

CARTOGRAPHIE DE LA PLANIFICATION POUR L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES EN REGION SAHELIENNE

1. RÉGION ÉTUDIÉE. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

L'étude de la planification pour l'exploitation des eaux souterraines en Afrique sahélienne, au Sud du Sahara, est un exemple d'expression cartographique hydrogéologique moderne, en vue de la mise en valeur agricole d'une région.

Les hauteurs de précipitations, P, de 100 à 1000 mm/an, du Nord au Sud, caractérisent la zone aride et semi-aride à humide. Etant donné l'évapotranspiration élevée (ETR), les précipitations efficaces (PE = P - ETR) sont faibles (Figure 1).

Les études pédologiques ont montré que l'eau est le facteur limitant du développement agricole. D'où la nécessité d'une planification pour l'exploitation des eaux souterraines, seule ressource pouvant assurer la pérennité des approvisionnements en eau (Tableau I).

Les précipitations efficaces sont donc de 194 mm/an.

Tableau I - Calcul de la pluie efficace à Ouagadougou (Burkina Faso).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie en mm	0	3	8	17	81	116	193	260	148	37	1	0
ETR en mm	207	208	231	186	168	154	141	126	140	161	180	184
PE	0	0	0	0	0	0	52	134	8	0	0	0

2. CARTES ÉTABLIES

La zone cartographiée, à l'échelle de 1/1.500.000, en trois coupures, Ouest, Centre et Est; couvre 3.890.000 Km², soit huit états, d'Ouest en Est: Mauritanie, Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger et Tchad (fig. 1 et 2). La planification pour l'exploitation des eaux souterraines est la base de la réalisation des plans d'aménagements régionaux. Ces bases sont exprimées par cinq cartes d'utilisation pratique et simple.

Quatre cartes à l'échelle de 1/1.500.000 établies en 1975:

- productivité des puits: débits initiaux;
- qualité de l'eau: aptitude de l'eau souterraine à l'irrigation;
- coût de production de l'eau;
- ressource en eau souterraine à long terme.

Une carte à l'échelle de 1/5.000.000 établie en 1986:

- potentialité des ressources en eau souterraine de l'Afrique occidentale et centrale.

Les cartes établies sont des documents de base, directement utilisables en vue de la planification pour la réalisation de plans d'aménagements agricoles régionaux et nationaux.

3. PRINCIPES DE BASE

En premier lieu, établissement d'une banque de données géologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques et traitement sur ordinateurs par des programmes de calcul automatique. Puis division de la région en trente zones hydrogéologiques, basée sur la lithologie, avec interprétation adaptée à l'hydrogéologie.

Représentation de l'aquifère le plus proche de la surface du sol. Celle des aquifères profonds est donnée sur des cartouches en marge des cartes.

4. FORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES ET AQUIFÈRES

La lithostratigraphie permet l'identification des structures et des limites des principaux aquifères dans les 30 zones. Deux types d'aquifères ont été représentés: les aquifères généralisés et les aquifères discontinus. — aquifères généralisés. Ils sont identifiés par les grandes formations sédimentaires, poreuses ou fissurées (roches carbonatées karstiques et roches compactes fissurées). Elles sont continues dans l'espace mais hétérogènes. Ce sont des réservoirs de grandes dimensions renfermant une nappe d'eau souterraine de grande étendue, susceptible d'être captée en tous points (fig. 2). — aquifères discontinus. Ils sont constitués par des roches compactes, fissurées, des formations du socle. Celles-ci couvrent environ 1.500.000 Km². Les aquifères sont essentiellement localisés dans les zones de fractures.

II. CARTE DE PRODUCTIVITE DES NAPPES. DEBITS DE PRODUCTION INITIAUX DES OUVRAGES CAPTANTS

La carte de productivité représente, par zones homogènes, l'ordre de grandeur probable de la production journalière, en début d'exploitation, d'un ouvrage ponctuel captant un aquifère. Elle ne préjuge pas de l'évolution du débit dans le temps. Elle est fondée sur une extrapolation de l'analyse des caractéristiques des ouvrages captant, compte-tenu en particulier du contexte hydrogéologique connu et de contraintes technico-économiques.

Trois cas types peuvent être identifiés, pour le calcul de la productivité des ouvrages.

