divers forages selon leur profondeur ; on obtiendrait aisément des droites intermédiaires en prenant par exemple en $x = 600$ m : $y_1 = 4$ F pour le forage exploité à 150 m³/h et $y_2 = 6,50$ F pour le forage exploité à 75 m³/h.

Sur le diagramme a on lit directement le coût brut de l'énergie et par différence avec les trois droites du haut, le coût du matériel de pompage ; ainsi pour $x = 60$ m, sur un forage B l'extraction de l'eau revient à 11,10 F/m³, dont 8,40 F pour l'énergie, ce qui laisse $11,10 - 8,40 = 2,70$ F pour le matériel, à répartir pour moitié pour la pompe et le moteur, soit 1,35 F/m³ pour chacun.

Dans l'exemple du paragraphe précédent, supposons que la profondeur du forage B soit de 300 m en conservant HMT = 60 m : l'eau extraite coûtera par m³ : 2,75 F de forage et 11,10 F de pompage, soit 13,85 F au total. Une majoration de ce prix de 20 % entraîne un supplément de 2,77 F, ce qui ramène le m³ à 16,62 F. En affectant le supplément à l'un ou l'autre des éléments constitutifs du coût, on peut entre autre :

- faire un deuxième forage identique,
- ou doubler le prix du matériel de pompage ou s'offrir deux équipements moteurs supplémentaires,
- ou augmenter de 33 % le coût de l'énergie,
- ou exploiter le forage 10 h par jour au lieu de 20, pendant la même durée de 15 ans, en admettant que la pompe et le moteur à l'arrêt ne coûte rien.

L'hypothèse d'exploitation à 20 h par jour et 365 jours par an étant l'une des plus contraignantes, il peut être utile d'examiner, comme dans le dernier exemple, la durée minimale journalière de pompage pour amortir le forage en 15 ans, en utilisant le supplément procuré par l'augmentation de 20 % du coût du m³ d'eau. Pour les quatre catégories de forages, profonds de 500, 300 ou 100 m, voici les fourchettes de temps journalier de pompage (en heures et décimales) si l'on relève l'eau de 20 et 100 m, sauf sur les forages profonds de 100 m où le relevage est de 20 et 60 m :

Forages de :	500 m	300 m	100 m
Classe A :	14,6 à 11,5 h	13,7 à 9,6 h	11,25 à 8 h
Classe B :	14,2 à 9,4 h	13,1 à 8 h	10,4 à 6,7 h
Classe C :	13,6 à 8,3 h	12,3 à 6,5 h	9,2 à 5,3 h
Classe D :	13,1 à 7,6 h	11,8 à 5,9 h	8,7 à 4,8 h

En affectant le supplément de 20 % à l'amortissement du forage, la durée conventionnelle de pompage de 20 h/jour peut donc être ramenée de 5 à 15 h pour des cas extrêmes ; l'incidence accusée du relevage est soulignée par ces chiffres : un faible relevage de 20 m entraîne un faible coût du m³, donc un faible supplément utilisable pour l'amortissement du forage ; un relevage de 60 à 100 m permet au contraire de ramener le temps de pompage entre 5 et 10 h/jour, 11 fois sur 12 dans l'exemple étudié.

3 - UTILISATION DES CARTES :

Quelques exemples d'utilisation des cartes sont proposés à titre indicatif, à partir de données purement imaginaires :

- Problème n° 1 :

En Côte d'Ivoire une zone industrielle de quelques centaines d'hectares doit être aménagée à 7 km environ au Nord-Ouest de Dalou.

On prévoit une alimentation à partir de l'eau souterraine à raison de 6 000 m³/jour pompés en 10 heures chaque jour et 300 jours par an. Ce prélèvement est-il possible et dans quelles conditions ?

Les feuilles 1 et 3 montrent que la zone industrielle se situera sur la nappe des sables du Continental terminal :

- ressources renouvelables : 400 000 m³/an.km²,
- réserves exploitables : 2 500 000 m³.km²,
- Productivité possible par forage : 2 500 à 5 000 m³/jour,
- Coût du m³ d'eau au 1.1.1978 : 10 à 15 F.CFA.

Le débit annuel sera de 6 000 x 300 = 1,8 Mm³. Si l'on envisage de ne pas entamer les réserves (au delà du strict nécessaire pour le rabattement à créer pour le captage), la surface nécessaire au renouvellement moyen annuel du volume prélevé sera : 1 800 000/400 000 = 4,5 km², cette surface équivaut à celle d'un rectangle de 4,5 x 1 km ou à celle d'un cercle de 1,2 km de rayon.

Il sera nécessaire de faire 3 forages du type C, capables de fournir chacun 200 m³/h. Si l'aquifère et la surface de l'impluvium sont parfaitement homogènes le prélèvement de chaque forage sera compensé par l'infiltration sur 1,5 km², et les forages seront situés - toutes choses étant égales par ailleurs - au sommet d'un triangle équilatéral de 1,4 km de côté ou alignés à 1,4 km les uns des autres.

Si l'eau est à 40 m de profondeur et le rabattement de 20 m, avec 1 kg de pression en sortie de pompe : HMT = 70 m. En supposant un

forage de 120 m, le coût-forage sera théoriquement de 0,90 F.CFA/m³ et le coût de pompage de 12 F.CFA/m³, d'après la figure 1. Comme le forage débitera 600 000 m³/an au lieu de 1 460 000, et si son amortissement reste fixé à 15 ans, le coût-forage sera de : $0,90 \times 1\,460/600 = 2,19$ F.CFA ; le coût du m³ d'eau passera donc de 12,90 à 14,19 F.CFA, soit 10 % d'augmentation.

- Problème n° 2 :

Dans l'exemple précédent, le maître d'oeuvre a préféré, pour des raisons pratiques, aligner ses trois forages à 1,4 km de distance les uns des autres, le long de la route limitrophe du terrain. Un peu plus tard un agriculteur installe lui-même une série de forages sur le terrain voisin et de ce fait prélève le tiers des ressources renouvelables qui compensaient à l'origine les prélèvements de la zone industrielle. Pendant combien de temps les industriels pourront-ils maintenir leur exploitation en épuisant progressivement la réserve exploitable ?

Les industriels pompent 1,8 Mm³/an compensée par l'eau réinfiltrée sur $1,8/0,4 = 4,5$ km².

L'agriculteur fait une ponction de $1,8/3 = 0,6$ Mm³/an sur la ressource renouvelable de la zone industrielle ; les industriels devront donc entamer la réserve exploitable qui s'étend à la verticale de l'aire d'influence de leurs 3 forages sur 4,5 km².

A l'aplomb de cette surface la réserve exploitable donnée par la carte est de : $2,5 \times 4,5 = 11,25$ Mm³.

La réserve tiendra théoriquement pendant :

$$11,25/0,6 = 18,75 \text{ années}$$

En pratique le niveau dynamique des forages industriels s'abaissera progressivement, le débit de chaque forage diminuera et l'on devra abaisser éventuellement les pompes, si la complétion du forage le permet, et augmenter éventuellement la puissance des moteurs, ou plus simplement augmenter la durée journalière de pompage à débit réduit.

Il est probable que, bien avant l'épuisement de la réserve, l'extension des cônes d'influence des 3 forages tendra vers un nouvel équilibre. Il est également probable que si ce nouvel équilibre s'annonçait très différent de l'équilibre prévu avant l'installation de l'agriculteur, il serait rentable de faire un quatrième forage d'appoint dans une zone non influencée.

Bien que l'irrigation nécessite généralement de gros volumes d'eau pendant une période relativement courte, il faut espérer, l'influence étant réciproque, que l'agriculteur s'efforcera dans la mesure du possible d'éviter cette perturbation.

- Autres problèmes envisageables :

En aquifère généralisé on peut concevoir d'autres problèmes sur l'utilisation judicieuse des ressources renouvelables et des réserves exploitables pour divers types de projets.

Ainsi au Bénin et au Togo, où les ressources renouvelables sont réduites dans le Sud en raison de la faible moyenne interannuelle des précipitations, on pourrait définir la surface de répartition d'une série de forages qui devraient fournir un certain débit pendant une durée déterminée, en admettant l'utilisation totale ou partielle des réserves exploitables.

Imaginons qu'au Bénin, dans le secteur d'Issaba - Adjahouéré, (voir coupe en feuille 2) où la productivité des sables crétacés est bonne et le coût de l'eau inférieur à 10 F.CFA/m³, on ait besoin de 1 million de m³ d'eau par an pour irriguer 400 hectares de céréales, en pompant 20 heures par jour pendant 4 mois, soit 420 m³/h environ.

Dans ce secteur les ressources renouvelables inférieures à 50 000 m³/km² et par an, sont donc réduites ; mais à moyen terme la zone d'affleurement des sables, au Nord, interviendra et l'on peut admettre que les 50 000 m³/an et par km² seront atteints. Il suffira d'une superficie de 20 km² - un rectangle de 1 cm de longueur et de 2 mm de largeur à l'échelle de la feuille 2 - pour recevoir l'infiltration correspondante.

Deux forages de 210 m³/h fourniront le débit voulu. Implantés à chaque extrémité du terrain rectangulaire de 4 x 1 km par exemple, on peut supposer que l'aire d'influence des pompes ne dépasserait pas 2 km de rayon autour de chaque forage, ce qui représenterait en aquifère isotrope, 2 cercles de 12,5 km² = 25 km² au total.

Sur une décennie d'exploitation à précipitations déficitaires, supposons que 10 % du prélèvement (1 Mm³) ne soient pas compensés par la recharge ; si ce volume était pris dans la réserve exploitable sur les 25 km², soit 40 000 m³/km², il entraînerait un abaissement moyen de niveau de 4 m avec S supposé égal à 1 %. L'ordre de grandeur est tout à fait vraisemblable, mais une étude plus approfondie serait utile avant réalisation du projet pour préciser la valeur S à moyen et long terme. Si S était 5 fois plus faible, l'abaissement théorique serait 5 fois plus fort. Si au contraire une réalimentation intervient, au niveau de l'Ouémé par exemple, l'abaissement pourrait être beaucoup plus limité.

Au Ghana, où les réserves exploitables des aquifères côtiers sont peu importantes, il serait possible d'évaluer le débit optimal à extraire par des forages bien répartis, à distance suffisante du littoral afin d'éviter les arrivées d'eau salée. Ce débit dépend du renouvellement interannuel des ressources. Il serait prudent, pour tenir compte des années sèches de baser l'extraction globale sur 60 à 70 % de la ressource renouvelable interannuelle en admettant que la réserve exploitable soit sollicitée au cours des années très déficitaires.

La connaissance des caractéristiques hydrauliques des nappes en divers points et celles des conditions limites, en particulier la réalimentation par les rivières, permettrait en deuxième phase de préciser l'évaluation.

En aquifère discontinu des quatre pays, on constatera très généralement que les faibles volumes d'eau prélevés annuellement dans une région à partir de quelques centaines de forages sont remplacés par l'infiltration sur une surface théoriquement très petite.

Ainsi 250 forages exploités manuellement à 20 m³/jour et 365 jours par an fournissent 1 825 000 m³/an.

Dans les zones les moins arrosées, où la ressource renouvelable est inférieure à 50 000 m³/an.km², en prenant le chiffre pessimiste de 25 000 m³/an.km², il suffit de : $1\ 825/25 \approx 73$ km², ce qui correspond à un carré de 8,6 mm de côté à l'échelle de la carte à 1/1 000 000.

4 - CONCLUSION :

La notice expose les conditions d'élaboration, le contenu et la façon d'utiliser les cartes. Répétons qu'il s'agit de documents de synthèse qui ne sauraient fournir tous les éléments précis et détaillés nécessaires à une étude locale complète de projet. On considérera par ailleurs :

- 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 les notices spécifiques à chaque pays.

Les ressources en eau renouvelables totales (Rr) sont exprimées en km³/an = milliards de m³/an : le premier nombre donne Rr pour l'ensemble du pays ; le second distingue la part qui va aux aquifères généralisés, traduite ensuite en débit moyen annuel équivalent (m³/s). Le dernier nombre indique les réserves exploitables, Rex, des aquifères généralisés, en km³ également.

- Côte d'Ivoire :

Rr = 37,0 km³/an (dont 2,1 = 67 m³/s) ; Rex = 7,0 km³

- Ghana :

Rr = 26,3 km³/an (dont 0,3 = 9 m³/s) ; Rex = 0,4 km³

- Togo :

$$R_r = 5,7 \text{ km}^3/\text{an} \text{ (dont } 0,16 = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}) ; R_{ex} = 1,00 \text{ km}^3$$

- Bénin :

$$R_r = 13,1 \text{ km}^3/\text{an} \text{ (dont } 0,9 = 28,3 \text{ m}^3/\text{s}) ; R_{ex} = 5,25 \text{ km}^3$$

Dans cette région d'Afrique aux précipitations intenses, l'importance des ressources renouvelables est assez rassurante : en revanche le "volant" des réserves exploitables est relativement limité en raison de la superficie des bassins sédimentaires qui est elle-même assez réduite.

On tiendra compte de cette remarque au stade du choix des zones de captage, qui seront étudiées d'une manière plus approfondie pour définir les conditions réelles d'exploitation. Selon son objectif, l'exploitant pourra considérer différemment ces deux paramètres :

- celui qui désire un débit garanti sur une longue durée prélèvera seulement une fraction de la ressource renouvelable, c'est à dire de l'apport annuel moyen à la nappe,
- celui qui doit pomper un volume notable en 10 ou 15 ans pourrait entamer fortement le stock des réserves locales ; ce stock se reconstituerait ultérieurement en immobilisant alors une partie du flux d'entrée, les ressources renouvelables.

Les cartes permettent d'aller au-delà de ces résultats globaux et chacun pourra reprendre les calcul de R_r ou R_{ex} dans la zone qui l'intéresse, qu'il s'agisse d'une région administrative ou mieux d'une région naturelle, le bassin versant d'une rivière par exemple.

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) *Avenard et al. (1971)* - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire - *Orstom - Mémoire n° 50.*
- (4) *Balek J. (1973)* - Use of representative and experimental catchments for the assesment of hydrological data of african tropical basins - *UNESCO - WMO - AIHS - Madrid 1973.*
- (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) *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.*
- (7) *Blanchot A., Dumas J.P., Papon A. (1973)* - Carte géologique de la partie méridionale de l'Afrique de l'Ouest. *Ed. BRGM.*
- (8) *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. Forkasiewicz et J. Margat, B. George, F. Lelona et J. Lemoine, H. Plote, E.F. Suszczynski. *Bull. BRGM, 2ème série, section III, n° 2 et 3 - 1968.*
- (9) *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.*
- (10) *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.*
- (11) *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.*
- (12) *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.*

- (13) Castany G. (1963) - Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod.
- (14) Castany G., Delarozière -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.
- (15) Castany G., Margat J., Albinet M. et Delarozière -Bouillin O. (1970) - Evaluation rapide des ressources en eau d'une région. Actes Conv. int. acque sotterane - Palermo.
- (16) Comité technique de l'eau de Bretagne (1975) - Annuaire hydrologique régional 1975.
- (17) Degallier R. (1977) - Détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe souterraine du bassin versant de Korhogo, d'après les variations de son niveau piézométrique. Bull. BRGM 2ème série, section III n° 3 et 4 - 1977.
- (18) Delany F. (1965) - Hydrogéologie des régions à substratum schisteux du Ghana, du Nigéria et de Côte d'Ivoire et programme de travaux en Côte d'Ivoire - Rapp BRGM DAK 65 A1.
- (19) Donnot M. (1975) - Première recherche de phosphate dans le bassin voltaïen du Ghana. Rapp. BRGM 75 SGN 300 GEO.
- (20) 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.
- (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) Lenck P.P. (1977) - Données nouvelles sur l'hydrogéologie des régions à substratum métamorphique ou éruptif. Enseignements tirés de la réalisation de 900 forages en Côte d'Ivoire. C.R. Acad. Sc. Paris t. 285 (19.9.1977) série D.
- (23) 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.
- (24) Margat J. Trad. (1973) - Variantes dans les conceptions de ressources exploitables. Rapp. BRGM inédit 73 SGN 290 AME.
Trad. de : Alternative yield concepts In : Ground water management. American society of civil engineering (ASCE). Manuals and report on engineering practice, n° 40, chap. III.
- (25) Moniod F., Pouyaud B., Sechet P. (1977) - Le bassin du fleuve Volta. Orstom Paris. Monographie hydrologique n° 5.

- (26) *Orstom* (1970) - Monographie hydrologique du bassin du Niger. Trois parties: cartes, graphiques, tableaux. *Paris - Orstom/CIEH*.
- (27) *Orstom (dates variables)* - Annales hydrologiques et Annuaires hydrologiques.
- (28) *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*.
- (29) *Rambert B.* (1971) - Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. *Deux rapp. BRGM 71 SGN 389 HYD et 72 SGN 371 AME*.
- (30) *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*.
- (31) *Rampon G.* (1973) - Calcul automatique des "bilans d'eau" décadaires et annuels par la méthode de Turc. Variations du "solde de la pluie efficace". *Rapp. BRGM 73 SGN 373 AME*.

NOTICES PAR PAYS

- Côte d'Ivoire**
- Ghana**
- Togo**
- Bénin**

CÔTE D'IVOIRE

NOTICE EXPLICATIVE DE LA COTE D'IVOIRE

La Côte d'Ivoire couvre une superficie de 322 463 km². Les terrains appartiennent en très grande partie au socle cristallin antécambrien à l'exception du bassin sédimentaire côtier qui représente 9 500 km², dont 1 700 occupés par des lacs et lagunes.

1 - CARACTERES GENERAUX DES AQUIFERES :

1.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN :

Les termes les plus anciens du socle sont des granites, des gneiss et des migmatites datés du Précambrien inférieur (Ante-Birrimien). Au Précambrien moyen et supérieur (Birrimien) sont rattachées des formations métamorphiques très généralement d'origine sédimentaire, constituées principalement de schistes (s.l) plus rarement de grès et de conglomérats et localement d'origine volcano-sédimentaire avec des tufs, brèches, roches vertes et schistes.

Les formations métamorphiques sont réparties en bandes plus ou moins larges orientées NNE-SSO et comportant de nombreuses intrusions granitiques.

L'eau souterraine est emmagasinée dans la partie supérieure altérée ou fracturée de ces diverses roches et dans les produits de décomposition qui les recouvrent. Les ressources sont discontinues liées à l'existence de structures pièges.

1.2. - LE BASSIN CÔTIER :

Les sédiments du bassin côtier s'épaississent graduellement du Nord au Sud pour atteindre 150 à 200 m de puissance maximale à la verticale des lagunes. A ce niveau apparaît une faille majeure E.O. au Sud de laquelle les forages pétroliers ont reconnu plusieurs milliers de mètres de dépôts marins du Crétacé moyen et supérieur et du Tertiaire.

Les formations superficielles, qui seules présentent un intérêt du point de vue des ressources en eau, sont subdivisées sur la base de considérations géomorphologiques.

Les hauts plateaux (40 à 100 m) au Nord des lagunes sont constitués de formations détritiques du Continental terminal. Cet ensemble équivalent latéral du Mio-Pliocène et probablement d'une partie du Crétacé supérieur, surmonte le socle, soit directement sur la plus grande partie de sa surface, soit par l'intermédiaire de quelques mètres de Paléocène ou de Maestrichtien marin "s'avancant" un peu au-delà des lagunes jusqu'à la faille majeure.

D'après G. Guérin-Villeaubreil (B 49) le Continental terminal est constitué de sable souvent grossier peu argileux à la partie inférieure, et d'argile versicolore sablo-gréseuse surmontée de sable argileux latéritique à la partie supérieure.

Les bas plateaux situés immédiatement au Sud des lagunes et dont l'altitude est comprise entre 8 et 12 m sont constitués de formations quaternaires d'origine marine lagunaire et continentale. A la base et reposant sur le Continental terminal érodé, le Quaternaire est représenté par une série argileuse marine d'épaisseur variable suivant les points, mais pouvant atteindre une quarantaine de mètres. Succèdent à cette série des argiles et tourbes à intercalations sableuses lagunaires (une dizaine de mètres), elles-mêmes surmontées par une série sablo-argileuse continentale provenant vraisemblablement de l'épandage de matériaux issus du Continental terminal puissant d'une vingtaine de mètres.

Des cordons sableux d'origine marine séparés des bas plateaux par une dénivelée de quelques mètres bordent l'océan et leur altitude varie de façon générale entre 2 et 6 m. Les sables qui constituent ces cordons (quaternaires à actuels) sont puissants en moyenne d'une quarantaine de mètres.

Les lagunes correspondent à un ancien réseau hydrographique actuellement ennoyé. Les dépôts lagunaires qui comblent ce réseau essentiellement vaseux, présentent une épaisseur considérable (base des vases à moins 50 m sous le deuxième pont d'Abidjan).

Les formations du Continental terminal au Nord des lagunes recèlent un aquifère généralisé exploité entre autre pour l'approvisionnement en eau d'Abidjan.

Les bas plateaux et les cordons sableux recèlent des nappes à eau douce dont l'exploitation est rendue délicate par l'existence de biseaux salés (océans et lagunes).

A titre d'illustration la figure 1 C regroupe quelques coupes lithologiques de forages identifiés par leur numéro de classement (tableau 3 ci-après et feuille 3).

