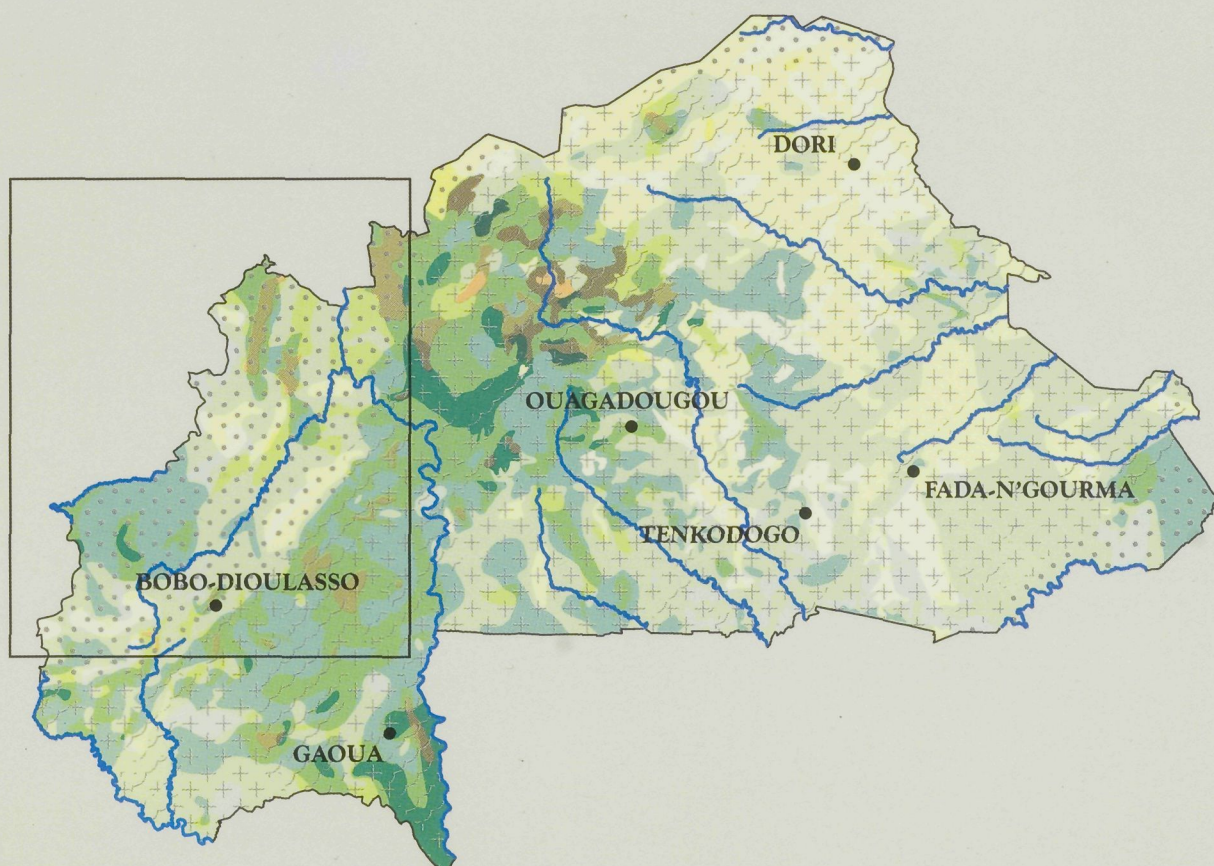


CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU BURKINA FASO

ECHELLE 1:500.000

FEUILLE BOBO-DIOULASSO



Edition:

Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH)
Ministère de l'Eau, Burkina Faso

Assistance technique:

IWACO B.V., Bureau d'Etudes en Eau et Environnement
Rotterdam, Pays-Bas

Financement:

Ministère de l'Eau, Burkina Faso

Coopération
Pays-Bas



ISRIC LIBRARY

BF 1993.04

NOTICE EXPLICATIVE

DE LA



CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU BURKINA FASO

ECHELLE 1:500.000

FEUILLE BOBO-DIOULASSO

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

BURKINA FASO

Ministère de l'Eau
Direction de l'Inventaire des
Ressources Hydrauliques (DIRH)

PAYS-BAS

Directorat Général de la Coopération
au Développement (DGIS)

IWACO

Bureau d'Etudes en Eau et Environnement



rapport 60.451/29
Ouagadougou Septembre 1993

TABLE DE MATIERES

LISTE DE TABLEAUX	2
LISTE DE FIGURES	3
1. INTRODUCTION	5
2. CONTEXTE CLIMATIQUE ET HYDROGRAPHIQUE	7
2.1. Climat	7
2.2. Hydrographie	7
3. CONTEXTE GEOLOGIQUE, MORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE	9
3.1. Géologie	9
3.2. Morphologie	11
3.3. Pédologie	13
4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES AQUIFERES	15
4.1. Ensembles hydrogéologiques	15
4.2. Systèmes aquifères	15
5. MECANISMES DE RECHARGE ET DE DECHARGE DES NAPPES	19
5.1. Introduction	19
5.2. Variation dans l'espace	19
5.3. Variations dans le temps	21
5.4. Quantification de la recharge	21
6. CONCEPTION DE LA CARTE	23
6.1. Introduction	23
6.2. Méthodologie	23
6.3. Les éléments de la carte	24
7. USAGE DE LA CARTE POUR L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	27
7.1. Introduction	27
7.2. Exploitation extensive	27
7.3. Exploitation intensive	31
REFERENCES	34
ANNEXE	36