1. CAS TYPE 1: AQUIFÈRE GÉNÉRALISÉ À NAPPE LIBRE DONT L'ÉPAISSEUR H, EST CONNUE

Les facteurs qui conditionnent la productivité sont: la perméabilité, variable dans l'espace, la longueur de la partie captante des ouvrages, fonction de l'épaisseur des couches productrices. L'ordre de grandeur des

(*) Professeur d'hydrogéologie - Université de Paris.

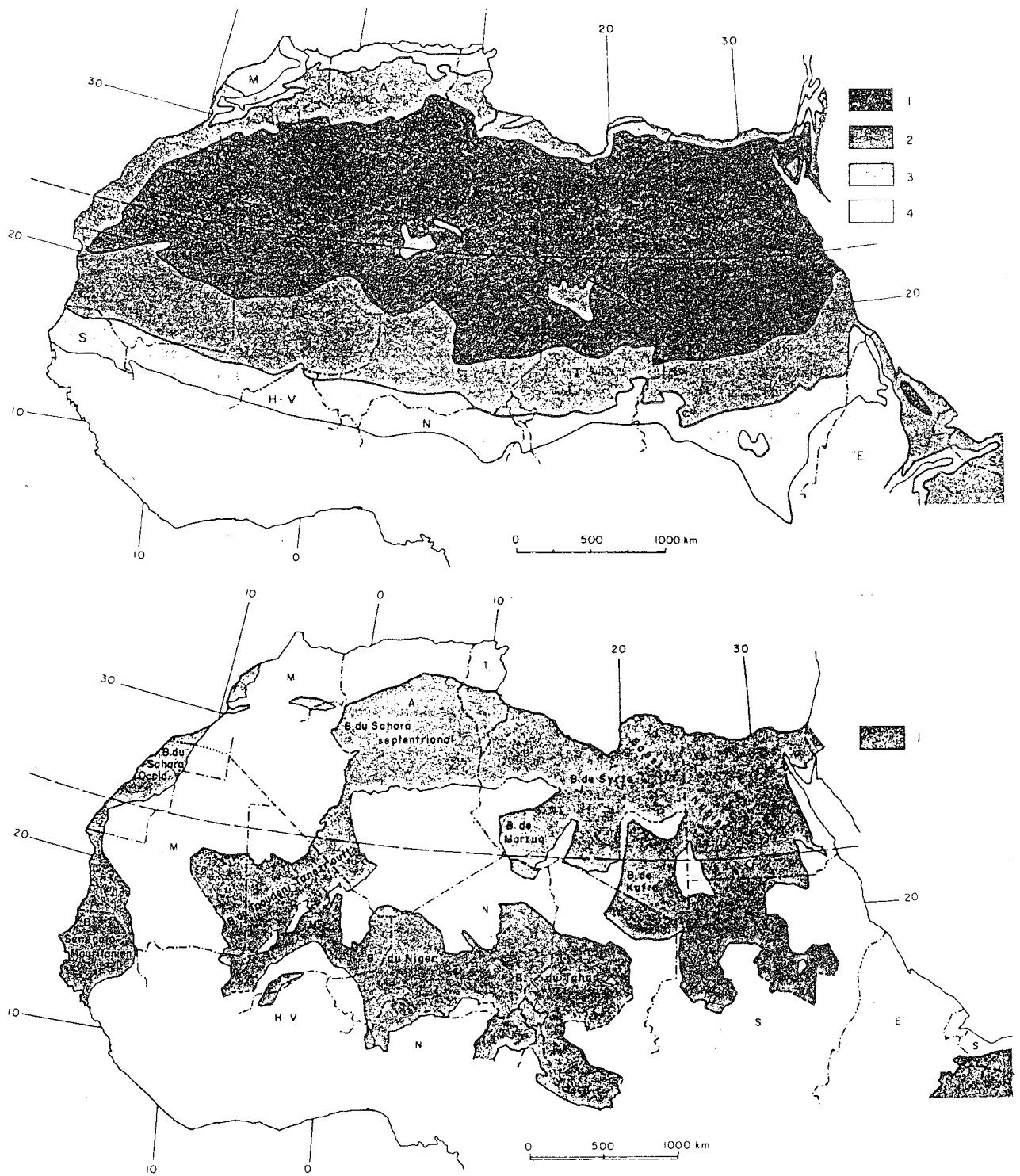


Fig. 1 - Zones arides et aquifères sédimentaire étendus de l'Afrique septentrionale.
 Haut: zones arides (d'après la carte de la répartition mondiale des régions arides, UNESCO, 1977) - 1. hyperaride, 2. aride, 3. semi-aride, 4. sub-humide à humide.
 Bas: 1. principaux bassins sédimentaires secondaires et tertiaires à aquifères profonds.
 BULL. B.R.G.M. (2), III, 2-1982.

productivités varie de 100 à plusieurs milliers de m³/jour.

La productivité est calculée par l'expression suivante:

$$\text{productivité} = q_s \times \frac{H}{3}, \text{ en m}^3/\text{jour}$$

H = épaisseur de l'aquifère, en mètres;
 q_s = débit spécifique de l'ouvrage en m³/jour par mètre. Il est calculé sur un ouvrage parfait (captage de toute l'épaisseur de l'aquifère), situé à l'emplacement de l'ouvrage considéré, pour 24 h de pompage.