2 - RESSOURCES EN EAU :

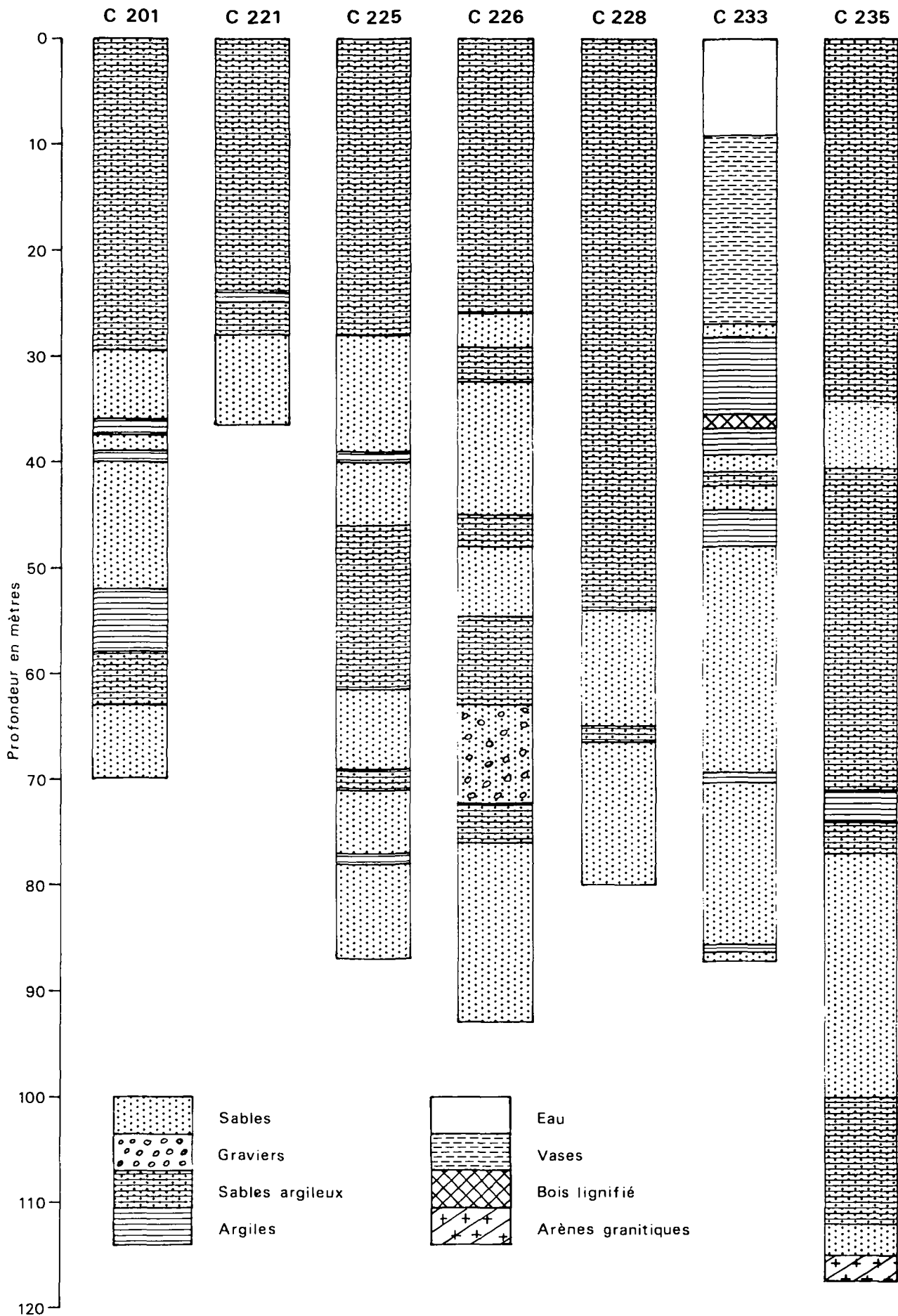
2.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN - LES AQUIFERES DISCONTINUS :

Depuis longtemps des puits et des forages sollicitent les aquifères discontinus, mais en 1975 la réalisation de 9 000 points d'eau potable a été décidée, à raison d'un point d'eau par village de 100 à 900 habitants et d'un point d'eau supplémentaire par 600 habitants dans les agglomérations plus importantes.

Fin novembre 1977, 1 900 puits ou forages déjà exécutés permettaient aux responsables de la Direction centrale de l'Hydraulique de faire certaines constatations (B 48) résumées ci-après.

Coupes lithologiques de forages dans le Continental terminal de Côte d'Ivoire

d'après G. GUERIN-VILLEAUBREIL



Dans les roches grenues, l'eau est emmagasinée dans les fissures de la roche saine ou dans les arènes de la roche décomposée par altération. La couche d'altération atteint 20 à 30 m d'épaisseur moyenne, les valeurs extrêmes se situant entre 10 et 60 m dans la majorité des cas. Les venues d'eau les plus importantes se localisent dans les arènes propres (sans argile) au contact de la roche saine, et la transmissivité de ces nappes varie généralement entre 10^{-4} et 10^{-5} m²/seconde.

Dans les roches schisteuses du Birrimien la couverture argileuse est habituellement peu perméable et les débits les plus intéressants sont obtenus par captage de la partie supérieure de la roche saine, surtout si celle-ci est riche en quartz détritique ou produits volcaniques et si l'épaisseur de la couche d'altération est réduite.

2.1.1. - Les techniques de captage :

Les puits de 1 m de diamètre sont creusés par des foreuses de type Calwell qui travaillent dans les terrains friables à des profondeurs ne dépassant pas 25 m le plus souvent. En cas de succès, l'extraction de l'eau peut se faire avec une pompe ou même avec un seau.

Les forages sont réalisés à l'air, soit par percussion au marteau fond de trou, soit à la rotation au tricône. La progression est rapide et les outils peuvent broyer les roches dures jusqu'à une centaine de mètres de profondeur.

Tandis qu'une reconnaissance en diamètre réduit est nécessaire avant de foncer le puits à sa dimension finale, le forage entrepris directement au diamètre définitif, est équipé pour l'essai de production si le débit obtenu en cours de foration est suffisant.

Statistiquement les responsables constatent qu'il faut faire 3 trous de reconnaissance avant de creuser 2 puits exploitables tandis que sur une série de 474 forages, 85 % sont positifs.

2.1.2. - Les ressources disponibles :

Les volumes prélevés sur les ouvrages sollicitant les aquifères discontinus sont modestes, si on les compare à ceux qui se réinfiltrant en moyenne interannuelle. Les ressources renouvelables des terrains cristallins de Côte d'Ivoire seraient en effet les suivantes selon les diverses zones cartographiées (infiltration considérée égale à 50 % de la pluie efficace calculée) :

INFILTRATION ANNUELLE MOYENNE.	RESSOURCES RENOUVELABLES
< 50 mm	0,025 m x 51 140 x 10 ⁶ m ² = 1 278 Mm ³
50 à 100 mm	0,075 m x 122 463 x 10 ⁶ m ² = 9 185 Mm ³
100 à 150 mm	0,125 m x 60 000 x 10 ⁶ m ² = 7 500 Mm ³
150 à 200 mm	0,175 m x 49 800 x 10 ⁶ m ² = 8 715 Mm ³
200 à 300 mm	0,250 m x 20 770 x 10 ⁶ m ² = 5 192 Mm ³
300 à 400 mm	0,350 m x 8 820 x 10 ⁶ m ² = 3 087 Mm ³
TOTAL	34 957 Mm ³

Le total arrondi de 35 km^3 correspond à un débit moyen interannuel de $1\ 110 \text{ m}^3/\text{s}$, ou encore à une lame d'eau équivalente de 112 mm sur les $313\ 000 \text{ km}^2$ concernés, (la superficie des plans d'eau n'a pas été soustraite dans les calculs).

2.2. - LE BASSIN CÔTIER - LES AQUIFERES GENERALISES :

Les $9\ 500 \text{ km}^2$ du bassin sédimentaire se divisent approximativement en :

- $1\ 700 \text{ km}^2$ de plans d'eau (lagunes et lacs),
- $1\ 800 \text{ km}^2$ de terrains quaternaires littoraux (bas plateaux et cordons sableux),
- $6\ 000 \text{ km}^2$ de terrains du Continental terminal dont 500 km^2 estimés pour la bordure nord non aquifère (biseau sec),

2.2.1. - La nappe des formations quaternaires littorales (bas plateaux et cordons sableux) :

Emmagasinée dans les sables de la partie supérieure, elle est exploitée à partir de puits et de petits forages susceptibles de fournir quelques m^3/h à quelques dizaines de m^3/h d'eau douce. Des horizons de sables grossiers très perméables présentent localement une forte productivité et l'on cite (B 49) l'un des forages de Treichville (quartier sud d'Abidjan - bas plateau - près de C 233) crépiné en $10''$ de 12 à 24 m qui donne $210 \text{ m}^3/\text{h}$ avec $3,10 \text{ m}$ de rabattement. En ce point le terme inférieur argileux (cf 1.1.2) protège la nappe contre la remontée de l'eau salée sous-jacente.

Dans un autre forage dans la presqu'île de Vridi (cordon sableux) par contre, l'existence d'un biseau salé a été identifié en profondeur, la salure passant de moins de 100 mg/l à 25 g/l dans une série homogène sableuse.

Le renouvellement de la ressource considéré globalement, où l'on a admis que 50% de la pluie efficace parvenait à la nappe, est comparativement très important, soit 640 Mm^3 , équivalents à $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ou encore à une lame d'eau de $640/1\ 800 = 0,35 \text{ m}$.

A titre de comparaison l'ordre de grandeur des prélèvements effectués serait de $10 \text{ Mm}^3/\text{an}$ captés il est vrai sur un secteur limité.

2.2.2. - Le Continental terminal :

Le Continental terminal est mieux connu dans la partie centrale du bassin qu'aux deux extrémités où la densité des points d'eau est encore assez faible.

D'après les quelques forages qui ont atteint le socle, on a tendance, pour la synthèse, à imaginer la surface structurale de celui-ci comme assez régulière. En réalité la prospection géophysique et

quelques forages récents font apparaître des mōles résistants surélevés et des surcreusements qui doivent entraîner des variations locales d'épaisseur et de faciès du Continental terminal.

. *Caractéristiques hydrauliques :*

Une étude sur les ressources en eau utilisables pour l'alimentation de la ville d'Abidjan (B 55) donne des informations sur les caractéristiques hydrauliques de la nappe dans sa partie centrale :

- les transmissivités seraient faibles à moyennes dans le Nord du bassin, soit $T = 1 \text{ à } 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Elles seraient fortes à très fortes dans la zone d'Abidjan avec $10^{-2} < T < 3 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$,
- le coefficient d'emmagasinement, S, a été déterminé en deux points de la zone est (7 à 8 km au N.E. du plateau d'Abidjan) S = 14% sur le forage Z.E. II et S = 9% sur Z.E. III.

L'étude (B 52) d'une zone d'une vingtaine de km d'extension est-ouest, à l'Ouest d'Adiaké, montre que localement T varierait entre 2×10^{-4} et $3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

. *Qualité des eaux :*

L'eau du Continental terminal est très peu minéralisée puisque le résidu sec varie le plus couramment entre 40 et 150 mg/l ; elle est toujours très agressive, avec un pH voisin de 4,5, une teneur en CO₂ de 90 mg/l, 1 à 4 mg de Ca+Mg, 3 à 6 mg/l de HCO₃, 7 à 14 mg de Cl et 10 mg/l de SiO₂.

Pour s'alimenter en eau potable en 1976, la ville d'Abidjan a fait une ponction de 50 Mm³ (130 000 m³/j) sur la nappe du Continental terminal ; il est probable que ce volume représente au moins 50 % du prélèvement global actuel, soit 100 Mm³/an sur tout le bassin.

Les planificateurs estimant que la capitale aurait besoin de 250 à 300 Mm³ à l'horizon 2 000, ont entrepris des études de faisabilité dans cette optique.

. *Ressources renouvelables :*

Pour le Continental terminal considéré dans son ensemble, elles sont calculées sur la base d'une infiltration égale à 50 % de la pluie efficace :

INFILTRATION ANNUELLE MOYENNE	RESSOURCES RENOUVELABLES
200 à 300 mm	0,250 m x 1 200 x 10 ⁶ m ² = 300 Mm ³
300 à 400 mm	0,350 m x 2 800 x 10 ⁶ m ² = 980 Mm ³
> 400 mm	0,425 m x 2 000 x 10 ⁶ m ² = 850 Mm ³
TOTAL	2 130 Mm³

Ces 2 000 Mm³ correspondent à un débit moyen annuel de 67 m³/s ou encore à une lame d'eau équivalente de 0,35 m.

Les réserves exploitables (Rex) déduites des différentes tranches de rabattement admissible indiquées sur la feuille 1, avec S = 10 % seraient de l'ordre de 7 000 Mm³ :

-	Da > 30 m	;	Rex = 3,3 Mm ³ x 570	= 1 880 Mm ³
-	20 m < Da < 30 m	;	Rex = 2,5 Mm ³ x 710	= 1 775 Mm ³
-	10 m < Da < 20 m	;	Rex = 1,5 Mm ³ x 1 300	= 1 950 Mm ³
-	Da < 10 m	;	Rex = 0,5 Mm ³ x 2 920	= 1 460 Mm ³
				Total . . . 7 065 Mm ³

Les ressources renouvelables et les réserves exploitables du Continental terminal apparaissent considérables et une augmentation des prélèvements est parfaitement possible, ce qui est confirmé par le débit de débordement de la nappe donnant naissance à une série de sources, en particulier dans le thalweg du Banco, à l'Ouest d'Abidjan.

3 - OUVRAGES DE REFERENCE :

3.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN - LES AQUIFERES DISCONTINUS :

Les puits et forages de reconnaissance ou d'exploitation sont répertoriés avec leurs caractéristiques sous forme de tableaux récapitulatifs (tableaux 2) et positionnés sur la feuille 1. Ont été sélectionnés :

- 104 puits ou forages récents dont le débit spécifique $Q_s \geq 1 \text{ m}^3/\text{h/m}$,
- 9 puits ou forages pour lesquels $Q_s \geq 5 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

3.2. - LE BASSIN COTIER - LES AQUIFERES GENERALISES :

Parmi les ouvrages existants, ceux dont les caractéristiques disponibles étaient relativement complètes ont été regroupés en tableaux récapitulatifs (tableaux 3) et positionnés sur la carte 1 de la feuille 3.

Au total 60 forages ont été sélectionnés pour la Côte d'Ivoire.

Numéro de Classement	Désignation	Coordonnées		Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabatement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Terrain aquifère
		latitude N.	longitude O.						
C 1	Koriani	10° 03' 30"	7° 44' 20"	36,00	11,23	1,00	0,50	2,00	gneiss
C 2	Ouoman II	10° 08' 00"	6° 22' 15"	37,00	5,40	1,20	0,48	2,50	granite
C 3	Katogo	10° 09' 10"	6° 07' 40"	65,85	11,76	1,20	1,09	1,10	granite
C 4	Kasseregué	10° 17' 40"	5° 38' 15"	41,80	9,51	1,26	1,14	1,10	granite
C 5	Niamatogola	P*	9° 17' 00"	7° 44' 00"	17,30	10,70	0,56	2,14	granite altéré
C 6	Nienesso		9° 13' 00"	7° 24' 00"	31,16	7,05	0,50	0,30	gneiss
C 7	Dassimble		9° 23' 40"	5° 49' 30"	51,70	7,80	2,90	2,29	granite
C 8	Kafongo		9° 08' 50"	5° 36' 00"	55,80	5,10	0,60	0,58	granite
C 9	Dohiriguekaha		9° 28' 00"	5° 23' 15"	36,20	6,55	3,00	1,67	granite altéré
C 10	Pindokaha		9° 09' 30"	5° 52' 00"	57,15	6,90	1,05	0,44	granite
C 11	Kapa		9° 28' 30"	5° 42' 40"	35,50	1,98	0,90	0,90	granite
C 12	Tafiré-Sante	P	9° 04' 10"	5° 09' 30"	17,40	10,22	1,10	0,95	arène
C 13	Linguekoro		9° 25' 35"	4° 35' 15"	38,00	13,60	1,30	0,59	granite
C 14	Kolon	P	8° 16' 00"	7° 12' 52"	13,80	4,10	1,00	0,60	gneiss
C 15	Guinteguela	P	8° 17' 30"	7° 18' 15"	13,80	9,20	1,00	0,82	gneiss
C 16	Madina		8° 17' 30"	7° 24' 00"	32,37	12,25	1,00	0,72	gneiss
C 17	Dioman		8° 08' 00"	7° 32' 40"	18,75	8,64	1,00	0,95	granite
C 18	Doualla	P	8° 07' 25"	6° 32' 30"	14,60	4,63	1,00	0,66	granite
C 19	Darakolondougou		8° 17' 30"	5° 09' 30"	28,15	15,08	2,40	2,34	arène
C 20	Offiakaha		8° 13' 00"	5° 08' 00"	86,70	9,29	2,50	2,47	granite ?
C 21	Kawakaha		8° 04' 25"	5° 14' 25"	43,00	13,45	3,25	1,24	granite ?
C 22	Kouakoukaha		8° 04' 00"	5° 14' 30"	51,30	15,30	7,10	1,59	granite ?
C 23	Lougbonou		8° 03' 40"	5° 15' 20"	55,00	10,02	2,40	0,34	granite ?
C 24	Kolokaha		8° 06' 10"	5° 14' 00"	40,02	7,89	5,00	4,18	granite ?
C 25	Angolokaha		8° 31' 10"	5° 10' 30"	50,52	32,08	3,00	0,58	granite ?
C 26	Latokaha		8° 37' 20"	5° 23' 10"	17,40	10,40	1,20	1,12	arène
C 27	Niagbo		8° 48' 20"	5° 09' 40"	48,15	23,07	2,40	1,66	granite ?
C 28	Tiemorokaha		8° 30' 10"	5° 12' 20"	27,00	19,74	1,50	1,13	arène
C 29	Baradougou-Diéri		8° 06' 00"	5° 39' 00"	59,00	5,45	7,00	0,67	granite ?
C 30	Niantibo	P	8° 12' 40"	5° 44' 10"	22,10	10,51	1,25	0,94	arène
C 31	Ouarebo		8° 24' 10"	5° 57' 00"	41,00	12,82	3,00	1,22	granite ?
C 32	Pokoundougou		8° 17' 00"	5° 51' 50"	42,00	14,61	4,30	3,30	granite ?
C 33	Teguepe		8° 28' 10"	5° 56' 30"	40,50	14,05	1,50	1,50	granite ?
C 34	Tienengboue-Bobo	P	8° 27' 00"	5° 47' 10"	19,50	8,81	1,30	0,75	arène
C 35	Bonieredougou	P	8° 22' 30"	4° 43' 20"	17,50	8,58	13,00	5,06	arène
C 36	Tienguedougou	P	8° 23' 30"	4° 45' 00"	17,80	10,04	1,20	0,00 ?	granite ?
C 37	Gbadougou		8° 19' 10"	4° 20' 05"	17,55	8,12	1,30	1,29	arène
C 38	Kagbonon		8° 15' 00"	4° 24' 55"	66,15	17,98	2,80	1,06	granite ?
C 39	Kawolo Kongodian		8° 18' 00"	4° 30' 15"	72,00	20,33	2,80	2,25	granite ?
C 40	Lafigue		8° 17' 30"	4° 37' 20"	44,15	9,86	2,50	1,56	granite ?
C 41	Foumbolo		8° 38' 30"	4° 23' 50"	20,25	13,14	1,50	1,32	arène
C 42	Mangorosso		8° 00' 10"	4° 33' 00"	46,00	11,32	2,50	0,90	granite ?
C 43	Mouina		7° 50' 15"	6° 42' 20"	41,55	23,95	1,00	0,97	granite
C 44	Sifié	P	7° 58' 50"	6° 55' 30"	22,65	14,75	1,00	0,88	granite
C 45	Diamalazué		7° 35' 05"	5° 35' 25"	13,53	3,84	1,50	1,15	arène
C 46	Diamalazué-Abouakro		7° 35' 45"	5° 35' 25"	12,32	3,79	1,50	0,97	arène
C 47	Petessou		7° 34' 05"	5° 04' 05"	20,00	18,06	1,30	1,17	arène
C 48	Sakassou (Presid.)		7° 37' 30"	5° 17' 30"	37,65	7,67	2,50	0,29	granite ?