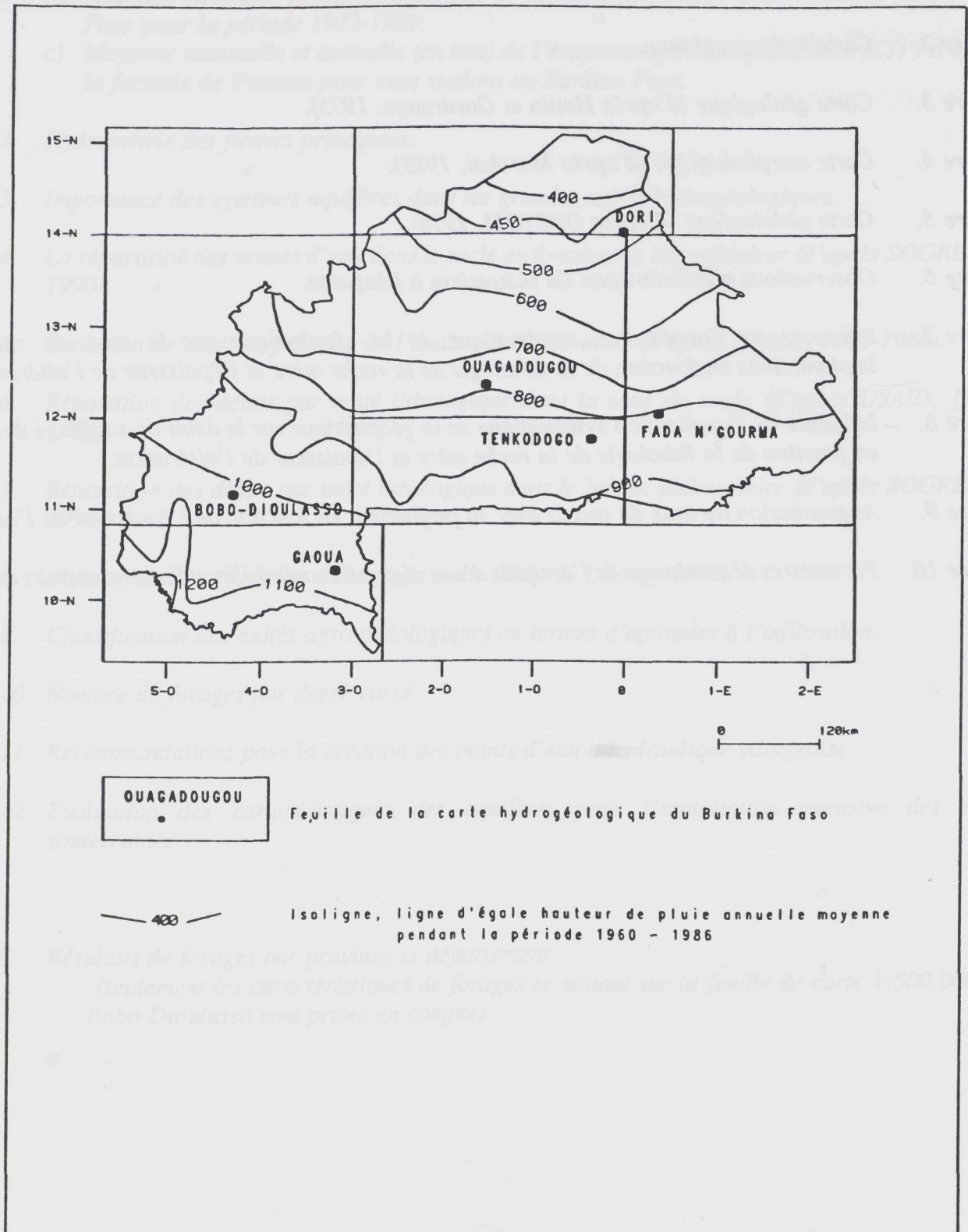
LISTE DE TABLEAUX

- Tableau 1. a) *Moyenne annuelle de la pluviométrie à Bobo-Dioulasso*
b) *Moyenne mensuelle et annuelle (en mm) de la pluviométrie pour quatre stations au Burkina Faso pour la période 1922-1989.*
c) *Moyenne mensuelle et annuelle (en mm) de l'évapotranspiration potentielle (ETP) d'après la formule de Penman pour cinq stations au Burkina Faso.*
- Tableau 2. *Hydrométrie des fleuves principaux.*
- Tableau 3. *Importance des systèmes aquifères dans les grandes unités hydrogéologiques.*
- Tableau 4. *La répartition des venues d'eau dans le socle en fonction de la profondeur (d'après SOGREA, 1990).*
- Tableau 5. *Evolution de débit en fonction de l'épaisseur d'altération (d'après USAID, 1980-1986).*
- Tableau 6. *Répartition des débits par unité lithologique dans la zone du socle (d'après USAID, 1980-1986).*
- Tableau 7. *Répartition des débits par unité lithologique dans le bassin sédimentaire (d'après SOGREA, 1990).*
- Tableau 8. *Pluie efficace en fonction de la pluie brute (d'après Lelong, 1966).*
- Tableau 9. *Classification des unités agro-pédologiques en termes d'aptitudes à l'infiltration.*
- Tableau 10. *Nombre de forages par degré carré.*
- Tableau 11. *Recommandations pour la création des points d'eau d'hydraulique villageoise.*
- Tableau 12. *Evaluation des caractéristiques des aquifères pour l'exploitation intensive des eaux souterraines.*
- ANNEXE. *Résultats de forages par province et département.*
(seulement les caractéristiques de forages se situant sur la feuille de carte 1:500.000 de Bobo-Dioulasso sont prises en compte)

LISTE DE FIGURES

- Figure 1. Isohyètes 1960-1986 et découpage en six feuilles de la carte hydrogéologique de Burkina Faso.
- Figure 2. Carte hydrographique.
- Figure 3. Carte géologique (d'après Hottin et Ouedraogo, 1975).
- Figure 4. Carte morphologique (d'après Marchal, 1983).
- Figure 5. Carte pédologique (d'après ORSTOM, 1976).
- Figure 6. Observations piézométriques du piézomètre à Dingasso.
- Figure 7. Influence de l'application systématique de la géophysique sur le taux de succès des implantations en fonction de la lithologie de la roche mère et l'épaisseur de l'altération.
- Figure 8. Influence de l'application systématique de la géophysique sur le débit de soufflage des forages en fonction de la lithologie de la roche mère et l'épaisseur de l'altération.
- Figure 9. Augmentation du taux de succès avec la profondeur en fonction de l'épaisseur de l'altération.
- Figure 10. Paramètres déterminants de l'aptitude d'une région de socle à l'installation des puits modernes.

Figure 1. Isohyètes 1960-1986 et découpage en six feuilles de la carte hydrogéologique de Burkina Faso.



1. INTRODUCTION

Le gouvernement du Burkina Faso avec l'appui financier et technique du gouvernement du Royaume des Pays-Bas a jeté les bases d'un projet d'élaboration du Plan Directeur d'Approvisionnement en Eau Potable du Burkina Faso, dénommé projet "Bilan d'Eau". Le projet est exécuté par le Ministère de l'Eau du Burkina Faso avec l'assistance technique d'IWACO, Bureau d'Etudes en Eau et Environnement néerlandais.

Dans le cadre du projet une banque de données (BEWACO) a été établie pour rassembler les données du secteur Eau du Burkina (données de forages, barrages, météorologie, etc.). La banque de données est reliée au Système d'Information Géographique ARC/INFO pour la présentation des données sous forme de cartes et pour intégrer les données avec des cartes thématiques existantes (géologie, pédologie, etc.). Ce système informatique BEWACO-S.I.G. a donné la possibilité au projet Bilan d'Eau d'établir la Carte Hydrogéologique du Burkina Faso au 1/500.000.