Le rabattement est donc estimé sur la base de 1/3

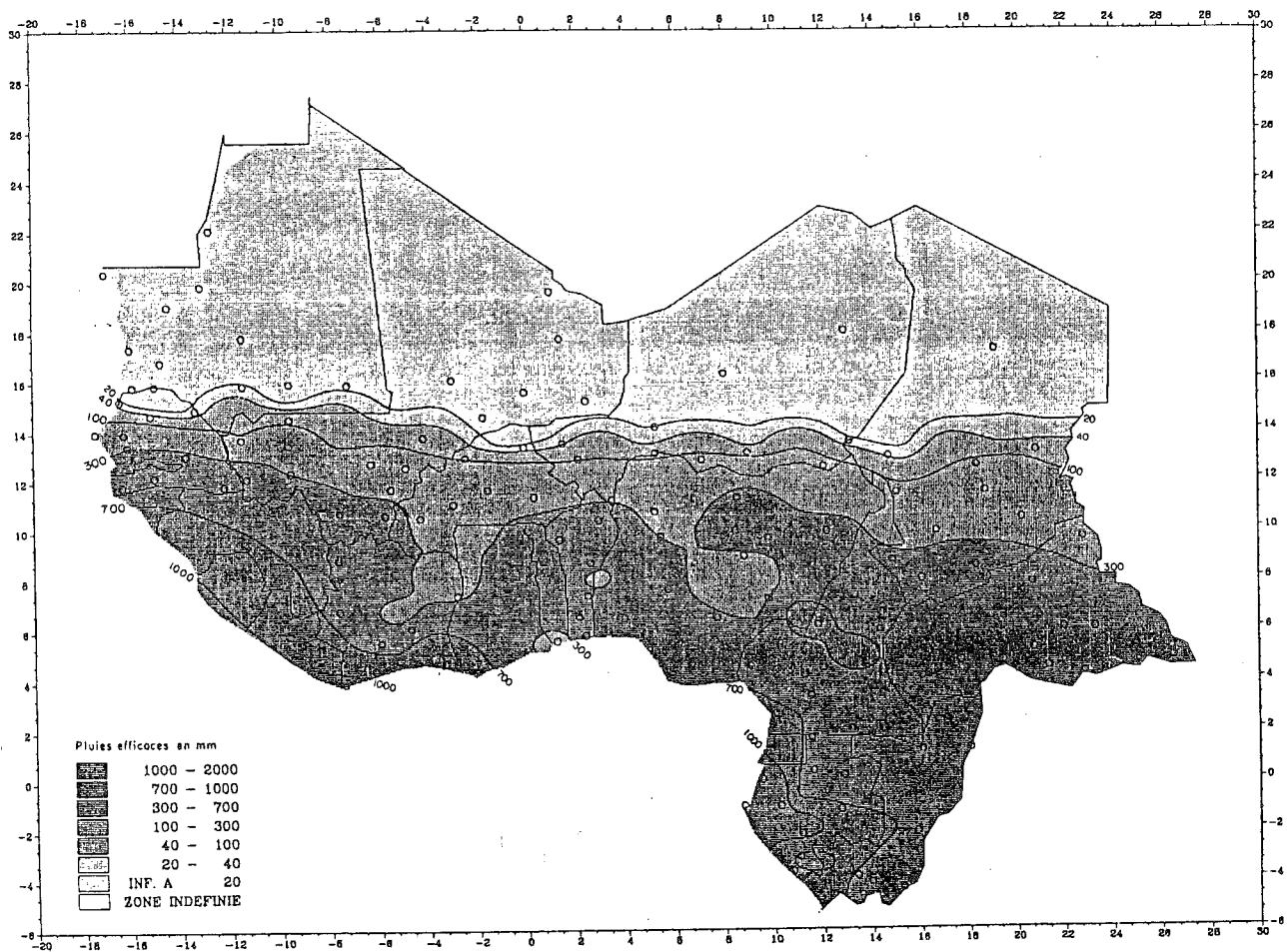


Fig. 2 - Carte des pluies efficaces moyennes annuelles.

de l'épaisseur totale de l'aquifère.

2. CAS TYPE 2: AQUIFÈRE GÉNÉRALISÉ À NAPPE LIBRE OU CAPTIVE, D'ÉPAISSEUR INCONNUE (figs. 3 et 4)

La productivité est calculée par l'expression suivante:

$$\text{Productivité} = q_s \times R_c, \text{ en m}^3/\text{jour par mètre}$$

R_c , rabattement admissible, constant pour un secteur donné, en m, théoriquement applicable, compte-tenu de l'épaisseur de la nappe et de son type libre ou captif (fig. 3 et 4).

3. CAS TYPE 3: AQUIFÈRES DISCONTINUS

La productivité est liée à l'intensité de la fracturation, à l'épaisseur de l'altération et à la puissance et à la nature des épandages alluviaux. Elle est généralement faible, 2 à 50 m³/heure. Elle est égale, pour chaque forage, à la moyenne des débits instantanés.

4. CARTE

Deux gammes de couleur distinguent les régions à l'aquifères généralisés (bleu) de celles à l'aquifères discontinus (orange). L'intensité des teintes croît avec la productivité. Les fourchettes de productivités sont les suivantes (tableau II).