Numéro de Classement	Désignation	Coordonnées		Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabatement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Terrain aquifère
		latitude N.	longitude O.						
C 49	Begbessou	7° 04' 00"	5° 36' 00"	43,00	4,93	2,10	1,79	1,17	granite ?
C 50	Kan (Gare)	7° 33' 50"	4° 57' 30"	18,70	13,04	1,50	0,72	2,08	arène ?
C 51	Ahokokro	7° 39' 10"	4° 05' 40"	45,00	8,80	4,00	2,22	1,80	granite ?
C 52	Pindikro	7° 37' 50"	4° 47' 00"	43,42	15,70	8,00	2,86	2,80	granite ?
C 53	N'Guyakro	7° 18' 50"	4° 59' 30"	98,15	23,28	2,10	1,11	1,90	granite ?
C 54	Satamasokoura (3)	7° 54' 10"	4° 21' 40"	51,50	6,52	2,40	1,83	1,31	granite ?
C 55	Satamasokoura (5)	7° 54' 10"	4° 21' 40"	40,00	6,69	2,50	2,44	1,02	granite ?
C 56	Satama Sokoro	7° 54' 00"	4° 31' 50"	15,38	4,50	1,30	0,99	1,32	arène
C 57	Pehekan-Houebli	P 6° 28' 20"	8° 28' 30"	14,90	7,20	1,00	0,80	1,25	amphibolite
C 58	Toulepleu	P 6° 34' 50"	8° 25' 00"	17,00	7,35	1,00	0,81	1,24	migmatite
C 59	Denan	P 6° 32' 10"	8° 16' 30"	24,00	14,90	1,00	0,34	2,94	granite
C 60	Bogrenyoya	P 6° 04' 20"	6° 01' 00"	21,10	17,30	1,00	0,90	1,11	granite
C 61	Guesseyo	P 6° 06' 00"	6° 00' 00"	22,40	16,00	1,00	1,00	1,00	granite
C 62	Lokoyo	P 6° 07' 45"	6° 02' 25"	20,80	14,00	1,00	1,00	1,00	granite
C 63	Tézié	P 6° 23' 10"	6° 18' 00"	25,91	17,16	1,00	0,98	1,02	migmatite
C 64	Bonon	6° 55' 50"	6° 02' 20"	44,20	4,74	6,75	1,23	5,48	granite ?
C 65	Doudioullasso	6° 55' 50"	6° 02' 20"	45,02	12,40	9,00	1,23	7,31	granite ?
C 66	Mahibouo	P 6° 03' 13"	5° 55' 10"	24,50	17,50	1,00	0,80	1,25	granite ?
C 67	Gueguepalenyoya	P 6° 12' 15"	5° 51' 30"	17,70	7,90	1,00	0,70	1,43	granite ?
C 68	Dikouehipalenyoya	P 6° 03' 10"	5° 52' 20"	16,90	8,10	1,00	0,90	1,11	granite ?
C 69	Godelilié	P 6° 02' 45"	5° 05' 25"	19,00	13,60	1,00	0,70	1,43	granite ?
C 70	Bonyoya	P 6° 04' 00"	5° 49' 30"	19,00	13,90	1,00	0,90	1,11	granite ?
C 71	Bobia	P 6° 04' 35"	5° 50' 15"	18,80	12,40	1,00	1,00	1,00	granite ?
C 72	Tipadipa	P 6° 30' 50"	5° 57' 50"	15,50	9,00	1,00	0,40	2,50	granite ?
C 73	Godiabré	P 6° 06' 40"	5° 55' 30"	13,40	6,70	1,00	0,80	1,25	granite ?
C 74	Payopa	P 6° 11' 40"	5° 45' 30"	24,10	16,00	1,00	1,00	1,00	granodiorite
C 75	Logobia	P 6° 11' 00"	5° 47' 30"	23,50	16,40	1,00	0,70	1,43	granite
C 76	Gagnoa Evêché	P 6° 07' 40"	5° 58' 05"	21,40	9,30	1,00	0,80	1,25	granite
C 77	Ony-Tabré	P 6° 10' 30"	5° 57' 35"	18,90	9,70	1,00	0,80	1,25	granite
C 78	Djedjediguepa	P 6° 12' 30"	5° 51' 30"	19,90	13,10	1,00	0,90	1,11	granite
C 79	Kakouezo	P 6° 14' 15"	5° 57' 00"	24,80	18,30	1,00	1,00	1,00	granite
C 80	Magbehiguepa	P 6° 18' 15"	5° 49' 45"	17,80	14,10	1,00	0,90	1,11	granite
C 81	Brodoumé	P 6° 26' 45"	5° 42' 30"	18,60	12,20	1,00	0,80	1,25	granite
C 82	Zahiboyo	P 6° 25' 30"	5° 52' 50"	24,10	19,20	1,00	0,60	1,67	granite
C 83	Brihi	P 6° 27' 30"	5° 54' 50"	26,60	20,50	1,00	1,00	1,00	granite
C 84	Lossomi	P 6° 25' 20"	5° 47' 30"	26,20	19,80	1,00	1,00	1,00	granite
C 85	Ziprikou	P 6° 24' 20"	5° 50' 15"	21,20	13,70	1,00	1,00	1,00	granite
C 86	Baompa	P 6° 28' 10"	5° 48' 35"	26,60	20,20	1,00	0,80	1,25	granite
C 87	Bayota	P 6° 27' 40"	5° 57' 20"	26,90	19,00	1,00	1,00	1,00	granite
C 88	Abouakakro	6° 28' 20"	5° 06' 20"	48,65	15,19	2,20	1,47	1,50	granite
C 89	Tatissou	6° 25' 50"	5° 06' 25"	54,62	6,19	8,25	3,32	2,48	granite
C 90	Dabouzra	6° 56' 20"	5° 59' 30"	54,00	24,03	2,50	0,50	5,00	granite
C 91	Degbezré	6° 59' 10"	5° 39' 20"	49,56	13,29	0,85	0,64	1,33	arène
C 92	Garango Bambara	6° 57' 50"	5° 48' 50"	16,66	8,60	1,05	0,95	1,10	arène
C 93	Garango Kontera	6° 57' 50"	5° 48' 50"	41,88	6,43	8,50	1,19	7,14	granite ?
C 94	Kaviessou	6° 56' 10"	5° 58' 35"	53,50	6,70	7,60	4,22	1,80	granite ?
C 95	Koffi Boniozra	6° 57' 20"	5° 57' 50"	33,50	17,30	2,10	0,07	30,00	granite ?
C 96	Peya Yoho	6° 57' 40"	5° 34' 45"	17,68	6,90	1,00	0,66	1,51	arène

Numéro de Classement	Désignation	Coordonnées		Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabatement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Terrain aquifère
		latitude N.	longitude O.						
C 97	Semimbo	?	?	24,40	11,88	1,00	0,96	1,04	arène
C 98	Binoufla	6° 40' 10"	5° 53' 10"	20,07	12,00	1,20	1,14	1,05	arène
C 99	Koumodji	6° 38' 50"	5° 38' 00"	15,15	10,90	1,00	0,48	2,08	arène
C 100	Manoufla	6° 38' 20"	5° 54' 10"	23,65	16,54	1,50	1,21	1,24	arène
C 101	Paabenefla	6° 34' 10"	5° 49' 20"	17,42	11,54	1,00	0,90	1,11	arène
C 102	Porabenefla	6° 33' 30"	5° 47' 10"	25,54	18,05	1,20	1,20	1,00	arène
C 103	Trikata	6° 40' 40"	5° 54' 10"	26,20	19,03	1,25	0,98	1,27	arène
C 104	Didayakro	6° 24' 50"	4° 49' 20"	51,00	14,88	2,80	0,64	4,37	granite ?

* Les points d'eau sont généralement des forages ; les puits sont désignés par la lettre P

● Débit spécifique égal ou supérieur à 5 m³/h/m

COTE D'IVOIRE

POINTS D'EAU DES AQUIFERES GENERALISES : nappe des sables du Continental terminal

Tableau 3

Numéro de Classement	DESIGNATION de l'OUVRAGE	Altitude (m)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Crépine		Débit (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Hauteur eau; H (m)	Rabattement admissible (m)	Productivité	Résidu sec (mg/l)
					longueur	diamètre							
C 201	Ousrou	(+ 98)	70,00	47,50	-	3	7,0	2,6	2,69	> 22,50	> 7,5	B	-
C 202	Ousrou	(+ 85)	75,45	48,40	4,1	6	12,0	2,0	6,00	> 27,00	> 9,0	B	-
C 203	Akredio	(+ 35)	42,80	17,30	4,0	5	11,0	9,0	1,22	> 26,00	> 8,6	A	-
C 204	Dabou (E. normale)	(+ 9)	34,00	0,60	-	-	>16,0	4,0	> 4,00	> 33,00	> 11,0	B	-
C 205	Opoyonem	(+ 100)	83,00	58,50	4,4	6	11,0	1,75	6,29	> 22,50	> 7,5	B	-
C 206	Orgaf	(+ 24,7)	44,50	11,70	4,0	5	11,0	11,50	0,96	> 33,00	> 11,0	A	-
C 207	Toupah (SAPH)	(+ 52)	63,00	28,00	-	-	18,0	0,9	20,00	> 35,00	> 11,5	(D)	-
C 208	Songon Attié	(+ 74)	45,80	36,00	4,0	5	9,0	1,4	6,43	> 9,80	> 3,2	(B)	-
C 209	Songon Agban	(+ 16)	32,50	11,00	essai		15,8	5,0	3,15	> 21,00	> 7,0	(B)	-
C 210	Cosrou	(+ 13)	28,50	7,80	3,0	5	12,0	3,8	3,16	> 22,00	> 7,3	(B)	32
C 211	Vieux Badien	(+ 50)	52,30	28,00	4,1	6	20,0	3,0	6,66	(75,00)	(25,0)	(C)	-
C 212	Yohouli	(+ 110)	62,60	19,50	4,0	6	11,0	4,5	2,44	> 43,00	> 14,0	(B)	-
C 213	Orbaf	(+ 29)	29,70	12,25	-	-	15,0	2,25	6,66	> 17,50	> 6,0	(B)	-
C 214	Boubo	(+ 40)	46,00	28,40	2,0	5	10,5	3,6	2,92	> 18,00	> 6,0	Ax	26
C 215	Petit Badien	(+ 15)	37,50	5,60	4,1	5	13,0	14,0	0,93	> 32,00	> 11,0	Ax	-
C 216	Vieux Ousrou	(+ 80)	42,00	12,80	3,0	5	10,5	3,0	3,50	> 29,00	> 10,0	A	24
C 217	Addah	(+ 3)	13,00	2,00	2,1	4	8,0	4,1	1,95	-	-	(A)	843
C 218	Yassap	(+ 87)	52,00	34,30	2,6	5	8,0	1,1	7,27	> 18,00	> 6,0	(B)	-
C 219	Lopou F.2	(+ 80)	60,24	40,70	7,0	5	15,0	2,0	7,50	(45,00)	(15,0)	(B)	-
C 220	Debrimou	(+ 40)	40,00	21,50	3,0	4	9,0	2,8	3,21	(85,00)	(28,0)	(C)	-
C 221	Bingerville	(+ 6)	36,50	4,00	10,0	-	130,0	2,0	65,00	32,50	11,0	D	-
C 222	Adjamé-Bingerville	(+ 48)	54,00	34,60	14,2	5	15,0	2,3	6,52	> 19,00	> 6,3	(D)	-
C 223	Bingerville	(+ 95)	143,00	87,50	19,2	-	150,0	13,5	11,10	54,00	18,0	(D)	-
C 224	Abidjan-Adjamé sud	(+ 36)	90,00	34,00	21,5	10	185,0	4,5	41,11	56,00	18,0	D	-
C 225	Abidjan-Adjamé sud	(+ 34)	87,00	32,00	20,0	10	200,0	4,0	50,00	55,00	18,0	D	-
C 226	Abidjan-Adjamé nord	(+ 60,5)	93,00	53,60	21,0	8	181,0	12,0	15,10	39,00	13,0	(D)	-
C 227	Abidjan-Adjamé nord 3	+ 52,67	108,36	46,50	17,7	12	250,0	10,0	25,00	62,00	20,7	D	61
C 228	Abidjan-Cocody	(+ 47)	80,00	39,00	22,0	10	200,0	5,0	40,00	> 41,00	> 13,7	D	55
C 229	Abidjan zone est 2	+ 59,25	90,40	42,00	30,0	-	247,7	10,05	24,60	> 48,00	> 16,0	D	55
C 230	Abidjan zone est 3	+ 48,90	147,00	31,20	-	-	246,0	15,36	16,00	115,00	38,0	D	-
C 231	Abidjan Sopradav	(+ 52)	69,00	37,70	5,9	-	70,0	1,5	46,60	> 31,00	> 10,0	D	-
C 232	Abidjan Uniwax	(+ 75)	147,00	63,00	15,0	-	110,0	4,6	23,90	84,00	28,0	D	39
C 233	Treichville	(+ 8)	84,50	5,20	-	-	?	-	-	-	-	-	11 000
C 234	Sofalca	+ 91,53	92,50	44,50	10,0	-	95,0	6,5	14,60	48,00	16,0	C	-
C 235	Abobo-Ville	(+ 93)	117,50	69,00	4,1	5	10,0	23,0	(8,0)	48,00	16,0	(C)	-
C 236	Anyama-ville	+ 91,76	54,00	35,00	3,0	-	22,8	7,9	2,89	18,00	6,0	A	112
C 237	Cafaci	(+ 74)	65,50	50,00	4,0	6	8,0	7,0	1,14	> 15,00	> 5,0	A	-
C 238	Anono	(+ 41)	54,00	35,00	4,0	5	9,0	2,5	3,60	> 19,00	> 6,3	A	-
C 239	Yopougon-Gare	(+ 72)	70,50	50,00	4,0	3	14,0	3,0	4,67	> 21,00	> 7,0	A	60
C 240	Adiopodoumé	(+ 18,5)	38,00	16,40	5,9	3	11,0	3,6	3,05	> 22,00	> 7,0	A	-
C 241	Andokoi	(+ 80)	55,50	39,00	3,1	5	7,1	1,0	7,10	(48,00)	(16,0)	B	32
C 242	Adiopoto 2	(+ 25)	40,45	20,00	3,1	4	11,2	2,5	4,48	?	?	Ax	36
C 243	Abadji-Kouté	(+ 27)	35,50	24,00	3,1	5	12,24	1,5	8,16	?	?	Ax	40
C 244	Dabré	(+ 30)	34,00	22,30	4,2	5	11,0	3,25	3,38	(50,00)	(16,7)	(C)	33
C 245	Anna	(+ 5)	13,00	2,50	3,2	5	12,0	1,25	9,60	?	?	Ax	23
C 246	Grand Alépé	(+ 48)	22,00	3,00	5,5	5	3,6	5,75	0,63	15,00	5,0	A	54
C 247	Bregbo	(+ 6)	21,00	4,10	4,1	4	9,0	1,75	5,14	?	?	Ax	240
C 248	Akandjé	(+ 5)	22,00	2,40	4,2	4	10,6	2,0	5,30	(54,00)	(18,0)	B	-

Numéro de Classement	DESIGNATION de l'OUVRAGE	Altitude (m)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Crépine		Débit (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Hauteur eau:H (m)	Rabattement admissible (m)	Productivité	Résidu sec (mg/l)
					longueur	diamètre							
C 249	Ebimpé	(+ 85)	58,00	30,30	4,1	5	12,0	6,5	1,85	25,00	8,0	A	56
C 250	Ogedoumé	(+ 2)	13,00	1,00	3,1	4	8,8	0,4	22,00	60,00	20,0	Bx	-
C 251	Ono Salci F 1	(+ 15)	46,50	5,00	11,9	12	200,0	6,5	30,70	(45,00)	(15,0)	(C)x	-
C 252	Ono Salci F 3	(+ 19)	48,27	8,80	17,0	14	300,0	10,0	30,00	(45,00)	(15,0)	(C)x	-
C 253	Bonoua Siaca F 1	(+ 35)	57,00	16,40	6,2	10	100,0	7,5	13,30	(100,00)	(33,0)	(D)	-
C 254	Abrobakro	(+ 58)	52,90	39,00	4,1	5	6,0	1,3	(15,00)	(120,00)	(40,0)	(D)	-
C 255	Kouakoukro	+ 77,9	71,30	50,56	5,1	5	2,8	0,62	4,52	(75,00)	(25,0)	(B)	26
C 256	Nzikro	(+ 76,8)	58,70	40,25	5,5	6	3,33	6,0	0,55	(60,00)	(20,0)	(A)	-
C 257	Brahimakro	(+ 115)	89,50	71,00	0,3	5	8,8	4,5	(5,00)	(45,00)	(15,0)	(B)	120
C 258	Larabia	(+ 106)	100,85	69,85	4,1	4	5,82	2,37	2,45	(90,00)	(30,0)	(B)	-
C 259	Ehania antenne F 1	-	66,70	29,60	8,0	8	50,0	6,0	8,33	(50,00)	(16,6)	(C)	-
C 260	Ehania usine F 2	-	55,00	11,80	12,0	12	100,0	6,0	16,66	(50,00)	(16,6)	(D)	-

Les données rassemblées dans ce tableau sont explicitées en notice, paragraphe 2 - 5 - 4.

BIBLIOGRAPHIE - COTE D'IVOIRE

- (41) *Barraud J.P. (1961)* - Reconnaissances hydrogéologiques en arènes granitiques par sondages électriques en moyenne Côte d'Ivoire. *Publ. CIEH.*
- (42) *BNETD/ERH.* - Archives classées des points d'eau de Côte d'Ivoire du Bureau national d'études techniques et de développement, département : Evaluation des ressources hydrauliques. Abidjan.
- (43) *Brancart R.Y. (1977)* - Note sur le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. Document inédit de la Direction des Hydrocarbures, Ministère des Mines de Côte d'Ivoire.
- (44) *Camerlo J., Fahy J.C., et al. (1976)* - Premiers résultats de la campagne destinée à l'alimentation en eau des villages de la "Boucle du Cacao" en Côte d'Ivoire. *BL CIEH n° 26 - août 1976.*
- (45) *Camerlo J., Fahy J.C., Haubert M. (1976)* - Premiers résultats des forages destinés à l'alimentation en eau des villages réalisés dans le Birrimien de la Côte d'Ivoire. *ONU. Conférence des Nations Unies sur l'eau - Mar del Plata (Argentine) 14-25 mars 1977.*
- (46) *Degallier R. (1975)* - Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes souterraines. Application aux données provenant du bassin versant de Korhogo - Côte d'Ivoire. *Rapp. BRGM 75 SGN 383 AME.*
- (47) *Delany F. (1966)* - Mission hydrogéologique des régions à substratum schisteux (Côte d'Ivoire). *Rapport de fin de mission. Rapp. BRGM DAK 66 A2.*
- (48) *Fahy J.C. (1977)* - Le programme d'hydraulique villageoise en Côte d'Ivoire : Premiers résultats acquis après 18 mois de travaux. *Note inédite DCH, Ministère des Travaux Publics.*
- (49) *Guérin-Villeaubreil G. (1962)* - Hydrogéologie en Côte d'Ivoire. *Mémoire BRGM n° 20.*
- (50) *Maillary J.C. (1964)* - Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/1 000 000 de la Côte d'Ivoire. *Paris BRGM/SODEMI.*
- (51) *Martin L., Tastet J.P. (1972)* - Le Quaternaire du littoral et du plateau Continental de Côte d'Ivoire. Rôle des mouvements tectoniques et eustatiques. *Assoc. Sénégal. Et. Quatern. Ouest Afric. Bull. de liaison - Sénégal n° 33-34.*
- (52) *Pitaud G. (1970)* - Etude hydrogéologique du Continental terminal dans la région d'Adiaké. Localisation d'une zone favorable à l'implantation d'un forage d'exploitation d'une eau de table d'excellente qualité. *Rapp. SODEMI n° 248.*

- (53) SASIF (*divers*) - Coupes techniques et géologiques de forages de la Société africaine de sondages, injections, forages de Côte d'Ivoire - Abidjan.
- (54) SCET - IVOIRE *et al.* (1977) - Carte piézométrique à 1/50 000 de la nappe du Continental terminal de la région d'Abidjan s.l. *Doc. inédit SCET-IVOIRE.*
- (55) SOGREAH *et al.* (1972) - Ville d'Abidjan - Etudes préliminaires à l'établissement des projets d'alimentation en eau et d'assainissement d'Abidjan. Rapport n° 10 : Etudes des ressources en eau. *Rapp. PNUD-OMS - Ministère des travaux publics de Côte d'Ivoire, préparé par SOGREAH, réf. R 10912-10.*

GHANA

NOTICE EXPLICATIVE DU GHANA

La superficie du Ghana est de 238 540 km². Le socle infracambrien et les formations infracambriennes et primaires occupent 235 080 km² soit 98,50 % de la surface du Ghana. Les deux bassins sédimentaires côtiers s'étendent sur 8 460 km², dont 1 920 km² sont attribuables aux lagunes et dépôts littoraux récents.

1 - CARACTERES GENERAUX DES AQUIFERES :

1.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

D'après P. Sonnendrucker (B 69) les 235 080 km² correspondant au socle et formations infracambriennes et primaires se répartissent ainsi :

- affleurements côtiers devono-carbonifères : 1 200 km² = 0,5 % du pays,
- bassin voltaïen infracambrien et cambro-ordovicien : 118 300 km² = 49,6 % (Buem, Atacora, Oti, Obosum),
- formations métamorphiques du Birrimien : 55 400 km² = 23,2 % (Précambrien moyen et supérieur),
- socle cristallin (Précambrien inférieur) : 60 100 km² = 25,2 %.

Si l'on néglige les formations extrêmement limitées du Devono-Carbonifère (marnes, grès, calcaires) les principales caractéristiques lithostratigraphiques des formations ci-dessus envisagées sont les suivantes :

1.1.1. - Socle précambrien et formations du Birrimien :

Les terrains les plus anciens du socle qui correspondent au Dahomeyen des cartes du Ghana sont des granites, des gneiss, des migmatites, des roches basiques ou acides diverses indifférenciées.

Les formations métamorphiques du Birrimien déjà évoquées en Côte d'Ivoire ont été bien étudiées au Ghana depuis le siècle dernier grâce aux nombreux travaux de prospection et d'exploitation minières, qui se poursuivent activement (or, diamant, manganèse et bauxite).

Les formations d'origine sédimentaire et volcanique, métamorphisées et plissées intensément, comprennent des schistes variés, des phyllades, des grauwackes, des quartzites, etc...

Le Tarkwaien, défini à Tarkwa, tend actuellement à être

rattaché au Birrimien, dont il représenterait un faciès plus gréseux et quartzitique avec passages conglomératiques.

1.1.2. - Bassin voltaïen :

Il est classiquement subdivisé du point de vue structural en deux domaines :

- un domaine stable à l'Ouest,
- un domaine mobile à l'Est correspondant au Buem et à l'Atacora.

Les dépôts du bassin s'étendraient de l'Infracambrien au Cambro-Ordovicien et les équivalences stratigraphiques avec les séries plissées et métamorphisées de l'Atacora font encore l'objet de recherches.

Dans le domaine ouest l'épaisseur des formations qui augmente d'Ouest en Est atteindrait environ 2 600 m au maximum :

- 450 m pour la partie supérieure à prédominante gréseuse : les Grès de l'Obosum,
- 1 500 m pour la partie moyenne à prédominante schisteuse : les Schistes de l'Oti,
- 650 m pour les Grès de base.

Le Buem pourrait être l'équivalent du Voltaïen moyen et l'Atacora (les "Togo séries" des cartes ghanéennes) correspondrait au Voltaïen inférieur.

Les formations du socle antécambrien ainsi que les formations infracambriennes et primaires ne contiennent que des ressources en eau souterraine discontinues, liées à des structures locales.

1.2. - LES BASSINS COTIERS :

1.2.1. - Le bassin du Sud-Ouest :

Dans le Sud-Ouest du Ghana les sables argiles et grès du Continental terminal couvrent une superficie estimée à 560 km², et constituent un aquifère généralisé sauf en bordure de socle ou existe un biseau sec.

1.2.2. - Le bassin de Keta :

Sur les 2 630 km² du bassin de Keta, 1 630 sont couverts par les lagunes, les plans d'eau et les dépôts récents du delta de la Volta. Bien qu'il soit possible d'obtenir de petits débits d'eau douce dans ces dépôts récents et dans les formations sous-jacentes, on admettra en première approche qu'au Nord de cette zone il reste 1 000 km², dont 900 d'aquifères exploitables et 100 de biseau sec.

Le Continental terminal sablo argileux, les calcaires paléocènes, et les sables du Crétacé supérieur constituent 3 aquifères généralisés distincts superposés.

2 - RESSOURCES EN EAU :

2.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

2.1.1. - Etude statistique des résultats des forages :

En raison de la simplicité structurale, de l'extension et de l'épaisseur des Grès de l'Obosum et des Grès de base, il semble a priori possible de mettre en évidence des aquifères continus dans le Voltaïen stable.