La carte hydrogéologique a pour but d'orienter les planificateurs et tous ceux qui interviennent dans l'alimentation en eau du monde rural. Elle offre aux utilisateurs des renseignements en vue de l'implantation de ouvrages et constitue une base solide pour l'élaboration des cartes à des échelles plus détaillées pour une gestion rationnelle de la ressource en eau.

Pour la cartographie hydrogéologique, le Burkina Faso a été découpé en six feuilles (fig. 1). Cette note explicative présente la carte hydrogéologique de Bobo-Dioulasso. La carte se situe entre les latitudes de 10°50' et 14°N et les longitudes de 5°35' et 3°O.

La notice explicative présente:

- les contextes climatique et hydrographique (chapitre 2);
- les contextes géologique, morphologique et pédologique (chapitre 3);
- les caractéristiques générales des aquifères (chapitre 4);
- les mécanismes de recharge et décharge des nappes (chapitre 5);
- la conception de la carte (chapitre 6);
- l'utilité pratique de la carte pour l'exploitation des ressources en eau souterraine (chapitre 7).

La carte et la notice explicative ont été établie conjointement par le projet Bilan d'Eau et le Service Hydrogéologique de la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH) du Ministère de l'Eau.

Tableau 1a: Moyenne annuelle de la pluviométrie à Bobo-Dioulasso.

Année	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
P (mm)	1003	1066	541	1042	948	778	972	1332	880

Année	1987	1988	1989	1990	1991
P (mm)	866	1015	831	995	1198

Tableau 1b: Moyenne mensuelle et annuelle (en mm) de la pluviométrie pour quatre stations au Burkina Faso pour la période de 1922-1989.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Boromo	0	2	10	33	89	120	199	267	174	47	8	2	951
Dori	1	1	1	6	23	63	134	178	84	16	1	0	508
Fada N'Gourma	0	1	7	25	77	125	184	248	159	30	2	1	859
Ouagadougou	0	2	6	22	78	114	186	256	143	35	2	1	845

Tableau 1c: Moyenne mensuelle et annuelle (en mm) de l'évapotranspiration potentielle (ETP) d'après la formule de Penman pour cinq stations au Burkina Faso.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
Boromo	123	128	175	183	182	161	143	134	139	150	126	115	1759
Dori	119	126	171	181	206	198	176	162	161	158	124	111	1893
Fada N'Gourma	143	150	190	197	201	176	153	139	140	156	138	133	1916
Ouagadougou	140	148	193	199	208	181	159	144	148	165	144	134	1963
Ouahigouya	125	131	171	182	198	185	164	155	155	164	127	116	1873

Tableau 2: Hydrométrie des fleuves principaux.

Fleuve	Station	Superficie du bassin versant (km ²)	Débit interannuel (m ³ /s)	Nombre de mois d'écoulement/an
Mouhoun	Samandéni	4.580	9,78	12
Mouhoun	Nwokuy	14.800	18,80	12
Grand Balé	Pa	3.510	2,71	9

2. CONTEXTE CLIMATIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

2.1. Climat

La totalité de la carte se situe dans les zones climatiques Nord- et Sud-Soudanien.

La figure 1 présente les isohyètes de la pluviométrie annuelle moyenne au Burkina Faso. La pluviométrie annuelle varie de 600 à 1100 mm. Les variations annuelles sont importantes. La pluviométrie annuelle varie considérablement d'une année à l'autre (tableau 1a et 1b). La quasi-totalité des pluies dans une année tombe pendant la période de Mai à Octobre ("hivernage"). La pluviométrie moyenne de 27 années d'observation (1960 à 1986) est de 1026 mm pour la station de Bobo-Dioulasso.

Dans le tableau 1c les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle et annuelle moyenne sont présentées. En général l'ETP est la plus haute pendant les mois d'Avril et Mai et la plus basse pendant les mois de Décembre et Janvier, à cause de la relation entre l'ETP et la température.

2.2. Hydrographie

La zone d'étude comprend (voir fig. 2):

- une partie du bassin versant de la Comoé au sud-ouest;
- le bassin versant du Mouhoun supérieur, du Sourou, du Mouhoun inférieur et du Banifing.

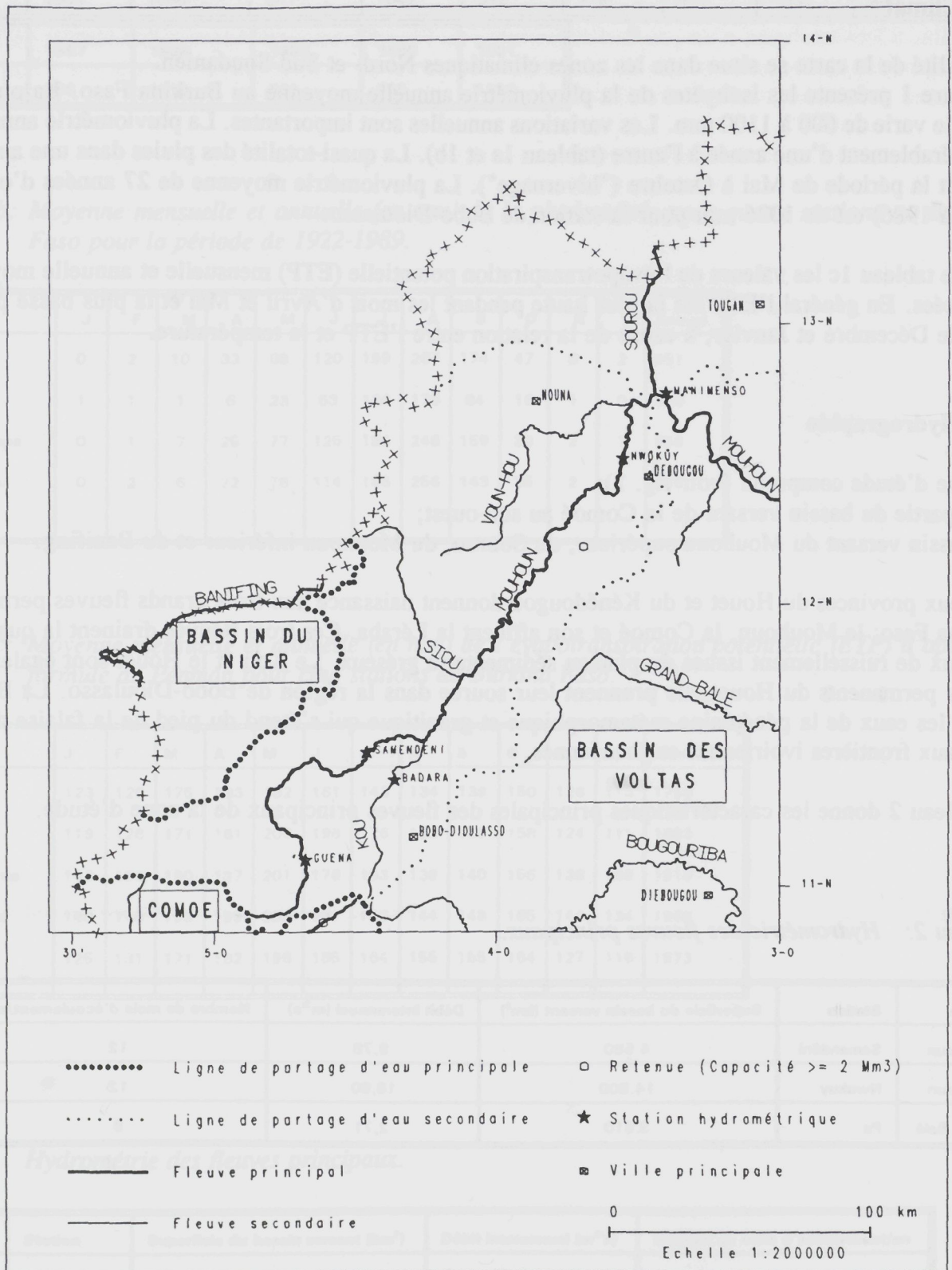
Les deux provinces du Houet et du Kéné Dougou donnent naissance aux trois grands fleuves permanents du Burkina Faso: le Mouhoun, la Comoé et son affluent la Léraba. Ces trois fleuves drainent la quasi-totalité des eaux de ruissellement issues du plateau sédimentaire gréseux. Le Kou et le Houet sont également deux fleuves permanents du Houet. Ils prennent leur source dans la région de Bobo-Dioulasso. La Bougouriba draine les eaux de la pénéplaine métamorphique et granitique qui s'étend du pied de la falaise de Banfora jusqu'aux frontières ivoiriennes et ghanéennes.