III. CARTE DU COUT MOYEN DE PRODUCTION DE L'EAU

Le coût de production de l'eau est un facteur limitant de l'exploitation des eaux souterraines. Son coût, au mètre cube livré à 10 mètres au-dessus du sol est calculé par l'expression suivante:

$$\text{Coût de l'eau} = \frac{(\text{INV}/na + \text{DV})}{V} = \text{CuF} + \text{CuV}$$

INV = investissements fixes: études préliminaires, amenée et repli du matériel, infrastructures, équipements;

na = nombre d'années d'amortissement des investissements;

DV = dépenses variables;

V = volumes d'eau exploités, en m³/an;

CuF = coûts unitaires fixes;

CuV = coûts unitaires variables.

Tous les calculs sont effectués à l'aide d'abaques et de programmes sur ordinateur (exemple d'abaque: figure 5).

IV. CARTE D'APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION

La carte d'aptitude des eaux à l'irrigation indique

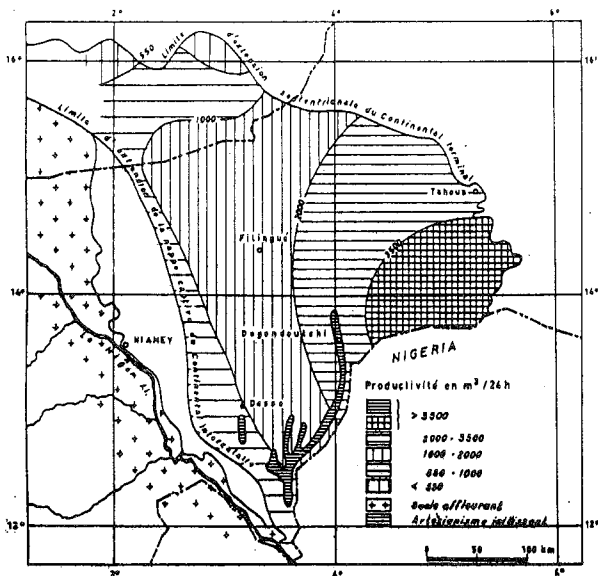


Fig. 3 - BASSIN DU NIGER. Productivité de la nappe captive des grès du Continental intercalaire (Tégama)