La démonstration reste à faire, puisqu'une note récente (B 70) citant une étude statistique de 1969 (B 65) souligne que 16 % seulement des forages d'eau effectués au Ghana concernent cette région peu peuplée du bassin voltaïen. Les débits des forages sont du même ordre de grandeur que ceux des forages intéressant les autres aquifères discontinus. En profondeur, l'eau serait par ailleurs assez minéralisée. Il faudrait donc faire des recherches pour définir les zones où la salure demeure admissible et la productivité intéressante.

Les chiffres fournis par le rapport cité plus haut (B 65) ont été reportés sur des diagrammes présentés ci-après. Les figures 1G à 3G montrent la relation entre la profondeur du forage et le débit obtenu pour les trois grandes catégories de terrains anciens, et à titre de comparaison, la figure 4G exprime la même relation sur les forages des aquifères généralisés. La figure 5G traduit en pourcentages les résultats d'une série de tableaux indiquant, selon la formation captée, le nombre de forages situés dans cinq classes de débits (exprimés en gallons impériaux par heure) ; la statistique porte sur 1 197 forages.

Les figures illustrent bien les caractéristiques des différents terrains :

- dans les granites du socle cristallin (figure 1 C) la grande majorité des forages se situe, en profondeur, entre 20 et 80m, et en débit entre 0,5 et 15 m³/h ; les 5 débits les plus élevés ne proviennent pas des forages les plus profonds.
- dans le Birrimien (figure 2 G) les points sont un peu plus étalés : entre 20 et 100/120 m pour la profondeur et entre 0,5 et 30 m³/h pour les débits ; les débits supérieurs à 15 m³/h correspondent aux profondeurs de 40 à 80 m en majorité.
- dans les formations du bassin voltaïen, dans le Buem et l'Atacora (figure 3 G), les points correspondant aux forages dans le Buem et l'Atacora ont une répartition identique à celles des points représentatifs des forages du domaine

Débit en m³/heure

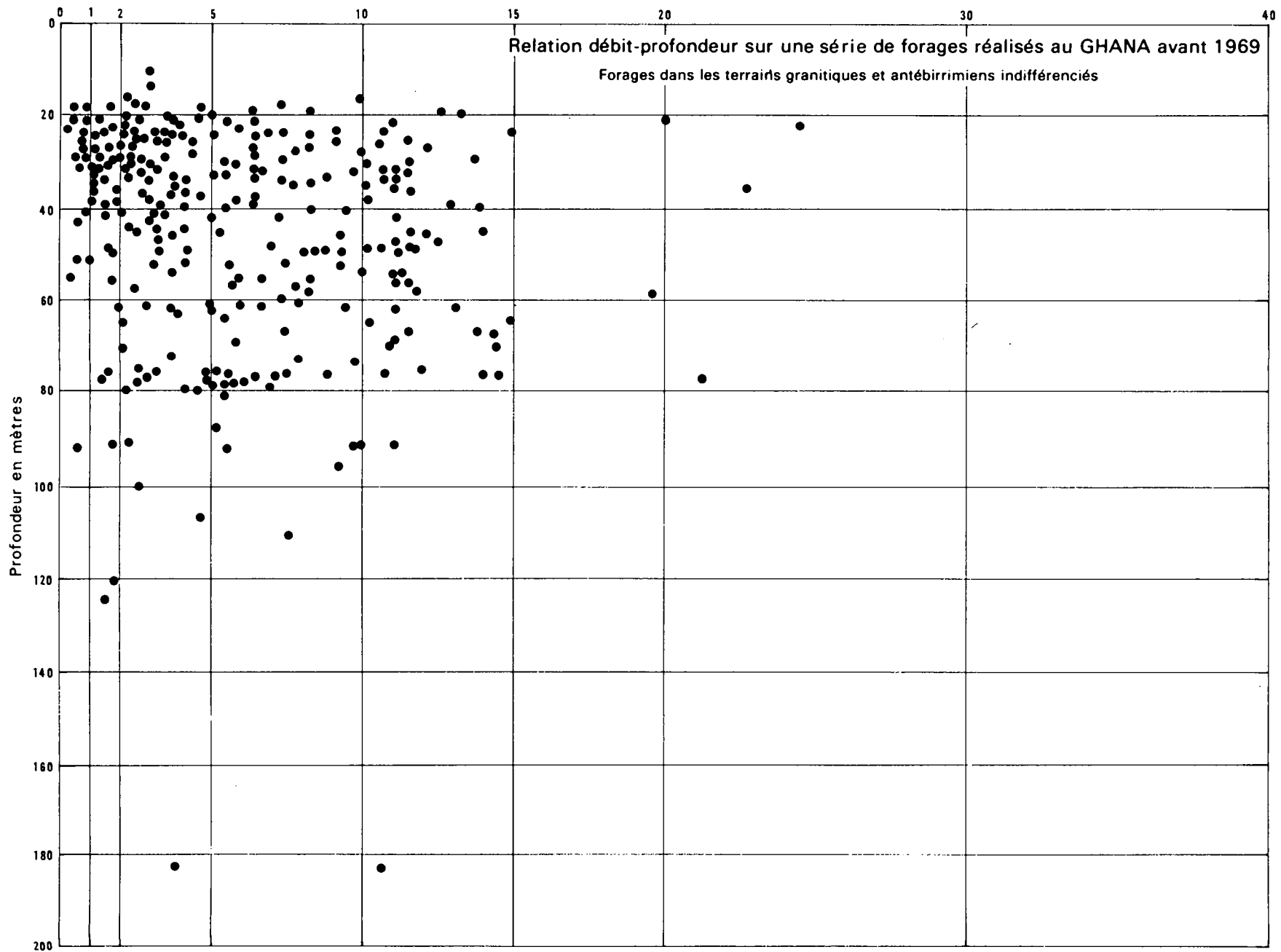


Figure 1G

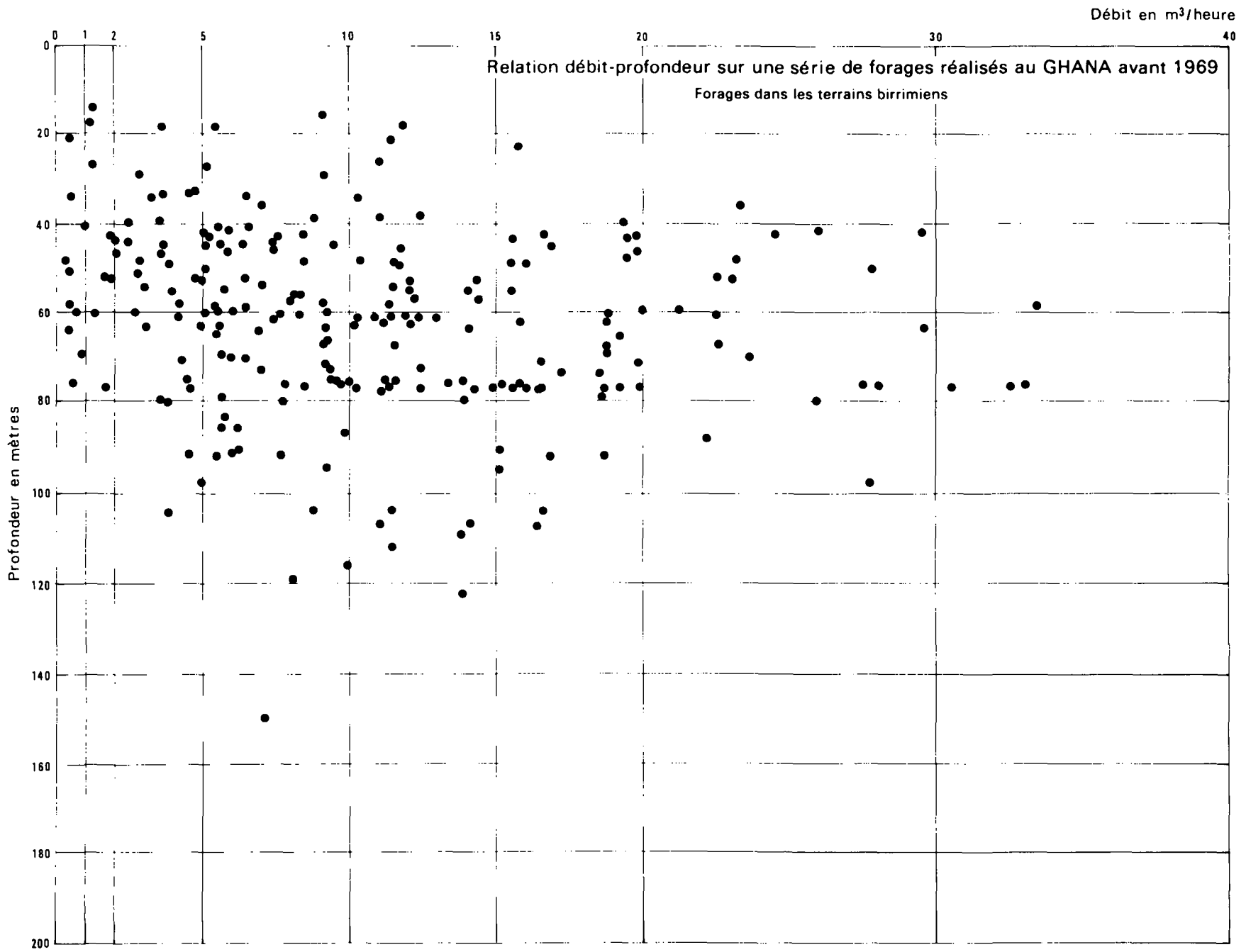


Figure 26

Débit en m³/heure

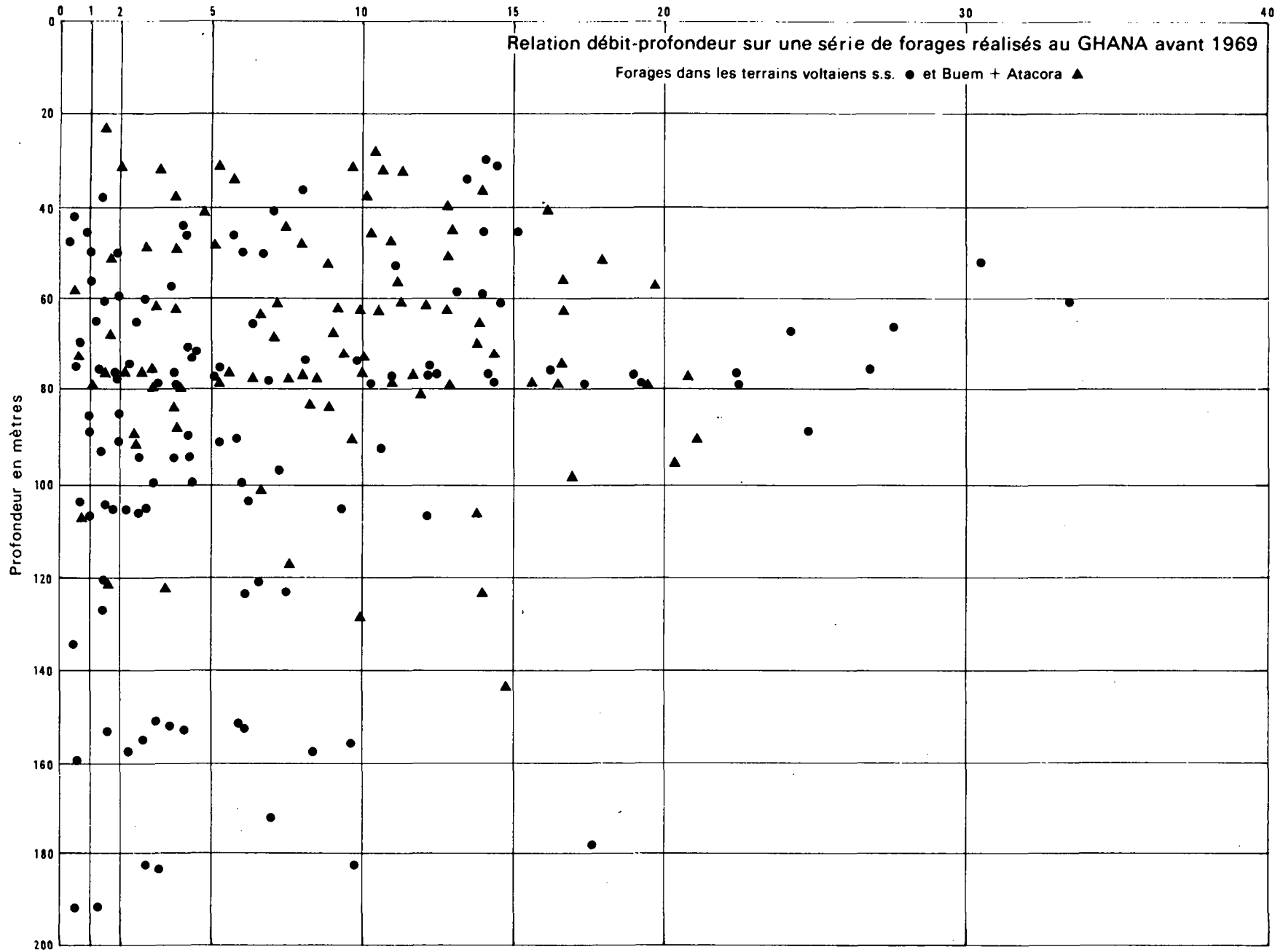


Figure 3C

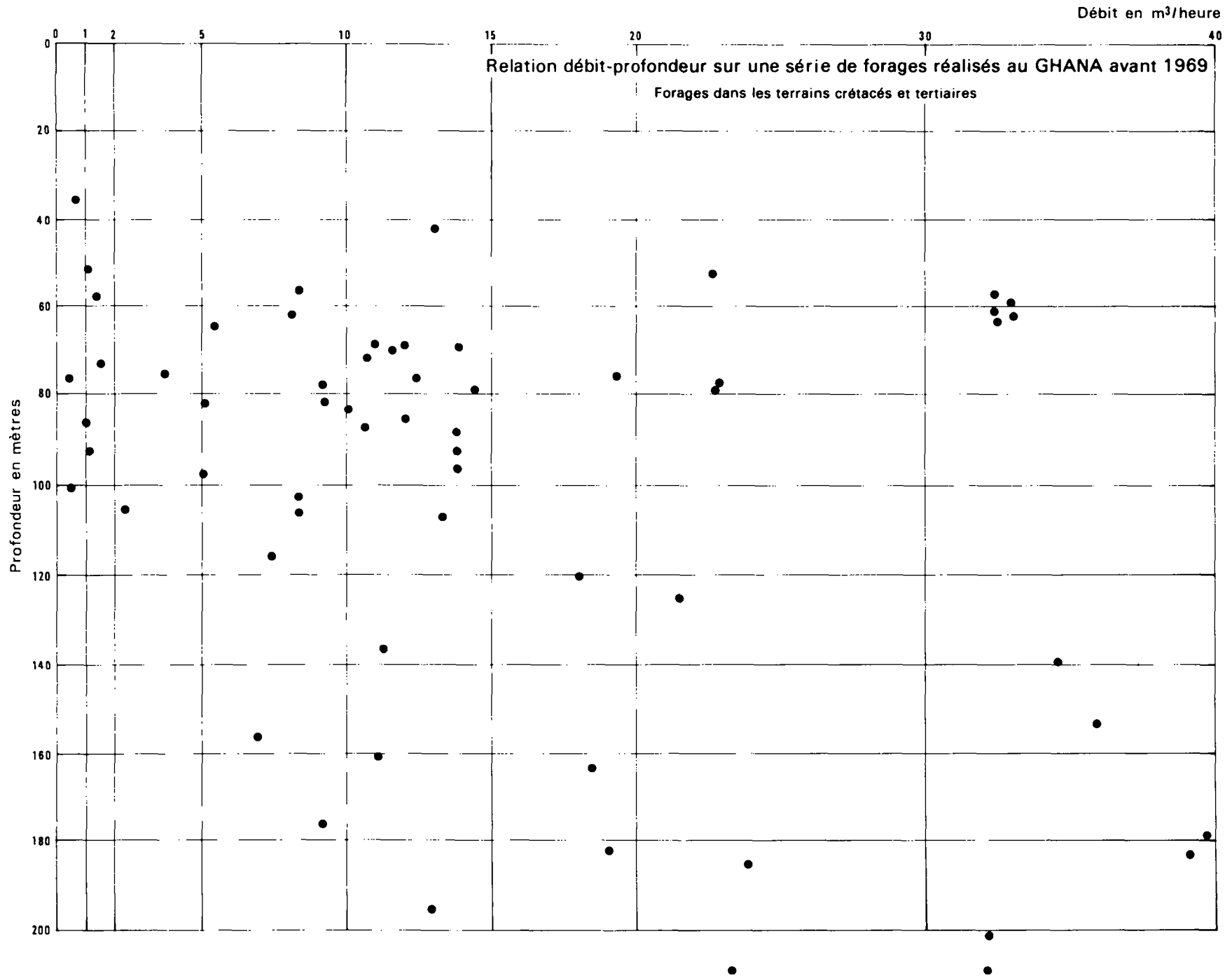


Figure 4G

stable, les débits les plus élevés appartiennent à ce dernier de même que les plus grandes profondeurs, qui ne sont jamais liées à de forts débits.

La figure 5G montre quelles sont les chances d'obtenir un bon débit selon les formations. Le "risque" d'avoir moins de $0,27 \text{ m}^3/\text{h}$ de 20 à 25 % pour trois formations sur quatre, tombe au dessous de 10 % pour le Birrimien. Pour les autres tranches :

- la probabilité de 17 à 21 % est donc pratiquement identique dans les granites,
- pour le bassin voltaïen, il y a 28,5 % de probabilité de rester dans les deux plus faibles et 47 % d'atteindre les deux plus fortes,
- pour le Birrimien les pourcentages ci-dessus passent à 18 et 73 %.

Il serait souhaitable de mieux connaître les données de base, les conditions dans lesquelles les débits retenus ont été déterminés, la durée du pompage, la nature de l'équipement du forage etc.. L'idéal serait de comparer les débits spécifiques obtenus sur des puits préalablement bien développés, après une durée identique de pompage à 3 ou 4 débits stables.

Ces statistiques concernent des forages réalisés avant 1969 et des programmes de plusieurs milliers de forages sont en cours de préparation ou d'exécution.

Au Nord du pays, dans la Upper region, 2 500 forages seront réalisés avant 1980 par Ghana Water and Sewerage Corporation travaillant de concert avec des équipes canadiennes (ACDE).

Au cours de la première phase de juin 1974 à février 1977, 1 400 forages accompagnés de 550 sondages de reconnaissance ont été réalisés en zone rurale ; en zones urbaines, après reconnaissance par 335 sondages, 60 forages d'exploitation à équiper d'une pompe mécanique ont été réalisés (B.71).

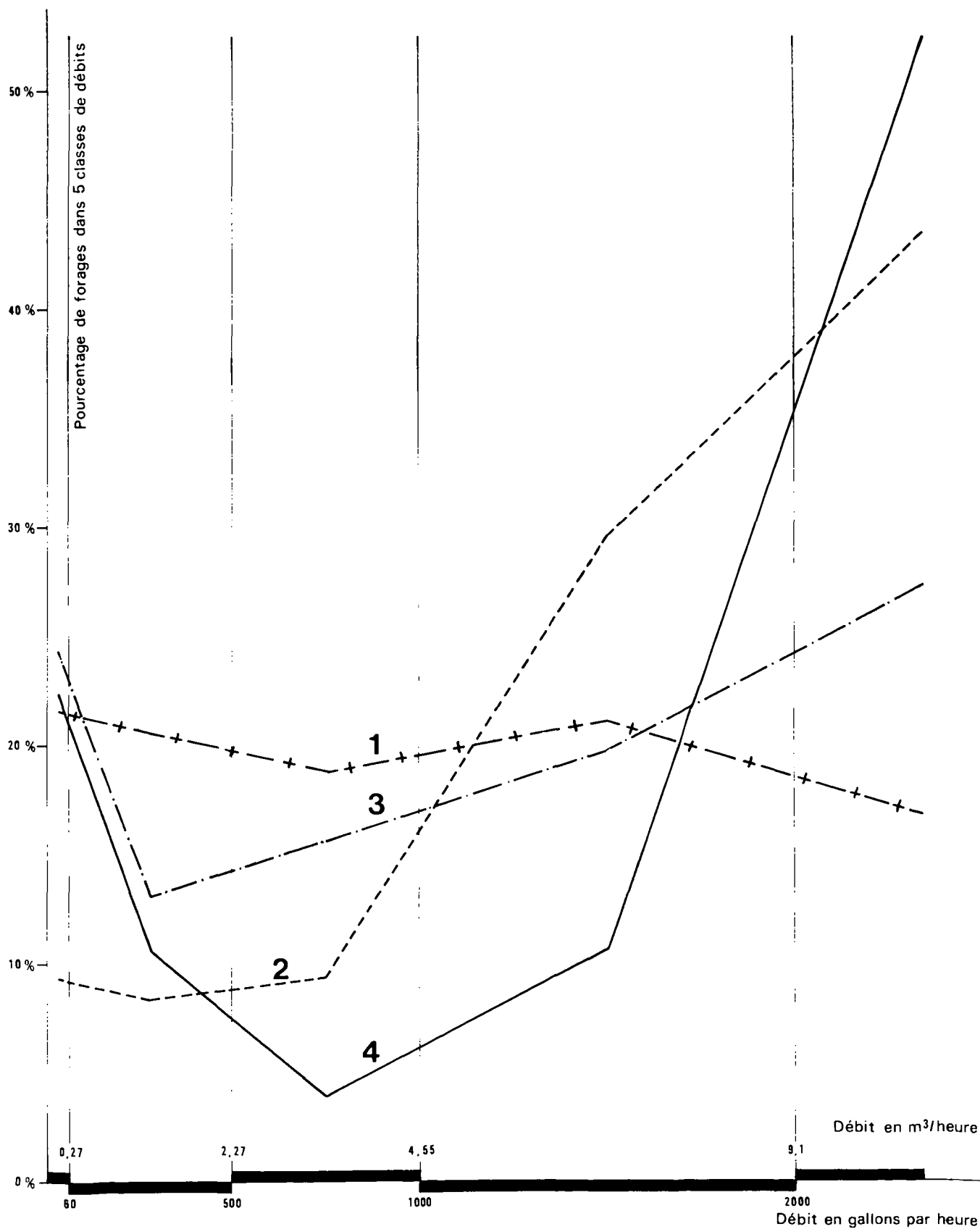
En zone rurale, il est admis que le forage est positif s'il est exploitable avec une pompe manuelle qui débite $0,5$ à $2 \text{ m}^3/\text{h}$, mais il n'est pas rare d'obtenir 5 à $10 \text{ m}^3/\text{h}$, parfois 20 , le record s'élevant à une cinquantaine de m^3/h pour un forage captant l'eau d'arènes granitiques près de Puisiga. Le pourcentage de succès varie entre 90 et 95 % dans les granites, 80 à 90 % dans les grano-diorites, 50 à 60 % dans les gneiss, schistes, phyllites et ardoises, 70 à 75 % dans les roches volcaniques métamorphisées.