Le tableau 2 donne les caractéristiques principales des fleuves principaux de la zone d'étude.

Tableau 2: Hydrométrie des fleuves principaux.

Fleuve	Station	Superficie du bassin versant (km ²)	Débit interannuel (m ³ /s)	Nombre de mois d'écoulement/an
Mouhoun	Samandéni	4.580	9,78	12
Mouhoun	Nwokuy	14.800	18,80	12
Grand Balé	Pa	3.510	2,71	9

Figure 2. Carte hydrographique.



3. CONTEXTE GEOLOGIQUE, MORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

3.1. Géologie

Dans la zone d'étude, trois ensembles géologiques se distinguent (fig.3):

- 1) à l'est, le socle avec des formations cristallines et métamorphiques d'âge précambrien inférieur (Antébirrimien) ou moyen (Birrimien);
- 2) à l'ouest, le bassin sédimentaire avec des formations à dominance gréseuse d'âge précambrien supérieur (Précambrien A);
- 3) les formations relativement récentes (Tertiaire et Quaternaire).

1) Les formations du socle

Le Antébirrimien (Précambrien D)

Les formations du précambrien D sont essentiellement des granitoïdes: granites et migmatites, gneiss. Ces formations ont été plissées et métamorphisées au cours de l'orogénie libérienne.

Le Birrimien (Précambrien C)

Les séries birrimiennes sont constituées d'un ensemble de roches variées: roches d'origine volcanique, volcano-sédimentaire, sédiments argilo-gréseux, pyroclastiques. Elles se sont mises en place dans des sillons ou bassins allongés (20 à 50 km de largeur, 100 à 500 km d'extension).

2) La couverture sédimentaire (Précambrien A)

Elle représente la bordure sud-est de l'immense synclinale de Taoudéni dont le remplissage a débuté vers 1300 M.A. Les dépôts d'âge précambrien A, sont essentiellement gréseux à intercalations schisteuses ou plus rarement calcaro-dolomitiques. La puissance maximale dépasse 1500 m. De bas en haut on distingue:

Les grès inférieurs

Ils affleurent au sud vers la région de Banfora. De la base au sommet on observe des grès fins arkosiques ou conglomératiques ainsi que des quartzites fins blancs ou verdâtres, des grès roses à débit schisteux et enfin d'un niveau schisto-gréseux souvent très altéré.

Les grès de base

D'une puissance moyenne de 100 km, cette formation s'étend depuis l'est de Bobo-Dioulasso jusqu'à la frontière du Mali où elle atteint son maximum de puissance et d'extension à l'affleurement. Le faciès principal est un grès grossier à moyen blanc à ciment parfois kaolinique.

Les grès de Sotuba

Ils reposent sur les grès de base aux environs de Bobo avec une puissance de 300-500 m. Au niveau de Konkoba à l'extrême nord-est, ces grès par un biseutage reposent directement sur les schistes birrimien. Ce sont des grès quartzites glauconieux, fins et homogènes, plus ou moins schisteux (débit ou plaquettes). La couleur est liée à l'évolution de l'altération.

Les grès à galets de quartz

La puissance moyenne est de 300 m. Cette formation est hétérogène et comprend des grès quartzites fins ou grossiers à stratifications entrecroisées. Des intercalations schisteuses et quartzitiques ont été observées vers le sommet de ces grès qui s'étendent de la région de Bobo sous forme de plateaux cuirassés à Orodara.