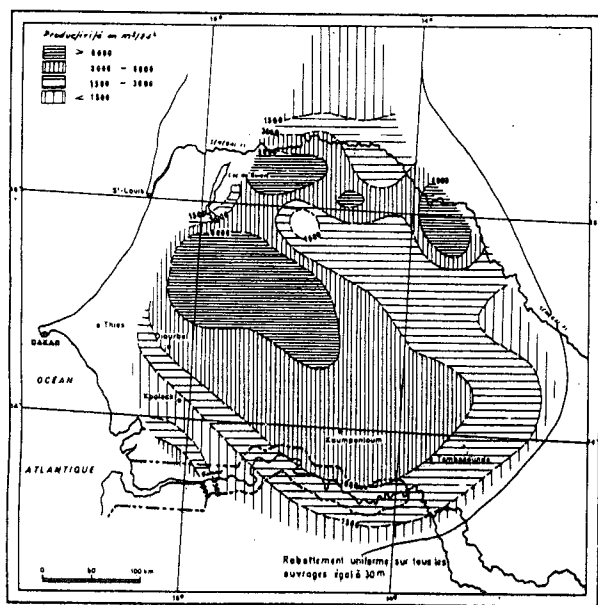


Fig. 4 - BASSIN DU SENEGAL. Productivité de la nappe des sables maestrichtiens en m³/24^h

les zones où les eaux sont utilisables selon un critère fondé sur certaines caractéristiques hydrogéochimiques.

La classification des eaux souterraines pour l'irrigation est basée sur l'emploi de l'expression suivante, formulée par WILCOX en 1955:

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

S.A.R. = sodium adsorption ratio.

La minéralisation totale est exprimée par la conductivité.

Tableau II - Fourchettes des productivités cartographiées

Aquifères généralisés (m ³ /jour)	Aquifères discontinus (m ³ /jour)
inf. à 50	inf. à 25
40 à 160	25 à 50
150 à 280	40 à 75
250 à 380	40 à 75
350 à 600	nappe alluviales sur socle
550 à 1100	sup. à 75
1000 à 2200	nappes dans réservoirs carbonatés
sup. à 2200	

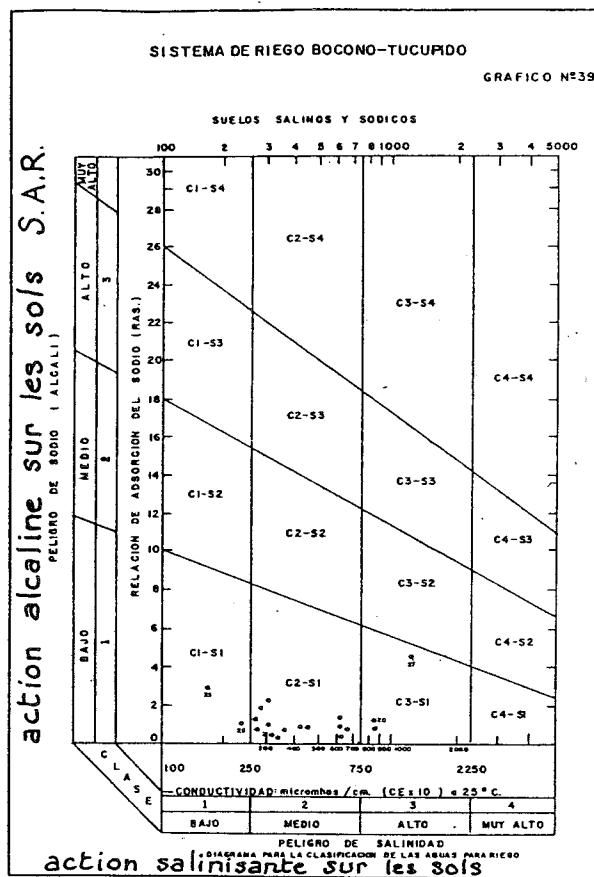


Fig. 5 - Classification de Wilcox

Ces deux données, S.A.R. et conductivité, sont reportées sur un diagramme, permettant de définir les classes d'eau, vis-à-vis de leur aptitude à l'irrigation (figure 6). Cinq classes sont ainsi déterminées: excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise (tableau III). Elles sont indiquées par des couleurs correspondantes: bleu, bleu clair, vert clair, jaune clair et orange.