Dans les zones urbaines les forages positifs doivent fournir au moins $5 \text{ m}^3/\text{h}$ et les débits maximaux ne semblent pas dépasser 15 à $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Seule Bolgatanga, le chef-lieu de la région, fait appel à l'eau de rivière pour son alimentation, les autres agglomérations utilisant l'eau souterraine des aquifères discontinus.

Résultats statistiques sur 1197 forages réalisés au GHANA avant 1969

Pourcentage de forages dans cinq classes de débit

- 1 - en terrains granitiques et antébirrimiens indifférenciés : 433 forages
- 2 - en terrains birrimiens : 287 forages
- 3 - en terrains voltaïens s. l. : 374 forages
- 4 - en terrains crétacés et tertiaires : 103 forages



Signalons encore que dans la Upper region les transmissivités des terrains aquifères atteindraient les valeurs maximales de $7.10^{-4}m^2/s$, tandis qu'à 16 km de Bolgatanga, la transmissivité des alluvions de la Volta blanche seraient de 3 à $5.10^{-3}m^2/s$.

2.1.2. - Ressources renouvelables :

Pour les aquifères discontinus elles sont indiquées ci-dessous, selon les surfaces concernées :

INFILTRATION ANNUELLE MOYENNE	RESSOURCES RENOUVELABLES
< 50 mm	$0,025 \text{ m} \times 15\ 000 \times 10^6 m^2 = 375 \text{ Mm}^3$
50 à 100 mm	$0,075 \text{ m} \times 81\ 400 \times 10^6 m^2 = 6\ 105 \text{ Mm}^3$
100 à 150 mm	$0,125 \text{ m} \times 100\ 000 \times 10^6 m^2 = 12\ 500 \text{ Mm}^3$
150 à 200 mm	$0,175 \text{ m} \times 33\ 000 \times 10^6 m^2 = 5\ 775 \text{ Mm}^3$
200 à 300 mm	$0,250 \text{ m} \times 4\ 800 \times 10^6 m^2 = 1\ 200 \text{ Mm}^3$
300 à 400 mm	$0,350 \text{ m} \times 800 \times 10^6 m^2 = 280 \text{ Mm}^3$
TOTAL	26 235 Mm³

Le total arrondi à 26 km^3 correspond à un débit moyen de $825 \text{ m}^3/s$, ou encore à une lame d'eau équivalente de 112 mm sur les $235\ 000 \text{ km}^2$ intéressés (surface des plans d'eau non déduite).

Comparativement le débit extrait des forages en aquifères discontinus du Ghana était, en 1963, estimé à $38\ 540 \text{ m}^3/\text{jour} = 0,45 \text{ m}^3/s$ (B 64).

2.2. - Les bassins côtiers - Aquifères généralisés du bassin du Sud-Ouest :

D'après H.E. Gill (B 64), en 1964, 31 forages réussis sur 34 réalisés dans le Continental terminal donnaient en moyenne $12,73 \text{ m}^3/h$; les deux meilleurs débits s'élevaient à 27,3 et $36,4 \text{ m}^3/h$ et l'auteur signalait qu'il devait être possible d'obtenir de plus forts débits à partir de forages correctement exécutés et développés.

L'eau analysée sur 15 forages, selon le même auteur, révélait une faible minéralisation, soit 10 à 25 mg/l de chlorures, tandis que cette teneur augmentait sur les forages proches de la mer.

Les ressources renouvelables y sont relativement élevées ; par suite de l'importance des précipitations, plus de 400 mm (50 % de la pluie efficace) atteindraient la nappe du Continental terminal en moyenne interannuelle, soit :

$$0,425 \text{ m} \times 560 \text{ km}^2 = 238 \text{ millions de m}^3.$$

Les réserves exploitables calculées sur 500 km², en supposant un rabattement admissible moyen de 5 m et un coefficient d'emmagasinement de 10 % s'élevaient :

$$0,500 \text{ m} \times 500 \text{ km}^2 = 250 \text{ millions de m}^3.$$

Le Bassin de Keta :

Les trois aquifères contenus dans le Continental terminal, le Paléocène et Crétacé supérieur sont exploités. Le débit moyen étant plus élevé sur les forages côtiers intéressants le Paléocène: 21,6 m³/h avec des extrêmes de 5 à 55 m³/h.

Sur une bonne partie de cette région le sol est à quelques mètres au dessus du niveau de la mer ; la surface piézométrique est donc elle-même faiblement positive et la prudence s'impose à l'exploitant qui veut éviter l'invasion des nappes par le sel.

Les ressources renouvelables y sont proches de 50 mm en moyenne interannuelle, soit :

$$0,050 \text{ m} \times 1\,000 \text{ km}^2 = 50 \text{ millions de m}^3.$$

D'après les données de la feuille 2, les réserves exploitables seraient :

- pour le Continental terminal	: 0,15 Mm ³ x 47 km ²	= 7 Mm ³
- pour le Paléocène	: 0,60 Mm ³ x 8 km ²	= 5 Mm ³
	et : 0,20 Mm ³ x 590 km ²	= 118 Mm ³
- pour le Crétacé supérieur	: 0,10 Mm ³ x 30 km ²	= 3 Mm ³
		<hr/>
	Total	= 133 Mm ³

Par addition des chiffres obtenus sur les aquifères exploitables des deux bassins on trouve :

- Ressources renouvelables des aquifères généralisés :

$$288 \text{ Mm}^3 \text{ équivalents à } 9,14 \text{ m}^3/\text{s},$$

- Ressources exploitables des aquifères généralisés : 383 Mm³.

En 1963 le prélèvement annuel était estimé à 11 656 m³/ jour = 0,135 m³/s sur l'ensemble des forages exploités dans les deux bassins (B 64).

Il apparaît donc que les prélèvements peuvent être augmentés dans le Sud-Ouest surtout où la recharge est importante, à partir de forages bien implantés et bien exécutés pour produire les débits nécessaires avec de faibles rabattements, de façon à éviter l'avancée des eaux salées.

3 - OUVRAGES DE REFERENCE :

3.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Les puits et forages de reconnaissance ou d'exploitation sont répertoriés avec leurs caractéristiques sous forme de tableaux récapitulatifs (tableaux 4) et positionnés sur la feuille 2. Ont été sélectionnés :

- 59 forages à débit spécifique $Q_s \geq 1 \text{ m}^3/\text{h/m}$ de rabattement,
- 6 forages pour lesquels $Q_s \geq 5 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

3.2. - LES BASSINS COTIERS :

Parmi les ouvrages existants, ceux dont les caractéristiques disponibles étaient relativement complètes ont été regroupés en tableaux récapitulatifs (tableaux 5) et positionnés sur les cartes 1,2 et 2.1 de la feuille 3.

Au total 45 forages ont été sélectionnés pour le Ghana.

Numéro de Classement	Désignation	Coordonnées		Profondeur (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabatement (m)	Terrain aquifère	
		latitude N.	longitude O.						
G 1	Nandom	NL 33	10° 51' 10"	2° 46' 00"	54,90	9,15	10,91	3,05	phyllites du Birrimien
G 2	Nandom	NL 34	10° 51' 10"	2° 46' 00"	54,90	4,57	11,36	6,40	phyllites du Birrimien
G 3	Hapa	NL 39	10° 59' 00"	2° 42' 10"	42,70	7,01	15,27	3,35	schistes et grauwackes B
G 4	Burufu	NL 26	10° 32' 10"	2° 52' 40"	61,00	0,91	8,18	8,23	schistes birrimiens
G 5	Dasima	NT 13	10° 37' 10"	2° 15' 00"	27,75	3,05	10,91	8,23	granite
G 6	Djarwia	NT 27	10° 55' 20"	2° 08' 20"	27,75	6,40	8,18	2,75	granite
G 7	Kapulima	NT 29	10° 58' 00"	2° 04' 50"	19,21	5,80	6,36	6,10	granite
G 9	Tumu R.H.	NT 1	10° 52' 55"	1° 59' 15"	39,65	3,96	13,64	4,88	granite
G 10	Tumu M.S.	NT 3	10° 52' 55"	1° 59' 15"	25,01	3,35	10,91	3,05	granite
G 11	Tumu P.O.	NT 11	10° 52' 55"	1° 59' 15"	30,50	2,44	13,64	6,10	granite
G 12	Lilixia	NT 31	10° 47' 00"	2° 06' 00"	26,53	1,52	3,18	0,10 ?	granite
G 13	Sekai	NT 33	10° 43' 50"	2° 02' 00"	32,94	1,52	5,45	4,57	granite
G 14	Sandema	NN 5	10° 44' 50"	1° 17' 45"	38,73	2,75	3,18	2,44	granite
G 15	Sandema	NN 10	10° 44' 50"	1° 17' 45"	27,45	12,81	10,91	5,49	granite
G 16	Paga	N 106	10° 59' 00"	1° 06' 10"	21,35	3,66	12,73	9,15	granite
G 17	Natumgo	NN 35	10° 57' 25"	0° 57' 00"	26,23	3,05	9,09	4,57	granite
G 18	Doba	N 105	10° 53' 00"	1° 02' 20"	35,07	0,30	22,18	22,26	granite
G 19	Doba	NN 8	10° 53' 00"	1° 02' 20"	23,79	4,57	14,55	3,96	granite
G 20	Sherigu	NZ 27	10° 55' 10"	0° 56' 10"	20,74	9,45	11,36	10,06	
G 21	Zantigui	N 80	9° 09' 50"	2° 40' 40"	31,11	5,49	16,37	14,33	granite et gneiss
G 22	Bale	N 77	9° 07' 30"	2° 36' 30"	16,77	3,66	9,86	8,23	granite et gneiss
G 23	Sakpa	N 82	8° 53' 00"	2° 20' 50"	45,75	11,90	16,37	6,40	phyllites birrimiens
G 24	Singa	N 50	9° 46' 30"	1° 03' 10"	61,00	7,62	34,46	13,72	grès argileux voltaiens
G 25	Berekum	BA 7	7° 27' 20"	2° 35' 00"	97,60	4,57	29,10	18,00	phyllites birrimiens
G 26	Berekum	BA 8	7° 27' 20"	2° 35' 00"	88,45	13,72	22,18	0,50 ?	phyllites birrimiens
G 27	Dormaa-Ahenkro	A 24	7° 17' 00"	2° 53' 00"	49,71	3,05	24,09	12,20	phyllites birrimiens
G 28	Wenchi	A 17	7° 45' 00"	2° 06' 00"	39,95	18,30	27,28	5,49	grès voltaiens
G 29	Wenchi	BA 23	7° 44' 20"	2° 06' 45"	67,10	0,00	27,28	15,25	grès voltaiens
G 30	Kumasi	A 1	6° 42' 45"	1° 38' 00"	42,70	9,15	1,91	0,91	schistes birrimiens
G 31	Efiduasi	AC 11	6° 50' 45"	1° 24' 15"	60,10	1,52	19,27	10,67	granite altéré
G 32	Sekodumase	A 53	6° 59' 45"	0° 52' 10"	91,50	10,67	27,28	25,92	schistes et grès voltaiens
G 33	Yakasi	W 85	5° 49' 30"	2° 52' 20"	76,25	2,75	16,64	5,80	phyllites birrimiens
G 34	Enchi	W 77	5° 49' 30"	2° 49' 25"	76,25	2,75	18,41	3,35	phyllites birrimiens
G 35	Enchi	W 78	5° 49' 30"	2° 49' 25"	76,25	1,83	19,68	2,44	phyllites birrimiens
G 36	Enchi	W 87	5° 49' 30"	2° 49' 25"	76,25	2,44	13,46	4,27	phyllites birrimiens
G 37	Ajum	W 35	5° 42' 00"	2° 39' 30"	73,20	10,67	9,09	9,15	phyllites birrimiens
G 38	Asankwangwa	W 10	5° 49' 00"	2° 26' 10"	76,25	6,71	31,82	22,57	phyllites birrimiens
G 39	Asankwangwa	W 9	5° 49' 00"	2° 26' 10"	76,25	2,44	13,64	8,23	phyllites birrimiens
G 40	Akropong	W 90	5° 47' 15"	2° 05' 10"	41,17	1,52	25,50	16,77	phyllites, schistes birrimiens
G 41	Bawdia	W 98	5° 38' 00"	2° 06' 00"	47,27	2,13	11,86	4,88	phyllites, schistes birrimiens
G 42	Bogoso	W 99	5° 34' 10"	2° 01' 45"	43,61	0,91	19,30	18,91	phyllites, schistes birrimiens
G 43	Diaso	C 6	6° 09' 25"	2° 09' 20"	65,88	14,03	22,18	10,37	granite birrimien
G 44	Agona	C 5	6° 09' 00"	2° 08' 00"	76,25	15,25	14,10	13,72	phyllites birrimiens
G 45	Dunkwa	W 11	5° 58' 30"	1° 47' 45"	76,25	1,52	27,28	12,20	phyllites birrimiens
G 46	Dunkwa	W 15	5° 58' 30"	1° 47' 45"	54,90	7,93	8,18	2,75	phyllites birrimiens
G 47	Dunkwa	W 18	5° 58' 30"	1° 47' 45"	47,27	0,00	36,37	9,15	phyllites birrimiens
G 48	Komenda	W 8	5° 03' 30"	1° 30' 00"	76,25	16,47	5,45	3,05	grès et schistes sekundiers

Numéro de Classement	Désignation	Coordonnées		Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Rabattement (m)	Terrain aquifère
		latitude N.	longitude O.					
G 49	Swedru W 22	5° 33' 00"	0° 41' 30"	99,12	0,30	2,73	1,22	granite
G 50	Abetifi E 3	6° 40' 30"	0° 45' 00"	44,22	3,96	13,64	13,72	grès voltaïens
G 51	Abetifi E 6	6° 40' 30"	0° 45' 00"	50,32	9,76	31,09	7,01	grès voltaïens
G 52	Mpraeso E 1	6° 35' 30"	0° 44' 30"	31,72	7,01	13,64	11,90	grès voltaïens
G 53	Ntronang E 44	6° 23' 00"	1° 06' 45"	61,00	8,23	10,91	8,85	quartzites, phyllites tarkwaiens
G 54	Aboabo E 35	5° 57' 30"	0° 56' 30"	76,25	9,45	14,55	11,60	phyllites, schistes birrimiens
G 55	Oda E 23	5° 56' 50"	0° 58' 45"	76,25	18,30	25,00	9,45	phyllites, schistes birrimiens
G 56	Adim Swedru E 28	5° 54' 15"	1° 01' 30"	38,73	0,61	12,27	9,76	phyllites, schistes birrimiens
G 57 [●]	Asene E 27	5° 57' 00"	0° 55' 45"	61,00	7,01	21,82	0,50 ?	phyllites, schistes birrimiens
G 58	Saduasi AP 9	5° 51' 00"	0° 07' 00"	75,03	14,95	4,54	2,75	gneiss et quartzite
G 59	Dodowa AP 1	5° 53' 00"	0° 06' 45"	79,00	5,49	11,36	3,66	gneiss et quartzite

● B = Birrimien

● Débit spécifique égal ou supérieur à 5m³/h par mètre de rabattement

Numéro de Classement	DESIGNATION de l'OUVRAGE		Aquifère	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Crepine		Débit (m ³ /h)	Rabotement (m)	Débit spécifique m ³ /h/m	Hauteur eau;H (m)	Rabotement admissible (m)	Productivité	Chlorures en (mg/l)
						longueur	diamètre							
G 201	Half Assini	W 3	CT	43,93	2,44	-	m.	12,64	0,50 ?	25,00 ?	41,5	13,8	Ax	-
G 202	Half Assini	W 71	CT	59,47	2,44	3	8	22,20	6,71	3,30	57,0	19,0	Ax	-
G 203	Half Assini	W 49	CT	79,30	1,83	-	-	14,54	0,91	15,90	77,4	25,8	Ax	-
G 204	Techinta	W 2	CT	79,30	37,51	-	-	9,00	2,13	4,20	> 42,0	> 14,0	(B)	-
G 205	Ndumswaso	W 53	CT	80,82	46,66	-	-	9,00	0,30	30,00	> 34,0	> 11,0	Bx	-
G 206	Bonyeri	W 5	CT	58,56	3,97	-	-	36,40	1,00 ?	36,00 ?	54,6	14,5	Ax	-
G 207	Alenda	W 48	CT	79,30	55,20	-	-	6,82	0,30	22,36	24,0	8,0	Bx	-
G 208	Tikwabo I	W 72	CT	70,15	12,50	-	-	10,86	30,80	0,35	57,0	19,0	A	-
G 209	Beyin	W 63	CT	70,15	3,66	-	-	11,86	7,32	1,62	66,0	22,0	A	110
G 210	Atuabo	W 66	CT	77,16	3,66	-	-	19,28	17,69	1,09	73,0	14,3	A	-
G 211	Eikwe	W 60	CT	50,63	4,88	-	-	23,82	3,66	6,50	45,0	15,0	Ax	-
G 212	Aiyinasi	W 57	CT	61,00	3,96	-	-	15,60	52,15	0,30	45,0	15,0	A	-
G 213	Ngaliachi	W 79	CT	63,13	6,40	-	-	29,00	14,95	1,94	57,0	19,0	A	-
G 214	Esiama	W 6	CT	49,71	21,35	-	-	27,30	1,00 ?	27,00	28,0	9,0	Ax	-
G 215	Kikam	W 7	CT	47,30	20,40	-	-	19,00	0,30	63,00	27,0	9,0	Ax	-

Les données rassemblées dans ce tableau sont explicitées en notice, paragraphe 2-5-4

GHANA			POINTS D'EAU DES AQUIFERES GENERALISES : Bassin sédimentaire côtier du S.-E. VOLTA region									Tableau 5b		
Numéro de Classement	DESIGNATION de l'OUVRAGE		Aquifère	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Crépine longueur diamètre		Débit (m ³ /h)	Robattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Hauteur eau (m)	Robattement admissible (m)	Productivité	Chlorures en (mg/l)
G 217	Dzodze	K 61	Ç	96,68	29,89	-	-	5,45	8,54	0,64	40	13	A	-
G 218	Dzodze	K 5	C	45,14	32,33	-	-	7,27	?	-	-	-	-	31
G 219	Kuli	TK 1	C	81,13	28,36	-	-	4,73	38,70	0,12	52	17	A	45
G 220	Keta	TK 1B	C	145,80	2,74	-	-	4,55	1,83	2,48	-	-	A	140
G 221	Anloga	K 39	C	601,00	?	-	-	?	-	-	eau salée		-	-
G 222	Anyanui	K 22	C	250,01	?	-	-	?	-	-	C1= 10 g/l		-	-
G 223	Abor	K 35	P	86,31	24,40	-	-	10,73	8,84	1,21	62	20	A	130
G 224	Achime	K 40	P	77,47	8,54	-	-	22,91	1,22	18,90	69	21	B*	16
G 225	Nogopo	K 35	P	208,31	5,18	-	-	31,82	2,13	14,90	-	(10)	(C)	140
G 226	Avenofeme	K 33	P	95,16	11,59	-	-	13,64	11,28	1,21	-	(10)	A	205
G 227	Tsiame	K 34	P	126,27	5,49	-	-	21,37	18,91	1,13	-	(10)	A	-
G 228	Atiavi	K 32A	P	236,37	3,05	-	-	11,36	6,10	1,86	-	(5)	A	190
G 229	Anyako	K 55	P	176,60	0,91	-	-	40,46	3,35	12,07	-	(5)	A	190
G 230	Abolave	K 31	P	153,11	4,57	-	-	35,82	5,50	6,52	-	(5)	A	152
G 231	Weta	K 30	P	121,39	15,86	-	-	17,91	7,01	2,55	-	(20)	A	-
G 232	Adrume	TK 12	P	71,67	16,16	-	-	13,64	8,54	1,60	55	18	A	148
G 233	Kliko	K 44	P	184,52	7,93	-	-	23,64	6,40	3,69	150	(30)	(B)	120
G 234	Kpoglo	K 46	P	89,06	25,62	-	-	15,00	3,05	4,92	63	21	B	120
G 235	Hatsukope	K 29	P	208,92	15,86	-	-	23,18	2,44	9,50	-	(15)	B*	121
G 236	Aflao	K 41	P	289,75	1,22	-	-	18,18	33,85	0,54	-	(10)	A	200
G 237	Denu	K 49	P	265,00	?	-	-	15,36	-	-	eau salée		-	-
G 238	Agbosome	K 43	P	201,30	3,66	-	-	31,82	2,44	13,04	-	(20)	B*	-
G 239	Afiadenyba	K 52	P	226,92	0,31	-	-	27,28	5,18	5,26	-	(10)	A	-
G 240	Blekusu	K 28	P	165,90	0,91	-	-	18,18	21,35	0,85	-	(5)	A	600
G 241	Vodza	K 26	P	159,82	0,61	-	-	18,64	17,69	1,05	-	(5)	A	300
G 242	Kuchinu	TK 7	CT	52,76	35,07	-	-	13,64	10,67	1,28	39	13	A	150
G 243	Wuti	TK 13	CT	74,42	25,92	-	-	12,27	7,62	1,61	48	16	A	40
G 244	Wuti	TK 12	CT	83,57	25,62	-	-	10,00	3,66	2,73	54	18	A	-
G 245	Deme	TK 16	CT	92,11	18,30	-	-	13,64	?	-	-	-	(A)	63

Les données rassemblées dans ce tableau sont explicitées en notice, paragraphe 2-5-4

BIBLIOGRAPHIE - GHANA

- (61) Akpati Benjamin N. (1975) - Géological structure and evolution of Keta basin. Report N° 75/3 Ghana geological Survey Department Accra.
- (62) Annan-Vorke R. (1971) - Géology of the voltaian basin. Summary of current ideas. Special bulletin for oil exploration. Geological Survey département - Accra.
- (63) Bannerman R.R., Atobrah K., Nerquaye-Tetteh. B.H. (1972) - Introduction à une carte des eaux souterraines du Ghana. Bull. liaison CIEH n° 12 - février 1973.
- (64) Gill H.E. (1969) - A ground-water reconnaissance of the Republic of Ghana, with a description of geohydrologic provinces. Geological Survey water-supply paper 1757-K - United States government printing office - Washington.
- (65) Harza-Nathan and GWSC (1969) - The occurrence of groundwater (in Ghana) Arch. GWSC - Accra.
- (66) Junner N.R. (1940) - Geology of the Gold Coast and western Togoland. Gold Coast geological Survey - Bull. 12.
- (67) Khan M.H., (1970) - Cretaceous and Tertiary rocks of the Ghana, with a historical account of oil exploration. Ghana geological Survey, Bull. n° 40.
- (68) Mallari B.M. (1969) - Preliminary study of geology and groundwater exploration ; exemples of application in west Africa. Inter-African Comittee for hydrologic studies - June 1966.
- (69) Sonnendrucker P. (1967) - Synthèse or Côte d'Ivoire - L'or au Ghana. Etude géologique et économique. Comparaison avec la Côte d'Ivoire. Rapp. SODEMI n° 193.
- (70) - X - (1973) - Les problèmes de la mise en valeur des ressources en eaux souterraines du bassin sédimentaire des Volta. Bull. de liaison CIEH n° 15.
- (71) Wardrop and Associates Ltd (1977) - Ghana upper region (CIDA) Water supply Project. Phase 1. Hydrogeological report based on 1460 well supplies. July 1977. Prepared by WL Wardrop and Associates Ltd for Ghana Water and Sewerage Corporation (GWSC).