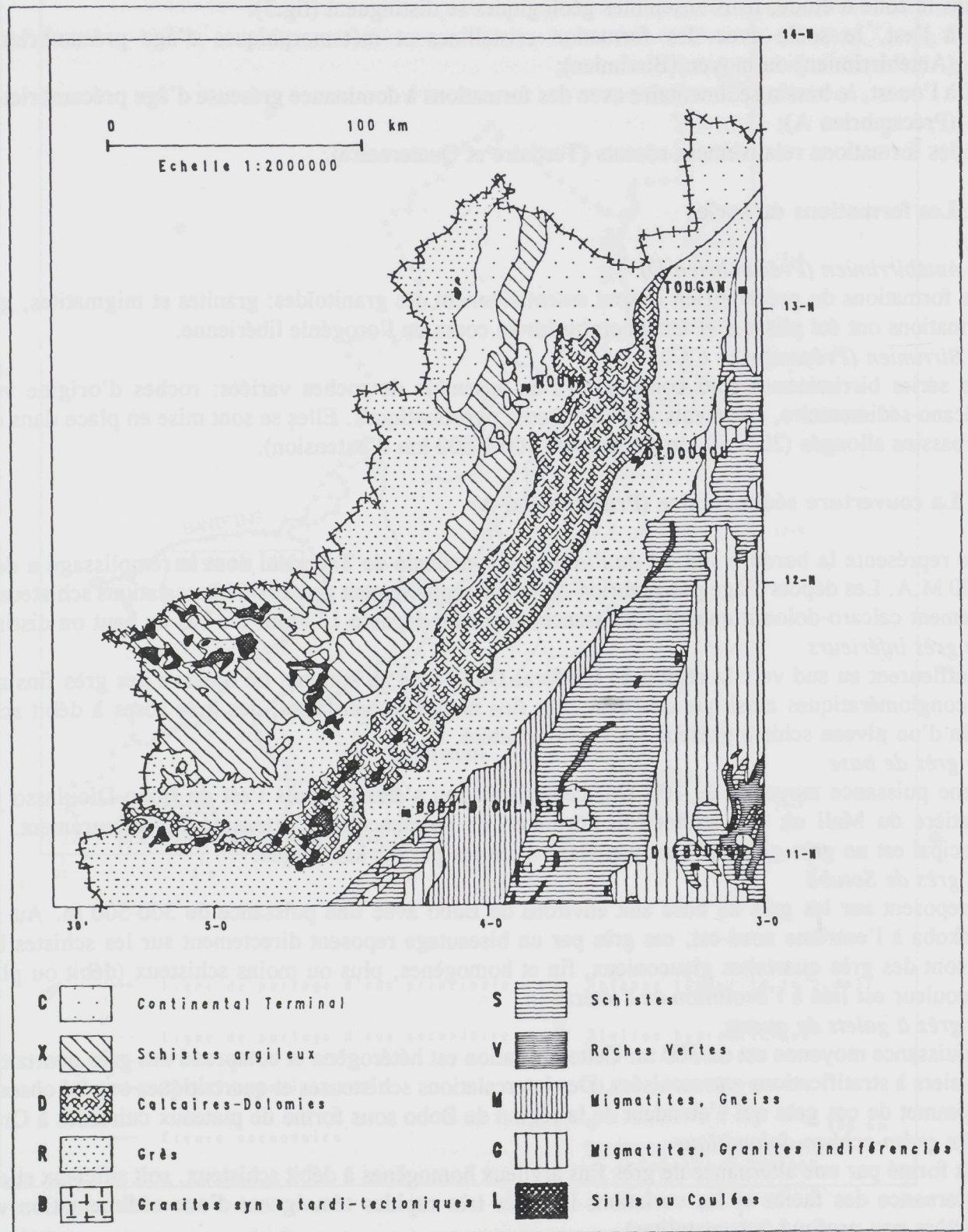
Etage gréso-schisto-dolomitique

Il est formé par une alternance de grès fins argileux homogènes à débit schisteux, soit silicieux et compacts. L'alternance des faciès et les variations latérales très rapides témoignent d'une sédimentation variable à caractère peu profond (stromatolites).

Les grès roses

Ces grès, essentiellement quartzitiques, sont caractérisés par des niveaux homogènes fins et compacts. La

Figure 3. Carte géologique (d'après Hottin et Ouedraogo, 1975).



coule
dolor
Schis
Cette
dolor
Grès
Ils se
puiss
Grès
Ils co
ils su
ou k
Les c
Ce s
N'D
schis
aux
argil

3) I

Elle
- co
- les
ar
- le
tal
né
co

3.2.

La
sud.
de l
Le s
Il o
plat
mar
Le p
Les
mo

Sur
L'u

L'u

L'u

couleur est variable: généralement rose parfois grisâtre. De rares et petites intercalations de brèches dolomitiques sont observées au bas de la formation.

Schistes de Toun

Cette formation comprend des grès schisteux, ferrugineux, des schistes argileux ainsi que des passées dolomitique. Très altérable. Présentant peu d'affleurement, elle est signalée au nord-ouest.

Grès de Koutiala

Ils sont représentés par des faciès homogènes fins et fiabiles au sommet, lités et micacés à la base. La puissance de la formation est d'environ 40 m.

Grès de Bandiagara

Ils constituent l'étage terminal des formations du précambrien A et sont représentés dans la région de Fo où ils surmontent les grès de Koutiala. Ces grès sont assez hétérogènes, conglomératiques à ciment silicieux ou kaolineux avec de nombreuses stratifications entrecroisées.

Les dolérites

Ce sont des roches massives à grains fin verdâtres à noires. Elles sont nombreuses dans la région de N'Dorola au sein des schistes de Toun et des grès de Koutiala et à l'ouest de Bobo au sein de l'étage grésoschisto-dolomitique. Elles gisent en dykes, en sils ou en laccolites, apparaissent en boules aux sommets et aux flancs des collines gréseuses les préservant ainsi contre l'érosion. L'altération des dolérites donne une argile grise verdâtre.

3) Les formations récents (Tertiaire et Quaternaire)

Elles sont représentées par:

- complexe fluvio-lacustre du *Continental Terminal* (Tertiaire);
- les *alluvions* de fond des vallées peu épaisses. Ce sont généralement des graviers recouverts de limons argilo-sableux (Quaternaire);
- le *recouvrement latéritique*: est un caractère dominant de paysages pénéplainés, mollement ondulés ou tabulaires. De part sa fissuration et sa porosité les carapaces latéritiques revêtent une importance non négligeable du point de vue hydrogéologique. Leur présence en zone de socle peut indiquer une forte couche d'altération avec des fractures (Quaternaire).

3.2. Morphologie

La zone d'étude présente une morphologie extrêmement accidentée surtout dans sa partie centrale, nord et sud. Le socle pénéplaine et le plateau gréseux sont les deux ensembles morpho-géologiques caractéristiques de la zone.

Le socle pénéplané

Il occupe la partie Est de la zone d'étude et s'étend de Koro à Houndé (80 km). Il est marqué par de bas plateaux latéritiques, cuirassés ou mollement vallonnés et de bas-fonds à réseau hydrographique à peine marqué. L'altitude varie entre 250 et 300 m.