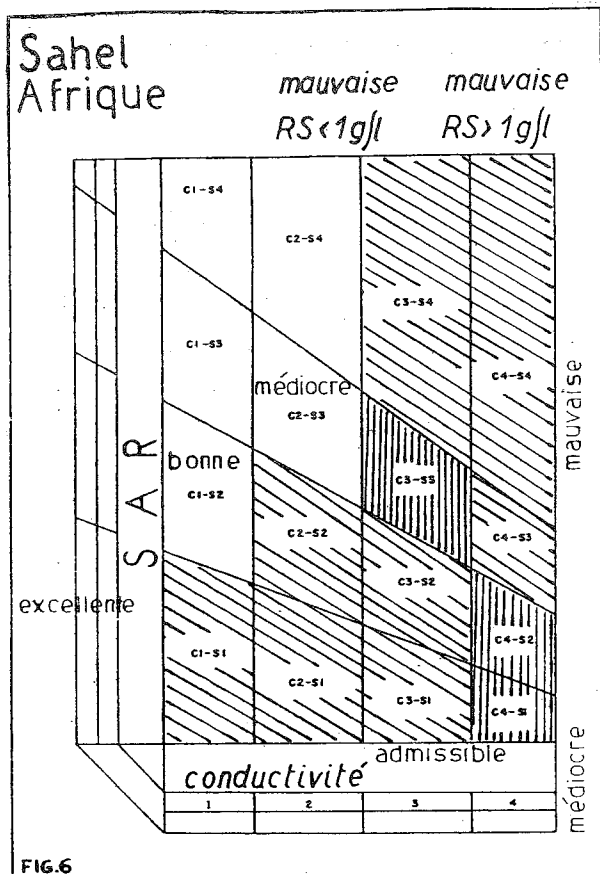


FIG.6

V. CARTE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

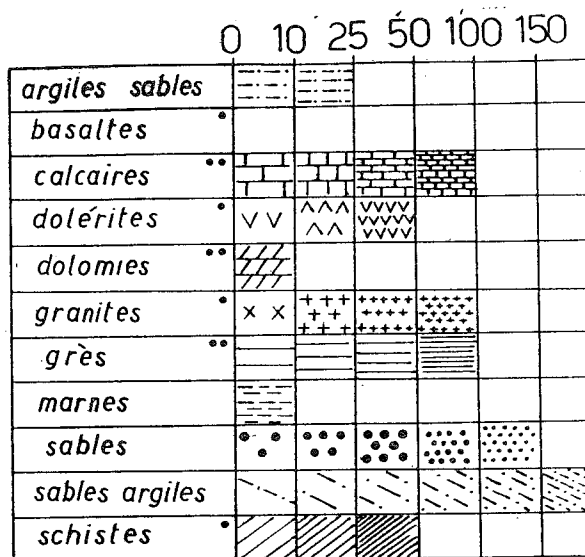
La carte des ressources en eau souterraine a pour but de mettre clairement en évidence, les caractéristiques des aquifères, leurs ressources en quantité et en qualité, leur profondeur sous le sol et les possibilités de captage. Elle représente une synthèse des trois précédentes.

La carte indique, par zones, les quantités d'eau souterraine disponibles en distinguant les ressources en eau souterraines renouvelables potentielles et les ressources en eau souterraines exploitables (figure 7). Elle donne, en outre, la lithologie des réservoirs, la profondeur sous le sol de la surface piézométrique et la qualité de l'eau souterraine (teneur totale en sels dissous).

Une description détaillée, par états africains, est donnée dans la notice explicative, très détaillée (119 pages). Les ressources sont exprimées en milliers de mètre cube par km². Cette unité permet de calculer pour une région donnée, la valeur de la ressource (tableau IV).