TOGO

NOTICE EXPLICATIVE DU TOGO

Les deux millions d'habitants sont établis très inégalement sur les 56 600 km² du pays :

- 1/3 vit sur les 3 450 km² du bassin sédimentaire côtier, où se situent les aquifères généralisés productifs,
- les deux autres tiers vivent sur les 94 % restants du territoire, où les aquifères sont discontinus dans les 27 150 km² de terrains cristallins anciens et les 26 000 km² de Voltaïen (s.l.).

1 - CARACTERES GENERAUX DES AQUIFERES :

1.1. - LE SOCLE PRECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Les *terrains cristallins anciens* sont anté-birrimiens. Ils comprennent une grande variété de roches grenues et métamorphiques : des granites et granodiorites, des amphibolites, pyroxénites et gabbros, des quartzites, des micaschistes, des migmatites, des gneiss, etc...

Le *bassin voltaïen "stable"* (cf Ghana § 1.1.1.) infracambrien à ordovicien, qui est largement développé au Ghana, se prolonge ici par ses deux termes inférieur et moyen : les Grès de base, appelés localement Grès de Dapango, et les Schistes de l'Oti.

Les *formations schisto-gréseuses* isochrones du domaine "mobile", le Buem fortement plissé et l'Atacora plissé et métamorphisé, prennent en écharpe le pays dont ils constituent les reliefs les plus accusés.

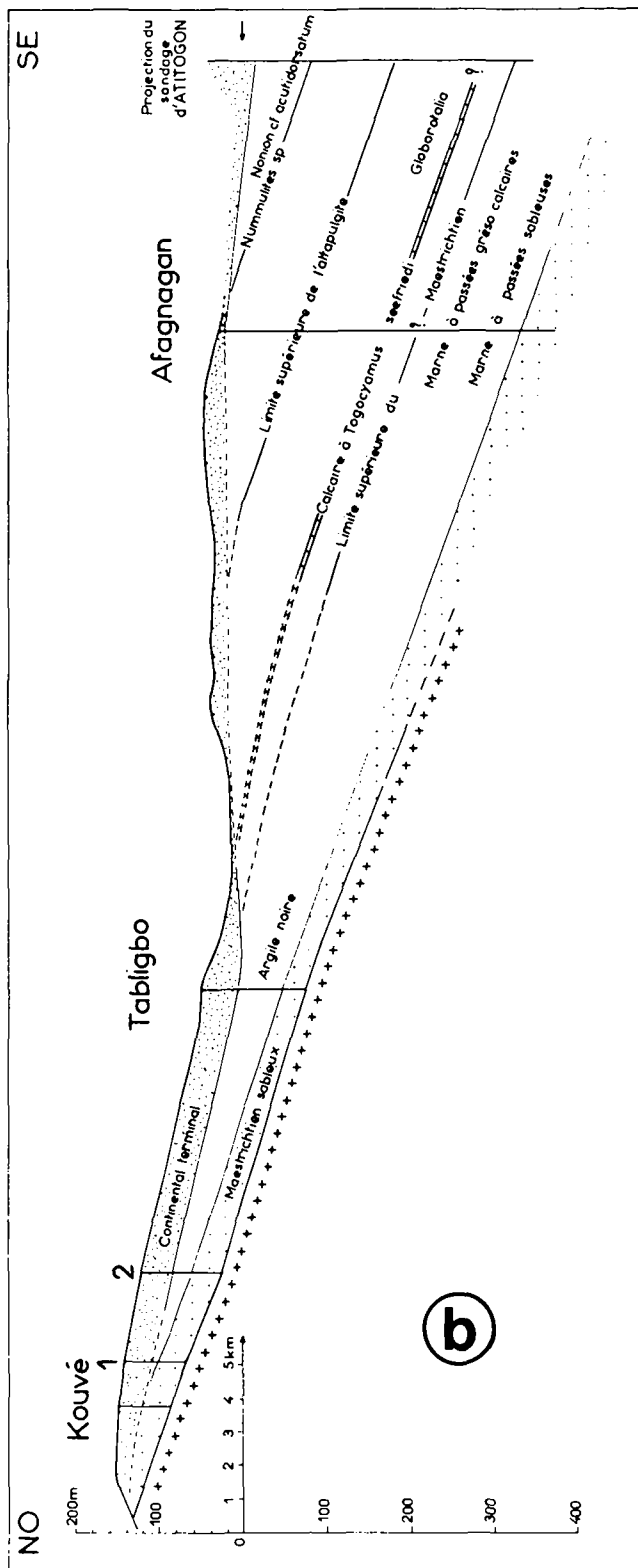
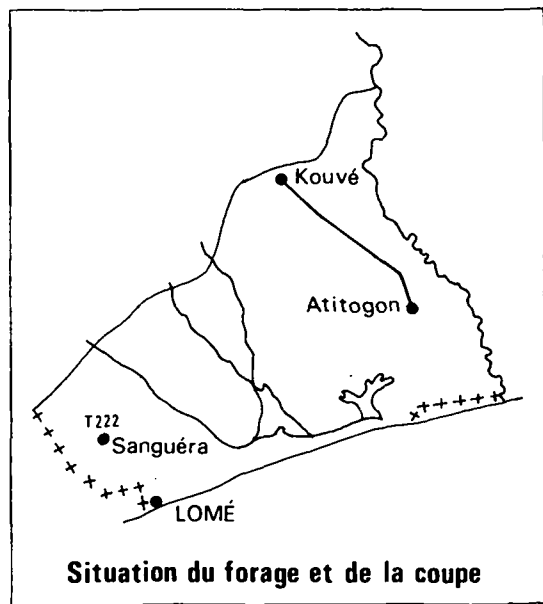
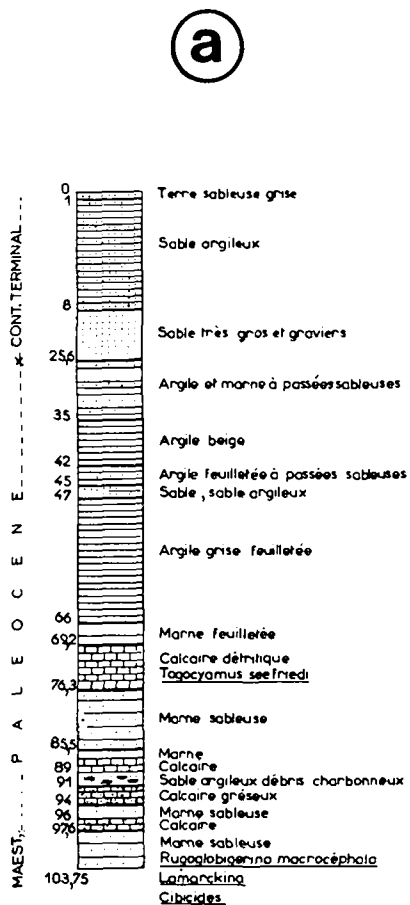
1.2. - LE BASSIN COTIER :

Dans le bassin côtier les séries sont mieux individualisées qu'au Ghana. Si le *Crétacé supérieur* (Maestrichtien) n'affleure pas au Togo, il a été reconnu par de nombreux forages qui captent l'eau emmagasinée dans ses horizons sableux (B 85 et 88).

Le *Paléocène*, avec ses calcaires et marnes sableuses aquifères et l'Eocène, riche en gisements de phosphates, sont visibles sur 350 km².

La couverture, parfois assez mince de sables et argiles rouges du *Continental terminal*, discordante sur les termes précédents, s'étend sur 80 % du bassin.

A titre d'illustration, la figure 1 T présente la succession lithologique à Sanguéra (forage T 222 du tableau 7 ci-après) et la disposition monoclinale des terrains entre Kouvé et Atitogon.



(a) Coupe du forage de SANGUERA : T 222

(b) Coupe structurale KOUVÉ-ATITOGON

d'après M. SLANSKY

Les *sédiments récents* s'étalent sur 220 km² en bordure de la côte ; sur 10 à 20 m , les sables prédominent à la partie supérieure, tandis que sur 20 à 30 m au dessous les argiles sont plus abondantes.

2 - RESSOURCES EN EAU :

2.1. - LE SOCLE PRECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Un inventaire des ressources en eau souterraine intéressant les 3/4 du Togo (B 84) indique, qu'en aquifères discontinus, les puits profonds généralement de moins de 10 m tarissent en saison sèche pendant cinq à six mois de l'année.

Les meilleurs résultats obtenus à partir de deux petites campagnes de forages de reconnaissance sont présentés dans le tableau 6.

La première campagne s'est déroulée dans les années 1965 à 1967 ; sur 17 sondages désignés F1 à F17 le débit est faible sur les numéros 2, 3, 4 et 6 tandis qu'il est proche ou supérieur à 2 m³/heure sur les 13 autres (voir point T1 à T14, sauf T6 du tableau 6).

En 1972 une deuxième série de forages, profonds généralement de 30 à 40 m, ont donné de faibles débits compris entre 0,1 et 1,2 m³/h, sauf pour 4 d'entre eux qui ont été éprouvés à 1,7 - 1,8 - 5 et 17 m³/h (points T 15 à T 18 du tableau 6).

Les transmissivités déterminées à l'occasion des essais seraient de l'ordre de 2 à 3 x 10⁻⁵ m²/s pour les terrains altérés de recouvrement alors qu'elles seraient 10 fois plus élevées dans la roche saine fissurée sous-jacente, soit 1,2 à 2,5 x 10⁻⁴ m²/s.

Les programmes de forages en cours de réalisation permettront ultérieurement d'améliorer ces statistiques sur les possibilités de captage en terrains cristallins et paléozoïques.

Les ressources renouvelables (Rr) des aquifères discontinus du Togo se décomposent ainsi, selon les hauteurs moyennes et les surfaces concernées :

INFILTRATION ANNUELLE MOYENNE	RESSOURCES RENOUVELABLES
< 50 mm	0,025 m x 300 x 10 ⁶ m ² = 7 Mm ³
50 à 100 mm	0,075 m x 28 450 x 10 ⁶ m ² = 2 134 Mm ³
100 à 150 mm	0,125 m x 17 750 x 10 ⁶ m ² = 2 219 Mm ³
150 à 200 mm	0,175 m x 6 750 x 10 ⁶ m ² = 1 181 Mm ³
TOTAL	5 541 Mm ³

Ces 5,5 km³ de renouvellement annuel correspondent à un débit moyen de 176 m³/s sur les 53 200 km² d'aquifères discontinus, ou encore à une lame d'eau équivalente de 104 mm.

2.2. - LE BASSIN CÔTIER :

2.2.1. - Les aquifères :

Les trois aquifères principaux du bassin côtier sont exploités par puits et forages depuis plusieurs dizaines d'années.

De 1964 à 1975 des études et travaux de reconnaissance importants ont été menés à bien avec l'assistance du PNUD.

Plus de 40 forages et une vingtaine de piézomètres ont permis de préciser la géométrie des aquifères, la pression et les caractéristiques chimiques de l'eau, les paramètres hydrauliques et les débits exploitables sur les diverses nappes (B 85).

La *nappe des sables du Crétacé supérieur* a été prospectée sur la moitié septentrionale du bassin. La carte de productivité présentée en feuille 3 indique cette limite des investigations et la légende souligne qu'à l'Ouest du point A 2 les sables disparaissent pour faire place aux argiles. Le sondage le plus profond (T 201), exécuté en Afagnagan, n'a pas touché le socle cristallin à 405 m après avoir recoupé 175 m de sables et argiles du Crétacé supérieur.

La productivité, faible au Nord et à l'Ouest, augmente vers le Sud et vers l'Est, et parallèlement les transmissivités évoluent de 1 à $2 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ à $10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ dans ces mêmes secteurs, tandis que le coefficient d'emmagasinement passerait de 10^{-4} sur T 211 à 2×10^{-2} sur T 209.

Au point de vue chimique l'eau est très douce, avec un résidu sec déduit de la résistivité compris généralement entre 150 et 250 mg/l; les 150 mg/l indiqués sur T 201 paraissent élevés puisque la somme des cations de l'analyse complète atteint seulement 317 mg/l.

La *nappe des calcaires du Paléocène* a été bien reconnue à l'Ouest jusqu'aux environs de Lomé pour sa limite sud ; à l'Est de la rivière Lili, qui se jette dans le lac Togo, les données beaucoup plus hypothétiques extrapolées à partir des informations existantes au Bénin laissent à penser que la productivité serait faible à moyenne.

La productivité est plus élevée à l'Ouest : les transmissivités de l'ordre de $5 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ atteindraient $10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ 12 à 15 km au Nord de Lomé, grâce à la présence de fissures ouvertes dans les calcaires, tandis que la fissuration serait moins développée à l'aplomb de la capitale par suite de l'approfondissement des couches. Le coefficient d'emmagasinement $S = 1,5 \cdot 10^{-4}$ a été déterminé en nappe captive sur un piézomètre proche du forage F 29 (T 219).

La résistivité de l'eau est le plus souvent voisine de 1 000 ohms/cm et la minéralisation de 500 à 700 mg/l est plus forte que celle

de l'eau du Crétacé supérieur, en particulier vers le Sud du pays où la teneur en chlorures s'accroît.

La nappe des sables argileux du Continental terminal est puissante de plusieurs dizaines de mètres au Sud. Elle est plus mince, et parfois difficile à séparer de celle des sables crétacés sous-jacents au Nord du bassin, surtout à l'Ouest ; c'est pourquoi le coût de l'eau donné pour la nappe du Crétacé supérieur dans ce secteur de Tsévié-Tabligbo (carte 4, feuille 3) serait assez voisin de celui du Continental terminal.

Le débit spécifique des forages est relativement élevé au Nord de Lomé et sur le plateau oriental de Vogan - Atitogon, de même qu'au Nord-Est, aux alentours de Tabligbo. Les transmissivités approchent ou même dépassent $10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ dans ces mêmes zones pour "descendre" vers $10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ en bordure nord. Le coefficient d'emmagasinement de cette nappe libre varierait entre 1 et 5 %.

Au point de vue chimique on rencontre des eaux extrêmement douces sur les points hauts et à bonne distance de la côte, avec des résidus secs inférieurs à 100 mg/l ; le plus souvent la minéralisation globale varie entre 100 et 250 mg/l et le pH compris entre 5,4 et 7,15 est fréquemment voisin de 6,3 ; près de la dépression littorale les résidus secs augmentent pour atteindre 1 g/l au niveau de l'isocone tracée sur la carte 2 de la feuille 3.

Sur la nappe des sables littoraux récents, on mentionnera un prélèvement annuel d'environ 2 millions de m^3 , effectué à une dizaine de km à l'Ouest d'Anécho, à partir d'une série de petits ouvrages qui débitent 5 à 15 m^3/h .

2.2.2. - Les ressources renouvelables :

Elles sont estimées globalement à partir des données de la feuille 2 en considérant une infiltration égale à 50 % de la pluie efficace. Les 3 350 km^2 se subdivisent ainsi :

Pf = < 50 mm,	0,025 m x 1 810 x 10^6m^2	= 45 Mm^3
Pf = 50 à 100 mm,	0,075 m x 1 540 x 10^6m^2	= 115 Mm^3
	Total	160 Mm^3

Ces 160 millions de m^3 correspondent à un apport moyen permanent de 5 m^3/s ou à l'équivalent d'une lame d'eau de 48 mm sur les 3 350 km^2 .

2.2.3. - Les réserves exploitables :

- Continental terminal :

- 0,150 Mm^3	x 1 120 (km^2)	= 168 Mm^3
- 0,375 Mm^3	x 50 (km^2)	= 19 Mm^3
	Total	187 Mm^3

- Paléocène :

0,2 Mm ³	x	960 (km ²)	=	192 Mm ³
0,6 Mm ³	x	430 (km ²)	=	258 Mm ³
				<hr/>
		Total		450 Mm ³

- Crétacé supérieur :

0,1 Mm ³	x	596 (km ²)	=	60 Mm ³
0,4 Mm ³	x	280 (km ²)	=	112 Mm ³
0,6 Mm ³	x	300 (km ²)	=	180 Mm ³
0,8 Mm ³	x	13 (km ²)	=	10,5 Mm ³
1,1 Mm ³	x	5 (km ²)	=	5,5 Mm ³
				<hr/>
		Total		368 Mm ³

Les réserves exploitables totales des trois nappes s'élèveraient donc à 1 km³ ; par comparaison; les débits effectivement pompés ont été évalués en 1975 à 7 à 8 Mm³/an et les débits exploitables à une soixantaine de Mm³/an, dont la part la plus importante serait à prélever dans la nappe du Continental terminal (B 85).

3 - OUVRAGES DE REFERENCE :

3.1. - LE SOCLE ANTECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Les puits et forages de reconnaissance ou d'exploitation sont répertoriés avec leurs caractéristiques sous forme de tableaux récapitulatifs (tableaux 6) et positionnés sur la feuille 2. Ont été sélectionnés :

- 18 forages divers dont le débit d'épuisement est proche ou supérieur à 2 m³/h dont 10 à débit \geq 5 m³/h.

3.2. - LE BASSIN COTIER :

Parmi les ouvrages existants, ceux dont les caractéristiques disponibles étaient relativement complètes ont été regroupés en tableaux récapitulatifs (tableaux 7) et positionnés sur les cartes 2 et 2.1. de la feuille 3.

Au total 37 forages ont été sélectionnés pour le Togo.