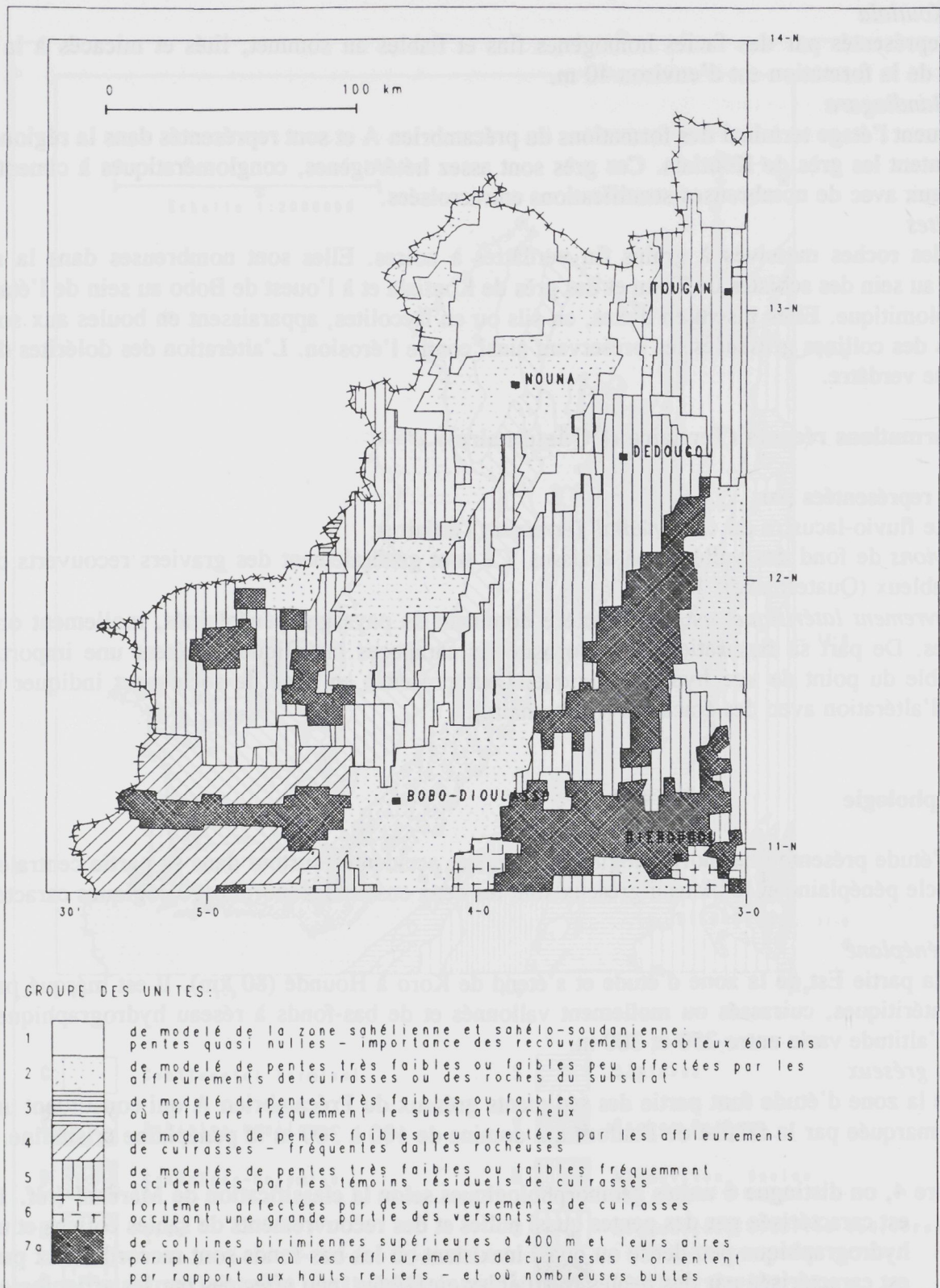
Le plateau gréseux

Les 2/3 de la zone d'étude font partie des sédiments gréseux du Précambrien A qui constituent un plateau monotone marquée par la falaise de Banfora qui domine de 100 à 300 m la pénéplaine cristalline.

Sur la figure 4, on distingue 6 unités géomorphologiques selon la classification de Marchal (réf. 19):

- L'unité 1 est caractérisée par des pentes quasi nulles et des recouvrements de sables éoliens et un réseau hydrographique peu dense ou quasi inexistant où les bas-fonds sont raccordés aux pentes.
- L'unité 2 est caractérisée par des pentes très faibles ou faibles, peu affectées par les affleurements et un réseau hydrographique peu dense où les bas-fonds sont raccordés aux basses pentes.
- L'unité 4 est caractérisée par des pentes très faibles ou faibles et des affleurements fréquents du substratum rocheux. Le réseau hydrographique est moyennement dense et les bas-fonds sont

Figure 4. Carte morphologique (d'après Marchal, 1983).



- étroits et faiblement incisés.
- L'unité 5 est caractérisée par des pentes faibles fréquentes tables cuirassées aux sommets d'interlignes, réseau hydrographique moyennement dense avec les bas-fonds étroits et faiblement incisés.
- L'unité 6 est caractérisée par des pentes composites, faibles et moyennes, les altitudes pouvant dépasser 350 m, réseau hydrographique dense ou peu dense, fortement ramifié, bas-fonds encaissés, étroits, mais vallées principales larges; des larges tables cuirassées couronnent fréquemment les sommets d'interfluves.
- L'unité 7 est caractérisée par le haut relief (avoisinant 400 m) des collines birrimiennes où les affleurements de cuirasses s'orientent par rapport aux hauts reliefs.