Degré	Qualité	Classes	
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes, dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Tabl. III - Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation



- aquifères continus
- aquifères discontinus

Tabl. IV - Ressources renouvelables (milliers m³/km²)

Etats	Superficie 10 ³ km ²	Ressource renouvelable potentielle 10 ⁹ m ³ /an	Ressources exploitables 10 ⁹ m ³ /an
Cameroun	96	5, 4	11 à 23
Burkina Faso	471	6, 2	1 à 3
Mali	807	13	80 à 135
Niger	989	4, 6	280 à 550
Sénégal		9, 3	90 à 190
Tchad	1 050	20, 6	250 à 550
Mauritanie	471	4, 3	55 à 115

Tabl. V - Ressources en eau souterraine des états de l'Afrique sahélienne

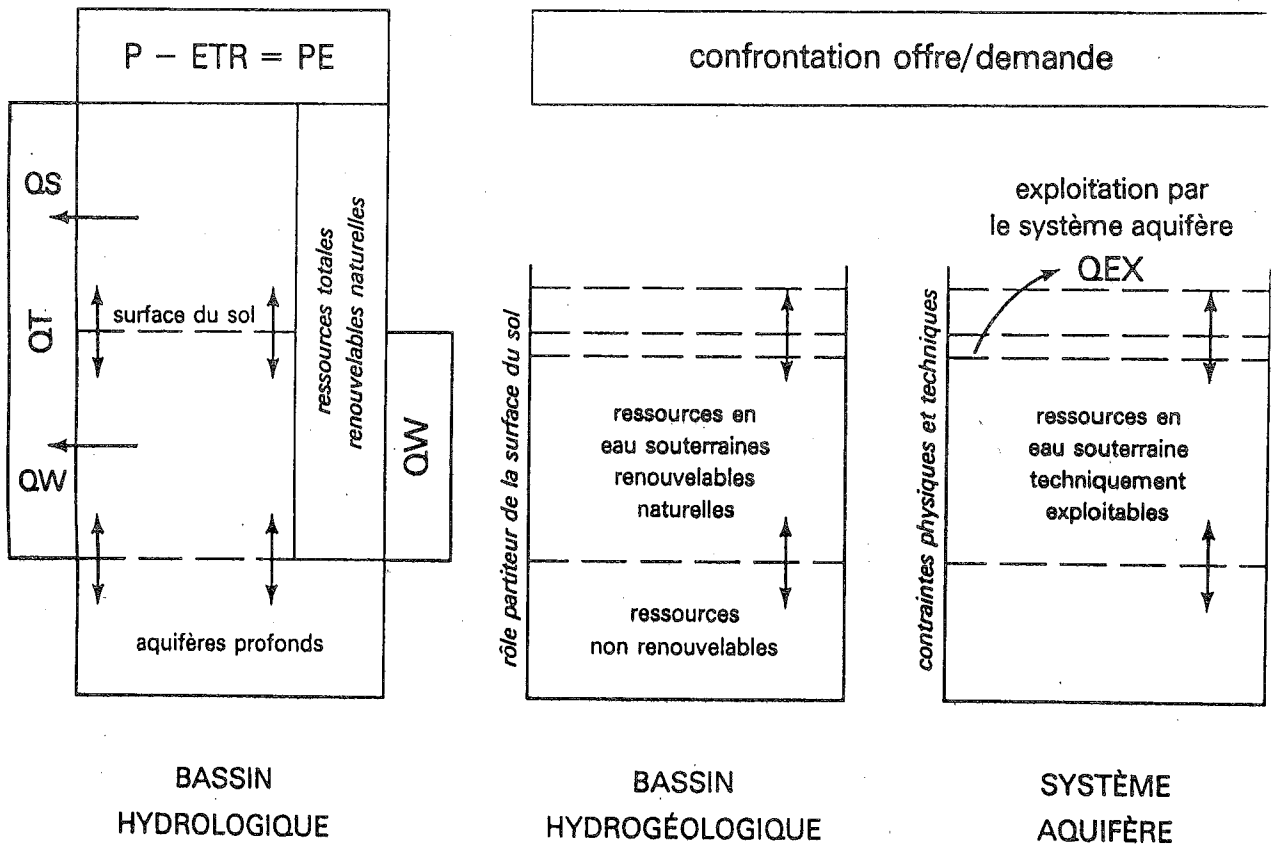


Figure 7