Numéro de Classement	Désignation	Coordonnées		Altitude du sol (m)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Débit (m ³ /h)	Robattement (m)	Résidu sec (mg/l)	Terrain aquifère	
		latitude N.	longitude E.								
T 1	PNUD/IT ●	F 9	10° 52' 00"	0° 10' 15"	290,82	58,00	4,20	10,80	15,50	304	granodiorite
T 2	PNUD/IT	F 10	10° 53' 35"	0° 09' 40"	284,07	19,50	2,20	3,24	10,80	310	granite
T 3	PNUD/IT	F 11	10° 53' 00"	0° 11' 30"	295,34	33,60	6,00	10,80	13,30	165	syénite
T 4	PNUD/IT	F 7	9° 57' 20"	1° 03' 10"	256,06	45,00	+ 0,70x	7,00	8,50	211	schistes + quartz
T 5	PNUD/IT	F 8	9° 57' 20"	1° 02' 30"	255,63	40,60	+ 0,70x	12,00	15,00	320	schistes + quartz
T 6	CIEH ○	N° 21	10° 53' 00"	0° 12' 00"	-	25,90	-	8,00	-	-	gneiss
T 7	PNUD/IT	F 12	10° 40' 53"	0° 10' 42"	258,83	50,00	1,00	5,00	10,00	800	grès + schistes
T 8	PNUD/IT	F 13	10° 47' 15"	0° 11' 40"	263,73	58,00	7,50	3,60	7,30	121	quartzite
T 9	PNUD/IT	F 14	9° 32' 48"	1° 12' 00"	322,30	70,00	6,40	1,80	3,00	195	orthogneiss
T 10	PNUD/IT	F 15	9° 34' 22"	1° 12' 18"	370,80	46,00	3,86	7,20	4,00	156	orthogneiss
T 11	PNUD/IT	F 1	8° 57' 40"	1° 08' 50"	378,21	45,00	3,00	2,50	21,70	154	micaschistes + quartz
T 12	PNUD/IT	F 5	8° 52' 18"	1° 09' 37"	364,20	40,30	3,00	1,80	6,00	167	micaschistes + quartz
T 13	PNUD/IT	F 17	6° 58' 45"	1° 09' 00"	150,70	52,40	24,00	5,40	13,00	401	migmatite
T 14	PNUD/IT	F 16	6° 57' 30"	1° 10' 30"	139,00	70,00	8,95	3,60	21,20	710	migmatite
T 15	511 Attaloté ■	F 54	9° 57' 17"	0° 42' 37"	-	35,85	11,00	17,00	15,88	-	schistes fissurés
T 16	511 Attaloté	F 55	9° 58' 21"	0° 46' 16"	-	40,00	19,08	1,70	11,40	-	schistes fissurés
T 17	511 Binah	F 56	9° 48' 29"	1° 17' 53"	-	31,00	4,95	1,80	?	-	orthogneiss
T 18	511 Kétao	F 2	9° 40' 46"	1° 21' 21"	-	40,50	1,50	5,00	11,00	-	orthogneiss

● Forage de reconnaissance réalisé par ITALCONSULT dans le cadre du Projet PNUD : Togo 504

x Forage artésien

○ D'après le rapport BRGM - DAK 67 A 14 par R. Biscaldi

■ Forage de reconnaissance réalisé dans le cadre du Projet PNUD : Togo 511

TOGO		POINTS D'EAU DES AQUIFERES GENERALISES											Tableau 7	
Numéro de Classement	DESIGNATION de l'OUVRAGE	AQUIFERE	Altitude (m)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Crépine longueur diamètre	Débit (m ³ /h)	Robottement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Hauteur epu: H (m)	Robottement admissible (m)	Productivité	Résidu sec (mg/l)	
T 201	Afagnagan	C	+ 29,15	405,00	6,33	18,0	18	10,60	1,70	400	94,0	B	1150	
T 202	Ahépé	C	+115,32	109,00	94,50	10,0	10	?	?	14	4,5	A	141	
T 203	W 1	C	+ 63,43	121,70	50,00	12,0	15	10,00	1,50	45	15,0	A	198	
T 204	W 7	C	+ 25,19	146,50	15,00	=40,0	60	20,00	3,00	110	36,0	B	465	
T 205	W 8	C	47,89	159,00	38,00	12,0	17	2,75	6,18	96	32,0	C	-	
T 206	F 36	C	17,20	81,49	7,04	-	60	16,10	3,73	78	26,0	B	249	
T 207	F 38	C	69,50	108,50	50,20	-	12	10,15	1,18	51	17,0	A	-	
T 208	F 41	C	40,22	112,47	27,00	-	22	10,50	2,10	42	14,0	A	252	
T 209	F 43	C	50,32	94,00	37,60	-	25	10,00	2,50	54	18,0	(B)	155	
T 210	F 48	C	25,50	111,91	5,69	5,0	130	16,00	8,12	96	32,0	C	196	
T 211	F 49	C	22,29	121,66	3,50	12,0	118	15,82	7,46	112	37,0	D	-	
T 212	A 2	C	50,39	118,50	32,00	= 6,0	36	6,50	5,50	78	26,0	C	179	
T 213	A 4	C	81,28	93,00	62,87	-	18	18,70	0,96	24	8,0	A	220	
T 214	A 7	C	137,80	76,40	63,56	= 6,0	8	3,40	2,35	8	2,7	A	255	
T 215	W 9	P	+ 22,04	252,00	16,00	=12,0	40	24,50	1,63	230	77,0	B	769	
T 216	W 10	P	+ 38,15	158,00	32,00	=10,0	20	1,00 ?	20,00 ?	121	40,0	Cx	511	
T 217	W 11	P	15,41	210,00	8,80	=10,0	65	30,00	2,16	69	21,0	A	573	
T 218	W 12	P	30,20	291,90	24,40	=10,0	15	12,00	1,25	125	42,0	A	649	
T 219	F 29	P	16,51	138,07	10,92	-	64	8,00	8,00	121	40,0	Cx	692	
T 220	F 53	P	43,10	75,63	31,00	=10,0	15	11,24	1,33	45	15,0	A	-	
T 221	Noépé	P	64,93	59,50	50,92	-	6	3,70	1,60	8	2,6	A	635	
T 222	Sanguéra	P	43,90	64,00	40,33	-	15	20,00	0,75	24	8,0	A	-	
T 224	Attitogon	CT	(+43,50)	390,00	43,00	-	40	1,00	40,00	17	5,5	Ax	568	
T 225	Cacavelli	CT	+ 32,83	51,60	31,89	6,4	200	5,60	35,70	23	7,6	Cx	421	
T 226	Davédé	CT	+ 34,87	37,54	22,00	10,4	50	5,20	9,60	15	5,0	A	145	
T 227	Fyota	CT	(+30,00)	65,00	17,50	-	50	3,60	13,90	42	14,0	Bx	208	
T 228	Sevagan	CT	+ 26,29	59,00	21,50	10,3	90	4,70	19,15	24	8,0	Bx	286	
T 229	Vogan	CT	+ 31,70	37,00	28,00	5,0	15	0,20	75,00	30	10,0	Bx	717	
T 230	W 7 bis	CT	+ 25,19	45,00	16,00	15,0	70	3,50	20,00	24	8,0	C	235	
T 231	F 33 bis	CT	+ 37,88	43,04	30,72	12,0	32	7,00	4,60	> 12	> 4,0	A	409	
T 232	F 45	CT	+ 28,86	73,83	20,67	-	125	6,70	18,66	41	13,5	C	239	
T 233	F 46	CT	+ 36,37	87,60	37,05	5,0	16	8,60	1,86	25	8,0	A	273	
T 234	F 47	CT	+ 29,34	70,20	21,41	8,0	90	11,80	7,63	38	12,6	B	360	
T 235	F 50	CT	+ 22,53	42,00	10,42	20,8	128	8,15	15,70	30	10,0	C	114	
T 236	F 51	CT	+ 30,08	47,00	22,63	12,0	70	7,00	10,00	24	8,0	(C)	429	
T 237	F 52	CT	+ 31,49	63,50	25,15	10,0	72	8,00	9,00	30	10,0	B	1687	

Les données rassemblées dans ce tableau sont explicitées en notice, paragraphe 2-5-4

BIBLIOGRAPHIE - TOGO

- (81) *Aicard P. (1957) - Le Précambrien du Togo et du N.O. du Dahomey. Bull. n° 23 du Service de géologie et de prospection minière d'Afrique occidentale.*
- (82) *Ambroggi R. et Lisoni L. (1975) - Pour une politique de l'eau au Togo. Note inédite PNUD : WS 43832.*
- (83) *Castany G. (1964) - Etude des ressources minières et en eau du Togo. Deux rapports du Fonds spécial des Nations Unies - janvier et avril 1964.*
- (84) *Italconsult (1967) - Etude des ressources en eau souterraine du Togo. Rapp. final. Rome décembre 1967 - Rapp. PNUD Togo 504.*
- (85) *Nations Unies (1975) - Prospection des eaux souterraines dans la zone côtière du Togo. Conclusions et recommandations du projet. Rapp. PNUD DP/UN/TOG - 70-511.*
- (86) *Orstom (1973) - Annales hydrologiques du Togo, depuis la création des stations jusqu'à l'année hydrologique 1970-71. Deux tomes. Public. Orstom - Paris.*
- (87) *Sauvel C. (1968) - Etude hydrogéologique au Togo - Région des Savanes. Rapp. BRGM 68 OPR 018.*
- (88) *Slansky M. (1962) - Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Mémoire BRGM n° 11.*

BÉNIN

NOTICE EXPLICATIVE DU BENIN

Sur les 112 622 km² du Bénin, les aquifères discontinus s'étendent sur un peu plus de 100 000 km² ; le bassin sédimentaire côtier couvre 12 200 km², dont 300 de lacs et lagunes, 850 de dépôts littoraux récents, 2 670 d'affleurements pour le Tertiaire, 1 770 pour le Crétacé supérieur et 6 610 pour le Continental terminal.

1 - CARACTERES GENERAUX DES AQUIFERES :

1.1. - LE SOCLE PRECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Les terrains cristallins anciens affleurent sur 75 000 km². Ils sont, comme au Togo, antérieurs au Birrimien et constitués des mêmes roches granitiques, gneissiques, migmatitiques, etc...

L'extrémité septentrionale du bassin voltaïen se situe au Nord-Ouest du Bénin ; un peu plus de la moitié des 16 000 km² occupés par ces terrains concerne l'Atacora ; le Buem et les Schistes de l'Oti se partagent l'autre moitié.

Ces formations ne recèlent que des ressources discontinues liées à des structures locales favorables.

1.2. - LE BASSIN DE KANDI :

Si les deux ensembles précédents n'appellent pas de mention spéciale, les Grès de Kandi n'existent qu'au Nord-Est du Bénin, sur 9 à 10 000 km². Il s'agit schématiquement de dépôts continentaux dans lesquels prédominent les grès à granulométrie très hétérogène, les argiles aux couleurs vives et les conglomérats. La plus grande partie du remplissage de la "cuvette" de Kandi correspond au Continental intercalaire, qui débute en Afrique, selon les secteurs, à des périodes variées du Jurassique ou du Crétacé inférieur pour se terminer généralement au sommet du Crétacé moyen par la transgression cénomaniennne. Sur les terrains du Continental intercalaire il subsiste des placages ou des buttes-témoins de Continental terminal.

Les Grès de Kandi ont une puissance variable liée à la morphologie du substratum cristallin sous-jacent. D'après la prospection électrique effectuée au Nord du bassin il existerait une zone surélevée (socle à 100/120 m) entre deux failles dirigées vers le Nord Nord-Est passant respectivement par Guéné et par Kargui. A l'Ouest de ce môle, le socle serait à 200/250 m et à l'Est il y aurait 200 à 500 m de remplissage ; le forage de Bodjécali (voir le point B 79 en feuille 2 et sur le tableau 8) a rencontré le substratum cristallin à 360 m.

1.3. - LE BASSIN COTIER :

Les formations du bassin côtier ont fait l'objet d'une étude géologique approfondie entre 1950 et 1959 (B 96). La coupe schématique, au bas de la feuille 2, montre la disposition structurale des horizons aquifères ; la figure ci-après représente la succession lithologique dans l'Eo-paléocène et le Crétacé supérieur à l'Ouest et celle du Continental terminal au centre du bassin ; les deux illustrations sont extraites de cette étude.

Les sédiments récents de la plaine littorale sont constitués essentiellement par des sables à la partie supérieure et par des argiles avec intercalations sableuses au dessous ; leur épaisseur moyenne de 20 à 40 m augmente au droit des grandes vallées fluviales pour atteindre 80 m par exemple dans le delta de l'Ouémé.

2 - RESSOURCES EN EAU :

2.1. - LE SOCLE PRECAMBRIEN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Une importante prospection des aquifères discontinus effectuée de 1966 à 1968 donne un bon aperçu des possibilités de captage dans ces terrains.

Sur 277 villages étudiés, 393 forages de reconnaissance ont été exécutés après implantation tenant compte des données de surface et de celles des photographies aériennes, complétées dans 73 cas par une campagne de sondages électriques et de profils de résistivités.

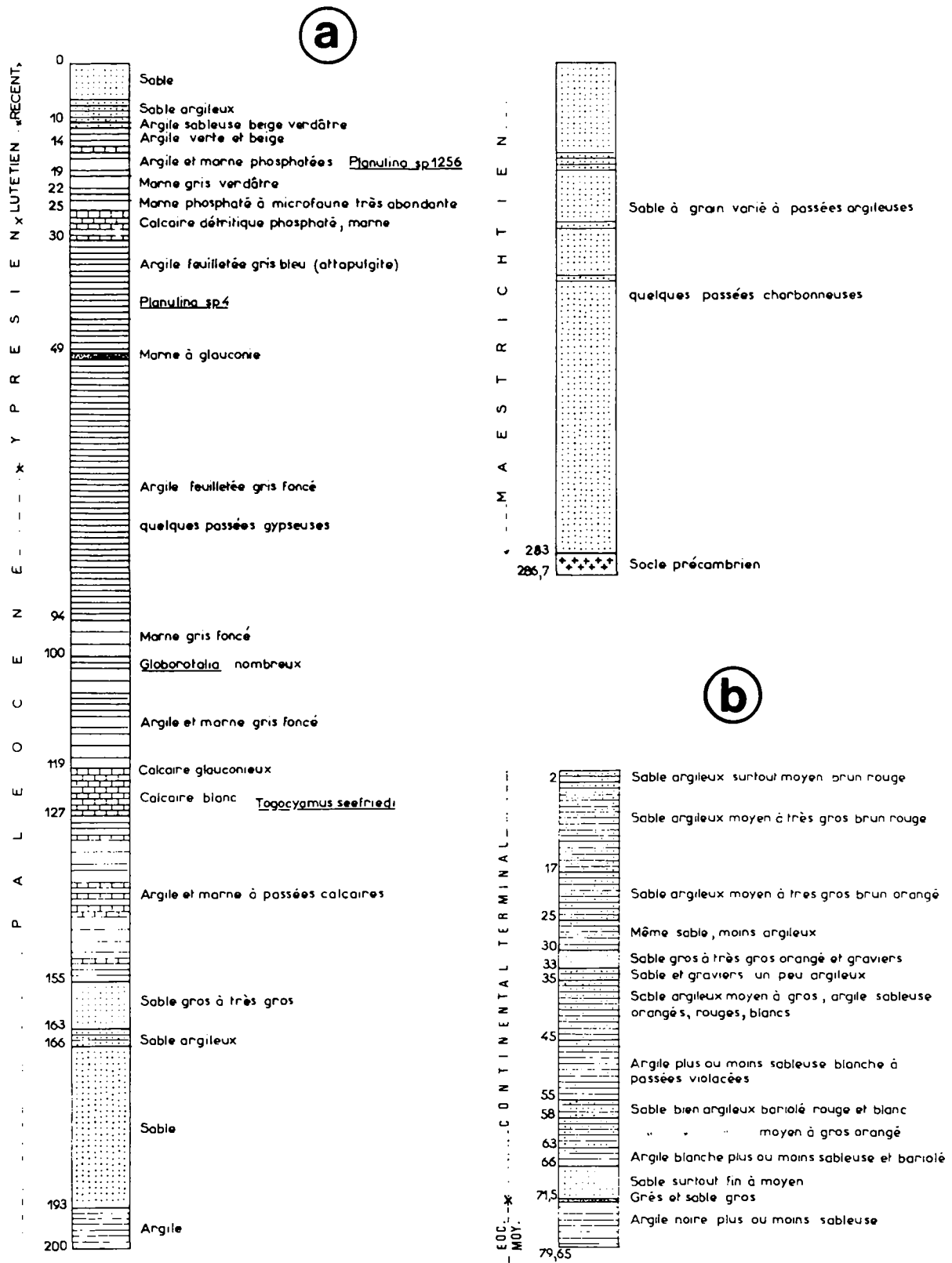
D'après le compte-rendu de l'étude (B 98) les forages, qui n'ont généralement pas dépassé la couche d'altération, ont 10 à 30 m de profondeur dans la majorité des cas. Les débits, inférieurs à 0,5 m³/h une fois sur deux, peuvent atteindre 1 à 5 m³/h avec des maxima de 7 à 8 m³/h ; les transmissivités, calculées par défaut, sont comprises le plus souvent entre 10⁻⁶ et 10⁻⁵m²/s.

Le but de cette prospection étant de déterminer les chances de succès de puits de captage au diamètre de 1,80 m et profonds de 20 m, les auteurs concluaient par ces pronostics :

Sur les 277 villages :

- dans 67 = 24,2 %, le puits ne donnerait pas d'eau,
- dans 55 = 19,8 %, le puits donnera moins de 0,5 m³/h,
- dans 37 = 13,4 %, le puits donnera 0,5 à 1 m³/h,
- dans 118 = 42,6 %, le puits donnera plus de 1 m³/h.

L'étude géophysique améliore les résultats si l'on compare les pourcentages de "bons puits" et de "puits négatifs" prévus :



Coupes des forages de : (a) LOKOSSA : B 216

(b) ALLADA : B 228

d'après M. SLANSKY

- avec étude géophysique, dans 73 villages, il est prévu 11 puits négatifs soit 15 % et 37 puits soit 50,7 %, débitant plus de 1 m³/h,
- sans étude géophysique dans 204 villages, les prévisions deviennent : 56 puits négatifs soit 27,5 % et 81 puits soit 39,7 % donnant plus de 1 m³/h.

Les puits proposés ont été réalisés entre fin 1969 et début 1973 ; 80 à 85 % des 255 ouvrages prévus au marché ont été placés aux endroits retenus par les auteurs de l'étude ; les 15 à 20 % restants ont été implantés près des forages négatifs ou sur des sites non prospectés. En complément 52 puits ont été foncés portant le total à 307. Si l'on retire 6 puits proches d'Abomey, dans les terrains sédimentaires du bassin côtier, les résultats statistiques sur les 301 puits sont les suivants :

- a : débit supérieur à 1 m³/h : 197 puits = 65,45 % du total,
- b : débit compris entre 0,5 et 1 m³/h : 62 puits = 20,55 % du total,
- c : débit inférieur à 0,5 m³/h : 42 puits = 14,00 % du total.

En reprenant ces chiffres par régions :

- pour le Nord-Ouest, sur 123 puits : a = 73,2 % ; b = 14,6 % ; c = 12,2 %
- pour le Nord-Est, sur 148 puits : a = 64,2 % ; b = 22,3 % ; c = 13,5 %
- pour le Centre, sur 30 puits : a = 40,0 % ; b = 36,7 % ; c = 23,3 %.

Le succès des puits est donc le plus élevé dans le Nord-Ouest et le plus bas dans le Centre ; il est moyen dans le Nord-Est malgré 13 puits sur 13 en catégorie : a, dans la sous-préfecture de Malanville située sur les Grès de Kandi que l'on peut considérer comme un aquifère généralisé. En retirant ces 13 puits les pourcentages du Nord-Est seraient :

a = 60,7 % ; b = 24,4 % ; c = 14,8 %.

On ignore ce qu'aurait pu donner 301 forages en remplacement des 301 puits, mais le coût du m³/h obtenu sur des forages effectués en reconnaissance, et équipés directement pour la production en cas de réussite, est inférieur au coût résultant des opérations successives de reconnaissance et de réalisation du puits.

2.2. - LE BASSIN DE KANDI :

Dans les Grès de Kandi, le forage de moyenne profondeur s'impose ; l'expérience faite à Bodjécali (cf point B 79 du tableau 8) est intéressante puisque l'ouvrage débite près de 29 m³/h par artésianisme avec 1,4 kg/cm² de pression au sol. D'autres forages de reconnaissance permettraient d'appréhender la géométrie et les caractéristiques de cet aquifère très probablement généralisé, mais encore cartographié sous forme d'aquifère discontinu, faute de données hydrogéologiques suffisantes.

2.3. - LES RESSOURCES RENOUVELABLES DES AQUIFERES DISCONTINUS (SOCLE ET BASSIN DE KANDI) :

se décomposent ainsi :

INFILTRATION ANNUELLE MOYENNE	RESSOURCES RENOUVELABLES
50 à 100 mm	0,075 m x 39 200 x 10 ⁶ m ² = 2 940 Mm ³
100 à 150 mm	0,125 m x 31 300 x 10 ⁶ m ² = 3 912 Mm ³
150 à 200 mm	0,175 m x 28 900 x 10 ⁶ m ² = 5 057 Mm ³
200 à 300 mm	0,250 m x 1 000 x 10 ⁶ m ² = 250 Mm ³
TOTAL	12 159 Mm³

Cet apport annuel moyen de 12 km³ correspond à un débit permanent de 386 m³/s ou encore à une lame d'eau équivalente de 121 mm sur les 100 400 km² concernés.

2.4. : LE BASSIN COTIER :

2.4.1. - Les aquifères généralisés :

La nappe des sables du Crétacé supérieur : La carte 2 de la feuille 3 montre que, sur les 6 200 km² connus et exploitables pratiquement, la productivité par forage serait égale ou supérieure à 5 000 m³/jour sur 70 % de cette surface, soit 4 200 km². Pour faire image, si l'on suppose 200 forages bien répartis sur ces 4 200 km² en fonction des ressources et de la productivité, l'aire d'influence moyenne de chacun serait de 4 200/200 = 21 km², ce qui correspond à un cercle de 2,6 km de rayon ; en pompant 5 000 m³/jour sur chacun de ces forages le débit quotidien global atteindrait un million de m³/jour, soit 11,6 m³/s. Cet exemple fictif, mais non irréaliste, souligne l'importance de cette nappe.

Pour renouveler le volume annuel équivalent à un tel prélèvement de 365 Mm³, la surface sur laquelle devrait s'effectuer la recharge, à raison de 75 mm en moyenne, serait de l'ordre de 5 000 km², ce qui correspond à une frange bordière au Nord du bassin de 35 mm de largeur à l'échelle de la feuille 2.

La nappe du Paléocène est moins bien connue. La carte 2.1 de la feuille 3 atteste que l'extrapolation est grande : comme au Togo, la puissance et le faciès des calcaires aquifères varient et les couches sablo-argileuses sous-jacentes qui peuvent emmagasiner de l'eau et améliorer localement la productivité, ont une épaisseur très réduite en certains secteurs.

Les débits spécifiques des forages B 223 à 226 du tableau 9 ne

sont pas obligatoirement représentatifs des possibilités réelles de cet aquifère ; ils auraient pu probablement être augmentés par un traitement approprié des forages.

Il semble que l'exploitation de la nappe du Paléocène puisse être avantageuse dans deux cas en particulier :

- recherche d'un débit faible à moyen sans "descendre" jusqu'au Crétacé, sur une "bande" d'une vingtaine de kilomètres de largeur parallèle à la limite de base des calcaires et distante d'environ 10 km de celle-ci,
- au Sud de la ligne A1 - A4, et en l'absence d'un horizon aquifère favorable dans le Continental terminal, des forages du type de ceux de Gbépandji et d'Hétin Sota sont encourageants.

La nappe du Continental terminal est surtout connue par les forages de la partie méridionale qui donnent de très bons débits, grâce à la perméabilité élevée des sables "noyés" sur plusieurs dizaines de mètres.

En s'éloignant vers le Nord on ne connaît guère que le forage d'Allada, de productivité réduite, et le forage de Dasso, près de l'intersection de la vallée de l'Ouémé par le 7ème parallèle, non reporté dans le tableau 9 ; profond de 43 m, crépiné en 6" de 32 à 42 m il aurait été éprouvé à 32,4 m³/h avec 3,5 m de rabattement.

L'extrapolation, à partir des coupes ponctuelles de forages exécutés dans cette région pour capter d'autres aquifères ou pour des recherches diverses, couvre un vaste domaine sur les cartes.

Il conviendrait donc de poursuivre la reconnaissance de cette nappe et de proscrire les prélèvements trop importants à proximité immédiate de la plaine littorale afin de conserver à l'eau sa bonne qualité actuelle.

Les sédiments littoraux récents : il existe des zones où l'eau douce est emmagasinée dans les sables superficiels, qui présentent localement des transmissivités élevées de l'ordre de 10^{-2} m²/s ; des prélèvements ponctuels sont possibles mais la prudence s'impose à la fois au stade du captage et au stade de l'exploitation pour éviter la mise en mouvement de l'eau salée.

2.4.2. - Les ressources renouvelables des aquifères côtiers :

Elles représentent un apport de 900 Mm³/an correspondant à un débit moyen permanent de 28 m³/s ou à une lame d'eau équivalente de 75 mm sur les 11 900 km² de terrains.