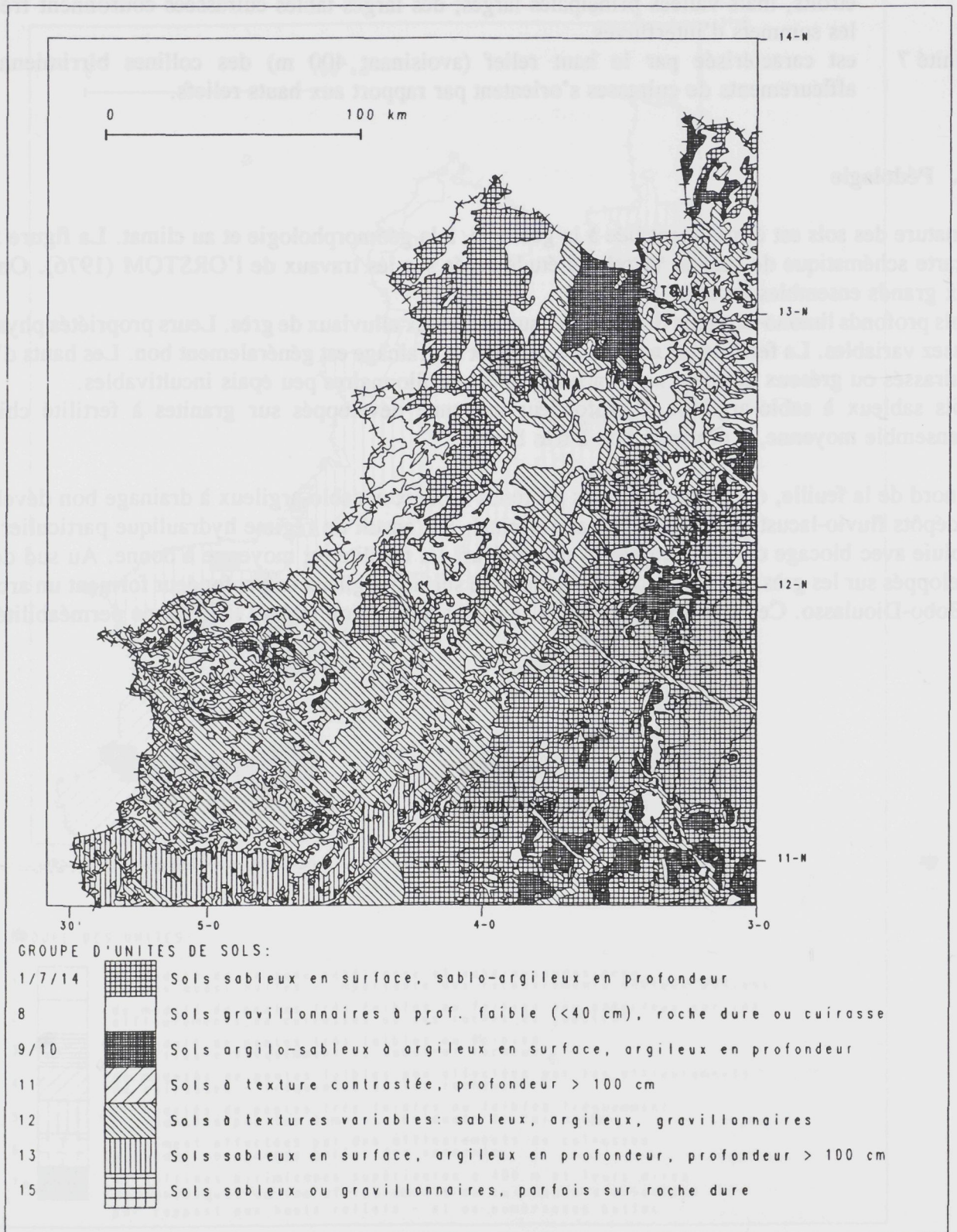
3.3. Pédologie

La nature des sols est étroitement liée à la géologie, à la géomorphologie et au climat. La figure 5 présente la carte schématique de sols de la zone d'étude basée sur les travaux de l'ORSTOM (1976). On distingue deux grands ensembles de sols:

- sols profonds limono-argileux développés sur matériaux alluviaux de grès. Leurs propriétés physiques sont assez variables. La fertilité est moyenne à faible et le drainage est généralement bon. Les hauts d'interfluve cuirassés ou gréseux donnent naissance aux sols gravillonnaires peu épais incultivables.
- sols sableux à sablo-argileux à profondeur moyenne développés sur granites à fertilité chimique de l'ensemble moyenne, à drainage bon à très bon.

Au nord de la feuille, on observe les sols profonds sableux et sablo-argileux à drainage bon développés sur les dépôts fluvio-lacustres du Continental Terminal. Il s'ensuit un régime hydraulique particulier en saison de pluie avec blocage de l'infiltration en profondeur. La fertilité est moyenne à bonne. Au sud de la carte, développés sur les grès, les sols profonds sableux en surface argileux en profondeur forment un arc de cercle de Bobo-Dioulasso. Ces sols sont pauvres et sensibles à l'érosion malgré leur bonne perméabilité.

Figure 5. Carte pédologique (d'après ORSTOM, 1976).



4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES AQUIFERES

4.1. Ensembles hydrogéologiques

La zone d'étude est constituée de deux grands ensembles hydrogéologiques définis à la base de données lithologiques, géomorphologiques, tectoniques et hydrogéologiques:

Un ensemble de roches du socle composé de roches d'âge précambrien moyen: granites, migmatites, métavolcanites, volcano-sédimentaires et métasédiments argileux au argilo-gréseux. A l'intérieur de l'ensemble, on distingue deux sous-ensembles: granito-gneissique et schisto-gréseux. La seconde se caractérise par une forte épaisseur d'altération.

Un ensemble sédimentaire représenté par trois grands sous-ensembles:

- gréseux et grossier en bordure du bassin sédimentaire d'âge Précambrien inférieur;
- argilo-schisto-gréseux d'âge Précambrien inférieur (comportant des horizons de calcaires, silixites et dolomites) au centre du bassin;
- complexe fluvio-lacustre du Continental Terminal d'âge Néogène au nord du bassin.

Les formations Quaternaires sont présentées par les latérites et les alluvions argilo-sablo-limoneux de bas-fonds.

4.2. Systèmes aquifères

On distingue sur l'ensemble de la carte:

- le système aquifère de la zone du socle;
- le système aquifère de la zone sédimentaire.

Il existe dans ces deux systèmes aquifères 3 types d'aquifères classés en fonction de leur porosité:

- l'aquifère discontinu; la ressource est localisée et circule uniquement dans les fractures de roches massives du socle, dolérites, calcaires, silixites, grès ou dans les roches plastiques, argilifiées;
- l'aquifère semi-continu; la ressource est localisée dans le milieu poreux et circule dans les fractures et les joints de liage de grès, roches carbonatées, cuirasses, schistes;
- l'aquifère continu: la ressource est localisée dans le milieu poreux ou intensivement fissuré, associé à l'altération: altérites sur socle, alluvions, sables, grès friables.

Un aperçu de l'importance relatif des différents systèmes aquifères par ensemble hydrogéologique, est donné dans le tableau 3.

a) Le système aquifère de la zone du socle

On distingue trois systèmes aquifères superposés:

- les aquifères du milieu fissuré;
- les aquifères de la zone altérée;
- les aquifères des latérites.

Généralement les aquifères des altérites sont en contact hydraulique avec les aquifères des roches fracturées sous-jacentes; ils forment le système bi-couche avec la zone altérée, surtout capacitive et le milieu fissuré surtout conducteur. La zone altérée peut être décrite comme un milieu homogène à porosité d'interstices. Le milieu fissuré sous-jacent par contre est hétérogène; ses caractéristiques hydrauliques sont plutôt déterminées par la densité et la géométrie des fissures qui se ferment progressivement avec la profondeur.

Tableau 3: Importance des systèmes aquifères dans les grandes unités hydrogéologiques.

Grandes unités hydrogéologiques	Système aquifères			
	Milieu fissuré	Milieu karstifié	Zone altérée	Latérites
<i>Socle:</i>				
Granito-gneissique	A	C	A	A
Volcano-sédimentaire	A	B	A	A
<i>Sédimentaire:</i>				
Gréseuse	A	C	A	C
Schisteuse	A	B	A	B
Calcaro-dolomitique	A	A	A	C

A = importance grande
 B = importance moyenne
 C = importance faible

Tableau 4: La répartition des venues d'eau dans le socle en fonction de la profondeur (d'après SOGREAH, 1990).

Profondeur (m)	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	≥ 80	TOTAL
<i>Roches</i>									
Schistes	-	4	5	7	3	4	-	1	24
Laves	-	6	5	4	3	1	-	-	19
Granitoïdes	1	13	20	13	4	0	1	0	52
Arènes	-	1	3	1	0	0	0	0	5
TOTAL	1	24	33	25	10	5	1	1	100

Tableau 5: Evolution du débit en fonction de l'épaisseur d'altération (d'après USAID, 1980-1986).