Elles sont exprimées dans le tableau ci-après :

INFILTRATION ANNUELLE MOYENNE	RESSOURCES RENEUVELABLES
< 50 mm	0,025 m x 2 700 x 10 ⁶ m ² = 67 Mm ³
50 à 100 mm	0,975 m x 6 500 x 10 ⁶ m ² = 487 Mm ³
100 à 150 mm	0,125 m x 2 700 x 10 ⁶ m ² = 337 Mm ³
TOTAL	891 Mm³

2.4.3. - Les réserves exploitables :

D'après les données de la feuille 2 et celles de la carte 2.1. de la feuille 3, elles seraient :

- Continental terminal :

$$\begin{array}{rcl}
 0,150 \text{ Mm}^3 & \times & 2\,830 \text{ (km}^2\text{)} & = & 425 \text{ Mm}^3 \\
 0,375 \text{ Mm}^3 & \times & 1\,468 \text{ (km}^2\text{)} & = & 550 \text{ Mm}^3 \\
 & & \text{Total} & & \underline{975 \text{ Mm}^3}
 \end{array}$$

- Paléocène :

$$\begin{array}{rcl}
 0,200 \text{ Mm}^3 & \times & 3\,640 \text{ (km}^2\text{)} & = & 728 \text{ Mm}^3 \\
 0,600 \text{ Mm}^3 & \times & 1\,164 \text{ (km}^2\text{)} & = & 698 \text{ Mm}^3 \\
 & & \text{Total} & & \underline{1\,426 \text{ Mm}^3}
 \end{array}$$

- Crétacé supérieur :

$$\begin{array}{rcl}
 0,100 \text{ Mm}^3 & \times & 2\,300 \text{ (km}^2\text{)} & = & 230 \text{ Mm}^3 \\
 0,400 \text{ Mm}^3 & \times & 1\,470 \text{ (km}^2\text{)} & = & 548 \text{ Mm}^3 \\
 0,600 \text{ Mm}^3 & \times & 996 \text{ (km}^2\text{)} & = & 596 \text{ Mm}^3 \\
 0,800 \text{ Mm}^3 & \times & 1\,185 \text{ (km}^2\text{)} & = & 948 \text{ Mm}^3 \\
 1,100 \text{ Mm}^3 & \times & 482 \text{ (km}^2\text{)} & = & 530 \text{ Mm}^3 \\
 & & \text{Total} & & \underline{2\,854 \text{ Mm}^3}
 \end{array}$$

L'ensemble des réserves exploitables sur les trois nappes principales du bassin côtier représenterait donc 5,25 km³. Un prélèvement sur ces réserves pendant 10 années sèches consécutives à raison de 100 000 m³/jour n'atteindrait que 7 % de ce capital qui constitue donc un bon régulateur.

3 - OUVRAGES DE REFERENCE :

3.1. - LE SOCLE CRISTALLIN ET LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES :

Les puits et forages de reconnaissance ou d'exploitation sont répertoriés avec leurs caractéristiques sous forme de tableaux récapitulatifs (tableaux 8) et positionnés sur la feuille 2. Ont été sélectionnés :

- 79 puits récents dont le débit d'épuisement est égal ou supérieur à 2 m³/h, parmi lesquels 11 ont un débit d'épuisement supérieur à 5 m³/h.

3.2. - LE BASSIN DE KANDI :

- 13 puits profonds de moins de 20 m et un forage profond ont été sélectionnés, ils sont répertoriés dans les tableaux 8 et localisés sur la feuille 2.

3.3. - LE BASSIN COTIER :

Parmi les ouvrages existants ceux dont les caractéristiques disponibles étaient relativement complètes ont été regroupés en un tableau récapitulatif (tableau 9) et localisés sur la carte 2 et 2.1 de la feuille 3.

Au total 40 forages ont été sélectionnés.

Numéro de Classement	Désignation		Coordonnées		Profondeur (m)	Profondeur eau (m)	Débit épauement (m ³ /h)	Conductivité (m S)	Terrain aquifère
			latitude N.	longitude E.					
B 1	Kobly	A 100	10° 29' 00"	1° 01' 00"	18,40	7,25	7,00	56	schistes
B 2	Youndisséry	A 112	10° 41' 15"	1° 04' 30"	8,80	2,25	7,00	23	schistes
B 3	Gouandé	A 113	10° 47' 00"	0° 55' 00"	20,45	6,00	2,50	750	schistes
B 4	Pourniary	A 115	10° 48' 45"	0° 58' 45"	16,50	9,00	2,11	460	schistes altérés
B 5	Koucointiégou	A 88	10° 14' 30"	1° 09' 00"	3,45	0,50	3,30	200	schistes argileux
B 6	Koubentiégou	A 91	10° 24' 48"	1° 04' 50"	17,20	5,20	2,90	100	schistes argileux
B 7	Tabota	A 92	10° 24' 15"	1° 02' 30"	17,40	3,60	4,40	80	schistes argileux
B 8	Ouoroucaré	A 93	10° 22' 28"	0° 59' 10"	15,55	5,65	2,10	400	schistes argileux
B 9	Tchakalakou	A 53	10° 32' 50"	1° 20' 20"	18,30	6,00	2,94	135	schistes argileux
B 10	Koudingou	A 54	10° 25' 00"	1° 22' 00"	15,60	5,20	2,00	64	schistes + sable
B 11	Tantoukou	A 55	10° 26' 00"	1° 23' 30"	17,10	4,95	2,00	125	schistes + sable
B 12	Ouroubouga	A 56	10° 16' 10"	1° 21' 55"	20,10	10,90	2,30	-	grès quartzitique
B 13	Cotopounga	A 59	10° 18' 30"	1° 32' 00"	18,45	10,00	2,70	40	grès quartzitique
B 14	Kpessourou	A 60	10° 16' 15"	1° 41' 15"	14,00	4,30	2,15	135	schistes
B 15	Niekene-Bansou	A 61	10° 14' 15"	1° 43' 00"	17,65	5,65	2,60	50	argile + sable
B 16	Pehunco	A 63	10° 13' 45"	2° 00' 15"	15,25	5,50	3,65	460	sable argileux
B 17	Kouandé	A 66	10° 20' 00"	1° 41' 25"	15,15	5,00	2,30	-	arène micacée
B 18	Wakede	A 2	9° 40' 00"	1° 23' 00"	17,60	7,00	2,60	110	argile micacée
B 19	Komde	A 3	9° 39' 15"	1° 24' 00"	14,60	6,00	2,30	54	argile micacée
B 20	Kawado	A 5	9° 46' 30"	1° 23' 15"	18,40	6,00	7,70	80	argile micacée
B 21	Ouassa	A 10	9° 39' 25"	1° 38' 00"	17,35	5,00	2,15	200	arènes micacées
B 22	Pelebina	A 11	9° 28' 30"	1° 38' 15"	14,50	3,00	2,10	270	arènes micacées
B 23	Founga	A 14	9° 41' 15"	1° 35' 15"	18,30	7,00	2,40	350	argile + quartz
B 24	Aoro	A 21	8° 50' 00"	1° 39' 00"	18,50	11,00	3,70	-	argile micacée
B 25	Barei	A 22	9° 40' 45"	1° 34' 00"	16,70	5,00	2,40	860	arène argileuse
B 26	Biguina	A 27	8° 58' 30"	1° 53' 30"	21,75	14,00	2,60	-	argile sableuse
B 27	Manigri Ikani	A 28	8° 58' 15"	1° 43' 45"	11,30	2,00	3,80	310	argile sableuse
B 28	Kolokokounde	A 30	9° 53' 30"	1° 46' 20"	14,57	7,00	2,05	-	arènes granitiques
B 29	Fombirha	A 31	9° 54' 45"	1° 47' 00"	17,10	6,00	2,40	180	schistes
B 30	Gangamou	A 34	9° 51' 00"	1° 50' 55"	16,65	6,15	4,20	770	argile + quartz
B 31	Oualmorah	A 35	9° 51' 00"	1° 45' 00"	14,50	4,50	2,65	160	schistes
B 32	Tamandé	A 38	10° 00' 00"	1° 32' 00"	20,68	4,00	3,30	105	schistes fissurés
B 33	Chabi-Kouma	A 39	10° 01' 00"	1° 28' 00"	20,40	6,00	2,11	135	schistes
B 34	Bogobogo	C 18	12° 06' 00"	3° 06' 00"	16,65	7,00	2,70	220	grès et argile
B 35	Garou	C 19	11° 48' 30"	3° 28' 30"	16,25	6,00	4,80	285	grès rouge
B 36	Garoufegui	C 20	11° 45' 15"	3° 31' 15"	8,80	3,00	8,40	260	sable
B 37	Goun-Goun	C 21	11° 33' 15"	3° 07' 30"	15,35	7,00	4,20	50	argile sableuse
B 38	Kargui	C 22	11° 56' 00"	3° 13' 45"	9,90	3,00	20,00	650	sable
B 39	Madekali	C 23	11° 42' 30"	3° 33' 00"	8,60	4,35	12,00	210	sable
B 40	Mamassi-Peulh	C 24	12° 06' 00"	3° 09' 00"	14,95	5,00	3,10	210	gneiss
B 41	Molla	C 25	11° 54' 15"	3° 15' 45"	10,00	4,00	7,80	445	sable
B 42	Birnilafia	C 26	11° 58' 30"	3° 13' 00"	10,75	4,00	4,00	-	grès
B 43	Sende	C 27	11° 37' 13"	3° 29' 55"	18,30	11,00	6,00	80	grès
B 44	Tomboutou	C 28	11° 51' 15"	3° 17' 30"	15,40	6,00	19,80	950	grès
B 45	Gorouberi	C 29	11° 48' 00"	3° 28' 00"	14,30	6,00	2,10	-	argile sableuse
B 46	Goumori	C 6	11° 10' 50"	2° 17' 43"	16,10	3,00	3,30	160	arènes
B 47	Bouanri	C 30	10° 12' 00"	2° 52' 15"	15,45	3,00	6,80	225	arènes

Numéro de Classement	Désignation		Coordonnées		Profondeur (m)	Profondeur eau (m)	Débit épuisement (m ³ /h)	Conductivité (mS) *	Terrain aquifère
			latitude N.	longitude E.					
B 48	Konou	C 33	10° 00' 45"	2° 35' 45"	16,05	7,00	2,15	255	arènes micacées
B 49	Pédarou	C 34	10° 18' 30"	2° 42' 00"	15,30	3,00	2,95	180	arènes grenues
B 50	Saore	C 35	10° 12' 00"	2° 36' 30"	15,30	6,00	2,30	1600	argile sableuse
B 51	Guessou-Sud	C 40	10° 02' 30"	2° 38' 40"	15,75	6,00	2,40	115	argile sableuse
B 52	Boa	B 6	10° 12' 20"	3° 13' 00"	16,50	6,00	2,52	260	arènes granitiques
B 53	Daroukpara	B 10	9° 50' 30"	3° 02' 45"	15,60	6,00	2,50	195	argile sableuse
B 54	Derassi	B 11	10° 10' 00"	3° 15' 30"	13,50	5,00	2,00	500	arènes granitiques
B 55	Diguidirou	B 12	9° 36' 30"	3° 08' 15"	19,55	7,55	2,20	820	arènes granitiques
B 56	Dunkassa	B 14	10° 21' 30"	3° 08' 45"	14,40	2,70	2,05	300	arènes granitiques
B 57	Gainrou	B 15	9° 58' 00"	2° 56' 30"	15,55	5,00	3,70	305	arènes granitiques
B 58	Sakarou	B 16	9° 53' 00"	2° 47' 30"	19,20	11,00	2,00	-	arènes granitiques
B 59	Niaou	B 18	-	-	13,70	3,50	2,75	-	schistes
B 60	Kalale	B 23	10° 17' 50"	3° 22' 53"	14,60	6,00	5,37	96	grès rouge
B 61	Lou	B 24	10° 19' 45"	3° 27' 40"	14,55	5,00	3,52	1200	grès rouge
B 62	Ndali	B 26	9° 51' 15"	2° 43' 00"	16,20	6,00	4,50	160	arènes
B 63	Alafiarou	B 30	10° 19' 30"	3° 13' 30"	13,45	5,15	4,25	230	arènes
B 64	Sansoré	B 32	-	-	13,25	3,00	2,50	-	schistes
B 65	Péonga	B 36	10° 20' 20"	3° 15' 50"	20,35	11,80	2,70	700	grès rose
B 66	Perere-Gourou	B 38	9° 59' 00"	2° 59' 30"	17,75	2,50	3,15	395	arènes + argile
B 67	Sérékalé	B 39	9° 55' 15"	3° 02' 30"	16,95	6,00	2,25	360	arènes + argile
B 68	Sontou	B 40	9° 43' 00"	2° 50' 45"	20,00	6,90	3,40	169	arènes + argile
B 69	Tebo	B 44	9° 50' 15"	2° 50' 15"	12,80	2,50	5,50	420	schistes
B 70	Agbassa	B 46	8° 47' 45"	2° 15' 30"	16,85	7,00	2,05	-	arènes + gneiss
B 71	Comi	B 49	-	-	13,75	3,50	2,15	-	arènes argileuses
B 72	Guinirou	B 51	8° 56' 00"	2° 35' 00"	15,30	4,00	2,05	124	gneiss
B 73	Pari	B 53	9° 16' 45"	2° 54' 00"	17,20	7,20	2,00	230	arènes granitiques
B 74	Sebou	B 54	9° 19' 00"	2° 49' 45"	16,40	3,50	2,80	265	arènes granitiques
B 75	Sakarou Baco	B 62	9° 28' 30"	2° 37' 30"	14,50	1,90	3,50	180	schistes
B 76	Akpassi	B 83	8° 28' 30"	1° 53' 00"	26,90	17,50	2,50	1330	schistes micacés
B 77	Monkpa	B 87	7° 55' 30"	2° 03' 45"	13,95	4,70	2,30	230	argile sableuse
B 78	Gouka	B 88	8° 08' 15"	1° 57' 45"	18,05	8,00	2,50	240	arènes argileuses
B 79	Bodjékali	forage	11° 48' 00"	3° 20' 00"	364,15	+ 14 ^o	28,80 ^o	-	grès et sables du CIC

▲ A l'exception du point B 79, tous les autres points d'eau sont des puits

o Dans ce forage l'eau a une pression de 1,4 kg/cm² au niveau du sol (+14 m) et le débit artésien est de 28,8 m³/heure

● Puits dont le débit d'épuisement atteint ou dépasse 5 m³/heure

* (mS) : milli-Siemens 1m S/m = 1mmho/m

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Numéro de Classement	DESIGNATION de l'OUVRAGE	AQUIFERE	Altitude (m)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur eau (m)	Crépine longueur diamètre	Débit (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)	Hauteur eau:H (m)	Rabattement admissible (m)	Productivité	Résidu sec (mg/l)
B 201	Adjahouéré	C	(+ 95)	459,00	45,00	15,0 4	42,00	10,00	4,20	404	55,00	C	24
B 202	Athiémé	C	(+ 13)	286,00	+ 5,30	15,0 4	31,50	26,00	1,20	290	97,00	B	200
B 203	Avakpa	C	(+ 40)	643,00	7,00	25,0 4	26,70	13,00	2,00	635	93,00	C	144
B 204	Bapodji	C	(+ 27)	143,00	6,85	15,0 6	15,00	2,75	5,45	> 136	> 45,00	D	396
B 205	Bopa	C	(+ 8)	600,00	+24,50	15,0 6	30,00	24,50	1,25	610	124,00	C	172
B 206	Cana	C	(+ 90)	62,10	40,00	6,0 4	30,00	2,00	15,00	22	7,30	B	-
B 207	Dénou	C	(+ 58)	152,65	14,95	15,0 6	30,00	2,00	15,00	132	44,00	D	35
B 208	Gandjazoumé	C	(+ 75)	190,25	51,40	8,0 6	20,00	1,80	11,11	124	41,00	D	76
B 209	Houin	C	(+ 42)	184,00	(20,00)	- -	96,00 ?	8,00 ?	12,00 ?	(163)	(54,00)	D	-
B 210	Igana	C	(+ 75)	348,70	25,00	11,6 6	15,00	10,50	1,43	320	75,00	(D)	108
B 211	Igboïdé	C	(+ 75)	181,50	27,50	16,5 6	40,00	2,00	20,00	> 153	> 51,00	D	-
B 212	Illémon	C	(+ 40)	302,65	+ 5,35	16,6 6	15,00	3,25	4,61	305	105,00	D	-
B 213	Issaba	C	(+ 52)	267,13	5,80	30,0 3	17,60	0,70	25,10	245	80,00	D	-
B 214	Kétou	C	(+ 122)	122,80	77,90	8,2 6	30,00	2,40	12,50	42	14,00	C	-
B 215	Kpénou	C	(+ 18)	230,45	+ 2,80	8,2 6	20,00	9,90	2,00	> 233	> 78,00	C	-
B 216	Lokossa	C	(+ 45)	286,77	18,60	19,3 6	30,00	2,00	15,00	264	82,00	D	130
B 217	Odo Méta	C	(+ 96)	163,50	44,40	13,0 6	30,00	0,85	35,00	108	36,00	D	40
B 218	Ouagbo	C	(+ 145)	594,00	(110,0)	29,5 4	(15,00)	(8,8)	1,70	484	trop profond	-	-
B 219	Quinrhi	C	(+ 28)	236,00	+ 5,65	13,0 6	40,00	2,65	15,00	242	86,00	D	106
B 220	Pobé	C	(+ 100)	430,50	59,40	10,0 4	24,00	10,00	2,40	> 370	40,00	B	84
B 221	Séhou	C	(+63,5)	344,40	30,55	15,0 6	30,00	2,00	15,00	220	69,50	D	-
B 222	Tchi-Ahomadegbé	C	(+ 32)	196,10	+ 9,80	15,0 4	31,20	9,80	3,18	> 206	> 69,00	(D)	68
B 223	Doutou-Gahou	P	(+ 100)	310,00	64,45	15,0 4	23,20	15,00	1,55	244	36,00	(B)	408
B 224	Possotomé	P	(+ 19)	323,50	+14,75	4,0 6	7,20	14,75	0,49	> 338	115,00	(B)	2568
B 225	Gbépandji	P	(+ 80)	475,00	43,60	5,0 5	33,00	14,00	2,36	410	56,00	C	300
B 226	Hétin Sota	P	(+ 10)	410,00	+23,00	9,2 6	75,00	18,50	4,05	433	123,00	D	-
B 227	Ahazon	CT	(+ 7)	44,00	6,50	4,0 6	30,00	5,60	5,60	> 37	> 12,30	(C)	-
B 228	Allada	CT	(+ 94)	79,65	60,64	4,0 6	5,00	3,00	1,66	12	4,00	A	-
B 229	Comé	CT	(+28,3)	157,75	25,75	12,5 4	20,70	5,25	3,94	(54)	(18,00)	B	36
B 230	Godomey	CT	(+14,7)	81,00	12,30	10,0 8	210,00	3,50	60,00	40	13,00	D	-
B 231	Godomey	CT	(+14,4)	79,00	12,00	10,0 10	200,00	9,50	21,00	38	12,60	D	-
B 232	Ouédo	CT	(+1,45)	114,00	+ 1,14	8,4 6	6,00	0,89	6,74	103	34,00	C	-
B 233	Ouidah	CT	(+ 16)	73,00	12,60	20,3 8	170,40	5,20	32,80	60	20,00	D	-
B 234	Porto Novo	CT	(+ 25)	56,95	10,45	10,0 -	102,00	13,50	7,55	46	15,30	B	-
B 235	Vakon	CT	(+ 35)	100,00	32,20	15,0 4	38,50	9,00	4,28	66	22,00	B	60
B 236	Ganvié	CT	(+ 1)	150,00	+ 0,63	8,0 6	6,00	0,53	11,50	115	38,00	D	-
B 237	So Tchanhoué	CT	(+ 1)	94,00	+ 0,51	8,3 6	8,00	0,54	14,80	94,5	31,50	C	-
B 238	Aguégués	CT	(+ 1)	90,00	+ 1,20	8,0 6	6,00	0,94	6,40	91	30,00	C	-
B 239	Gbessou	CT	(+ 11)	150,60	8,00	12,5 4	33,10	22,00	1,50	87	29,00	A	140
B 240	Le Guezin	CT	(+ 3)	60,00	1,43	4,1 6	20,00	5,07	3,94	58	19,00	B	706

Les données rassemblées dans ce tableau sont explicitées en notice, paragraphe 2 - 5 - 4.

BIBLIOGRAPHIE - BENIN

- (91) Boudin G. (1973?) - Construction de 307 puits dans le Centre, Nord-Est, Nord-Ouest du Dahomey - Projet FED 211 007 02. Convention 340/DA - Marché 1-69 DH du 30 juin 1969. *Rapp. du Bureau de contrôle pour la sécurité des constructions - Bruxelles.*
- (92) Bouzid M. (1971) - Développement de l'utilisation des eaux souterraines au Dahomey. *Rapp. PNUD/FAO AGL : SF/DAH 3 - Rome.*
- (93) Colombani J. et al. (1972) - Monographie du delta de l'Ouémé - *Rapp. Orstom - Paris.*
- (94) Lessard L. (1964) - Mission de reconnaissance hydrogéologique dans le département Nord-Est du Dahomey. *Rapp. de fin de mission. Rapp. ONU réf. : TA 220/1 (232-1) Dahomey ED 43.*
- (95) Rodier J., Sircoulon J. (1963) - Monographie de l'Ouémé supérieur. *Rapp. Orstom - Paris.*
- (96) Slansky M. (1962) - Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Mémoire BRGM n° 11.*
- (97) Vaucorbeil H. de (1964) - Coupes schématiques des forages pour recherches d'eau exécutés par Fondations et travaux miniers en 1963-1964 dans le Bas Dahomey. *Rapp. BRGM - ABI 64 B 10.*
- (98) Wakuti (1968) - Reconnaissance géophysique et sondages mécaniques dans le Centre, Nord-Est, Nord-Ouest du Dahomey. Projet FED 211 007. 02, marché 3/66 du 10.08.1966. *Rapp. fin de mission. Arch. Direction Hydraulique, Ministère des Travaux Publics du Bénin.*
- (99) -X- (1977) - La situation de l'eau en République populaire du Bénin. Note E/CONF. 70/TP 99. *Conférence des Nations Unies sur l'eau Mar del Plata (Argentine) 14-25 mars 1977.*