Epaisseur d'altération (m)	< 10	10 - 20	20 - 45	> 45
nombre de forages	30	13	17	1
débit (l/h)	2,6	2,8	2,7	5,1

La continuité hydraulique des systèmes hydrogéologiques n'est pas encore bien claire. On remarque que:

- la zone altérée à porosité d'interstices peut assurer la continuité hydraulique;
- en milieu fissuré, la continuité dépend de l'interconnexion des fissures.

Le manteau altéré d'une épaisseur de 10 à > 50 m couvre le socle et contient l'aquifère continu qui se substitue à l'aquifère discontinu au niveau de la zone fissurée d'une épaisseur maximale égale à 40 m (la profondeur des fractures varie de 10 à 80 m); voir tableau 4. Les résultats de nombreux forages montrent que l'épaisseur d'altération apparaît comme le facteur de succès et l'épaisseur d'altération saturée comme le garant de pérennité de l'ouvrage (voir tableau 5). Dans sa quasi-totalité, le socle de la zone est couvert de 10 à 30 mètres d'altération et les débits varient de 0,5 à 5 m³/h en moyenne (voir tableau 6). Le débit exploitable par mètre de rabattement est inférieur à 0,2 m³/h dans les zones basses et de 0,2 à 0,5 m³/h sur les plateaux. Les transmissivités sont comprises entre 1,9 et 5,5·10⁻⁴ m²/s. La profondeur du niveau statique varie entre 10 et 25 mètres, presque sur toute la zone du socle.

Le tableau 4 montre que 83% des venues d'eau s'observent avant 50 m de profondeur, 93 % avant 60 m et 98% avant 70 m. La profondeur optimale des forages dans le socle pour les roches cristallines est inférieur à 45 m; pour les schistes et roches vertes, elle varie de 45 à 65 m.

b) Le système aquifère de la zone sédimentaire

A part la formation du Continental Terminal on distingue en milieu sédimentaire la même superposition des niveaux aquifères que dans le milieu du socle:

- la roche dure;
- la zone altérée;
- les latérites;

La roche dure est représentée par les grès, calcaires, silixites et schistes traversés par des réseaux de failles. Les grès sont compartimentés par les réseaux de failles de direction SO-NE étanches (colmatées) et de direction NO-SE ouvertes. Sur l'ensemble gréseux du bassin sédimentaire, les grès à galets de quartz (grès de Bobo) et les grès de base s'avèrent de très bons aquifères; la transmissivité est comprise entre 1,4 et 2,8 10⁻³ m²/s et les débits spécifiques voisins à 1 m³/h/m. L'épaisseur des grès aquifères est estimée à une centaine de mètres. La profondeur de forages varie de 65 à 85 m pour la partie centrale du bassin et de 85 à plus de 100 m dans sa partie périphérique Est et Sud - grès de piémont de Bobo-Dioulasso. Dans les grès, l'épaisseur d'altération ne joue pas le rôle principal en ce qui concerne la productivité des forages. Sur 72 forages positifs exécutés par les campagnes 1980-1984, 30% ont une altération inférieure à 10 m. Généralement, le débit augmente avec la profondeur (les débits très importants peuvent surgir à 100 m et plus).

Les calcaires et les silixites des séries gréso-schisto-dolomitique et schistes de Toun forment un horizon continu et sont considérés comme un gigantesque drain dans les formations encaissantes. Son épaisseur est estimée entre 30 et 40 m. La profondeur moyenne de forages est de 65 à 85 m, les débits spécifiques sont supérieurs à 1 m³/h/m. La répartition des débits par les unités lithologiques dans le bassin sédimentaire est indiquée dans le tableau 7 (Réf. 21).

Le complexe fluvio-lacustre du Continental Terminal forme une nappe très régulière de grande envergure située au nord du bassin sédimentaire. Son épaisseur varie de 10 à 30 m. Dans sa partie burkinabè la nappe est exploitée par des puits.

Les aquifères des latérites ont une importance local et souvent temporaire (aquifères perchés).

OGREAH,

86).

45

1

TOTAL
24
19
52
5
100

Tableau 6: Répartition des débits par unité lithologique dans la zone du socle (d'après USAID, 1980-1986).

Unité lithologique:	Débit en m ³ /h					Total
	< 0,7	0,7 - 2	2 - 5	5 - 10	≥ 10	
Schiste	4	18	13	4	-	39
Lave	3	12	9	2	-	26
Granitoïde	15	31	23	3	2	74
Arène	3	9	7	2	-	21
Non décrit	11	18	5	2	-	36

Tableau 7: Répartition des débits par unité lithologique dans le bassin sédimentaire (d'après SOGREAH, 1990).

Unité lithologique:	Débit (m ³ /h)					Total
	< 0,7	0,7 - 2	2 - 5	5 - 10	≥ 10	
Dolérite	7	8	8	5	2	30
Silexite	-	6	21	19	5	51
Schiste/Carbonates	23	13	9	4	1	50
Grès-sable	29	47	94	64	29	263
Conglomérat	-	2	3	2	-	7
Calcaro/Dolomitique	3	7	8	5	2	25
Non décrit	8	4	9	4	3	28

5. MECANISMES DE RECHARGE ET DE DECHARGE DES NAPPES

5.1. Introduction

La recharge représente la ressource en eau souterraine renouvelable. Plusieurs approches d'étude et de calcul de la recharge sont connues.

Trois type de recharge ont été distingués:

- *alimentation directe par infiltration homogène*. Les eaux de pluie s'infiltrent directement dans le sol et progressent lentement dans le sous-sol sous forme de front d'humidité (recharge diffuse);
- *alimentation directe par voie préférentielle*. Les eaux de pluie s'infiltrent directement et percolent rapidement vers la nappe par voies préférentielles: canicules, zone fracturées, filons de quartz (recharge par voies préférentielles);
- *alimentation directe*. Alimentation par les eaux de ruissellement se concentrant dans et autour des dépressions topographiques locales (bas-fonds ou marigots) et régionales (vallées alluviales). Cette alimentation de la nappe peut se faire par front d'humidité ou par voies préférentielles.

La décharge des nappes peut se faire par:

- exploitation par l'homme;
- écoulement souterrains latéraux;
- évapotranspiration.

L'importance de ces différents mécanismes de recharge et de décharge varie à la fois dans le temps et dans l'espace.

5.2. Variation dans l'espace

Recharge

L'étude de quatre bassins versants expérimentaux (réf. 2) montre que dans la *zone du socle*, l'eau infiltrée parvient à la nappe essentiellement par voies préférentielles et la recharge indirecte prédomine. La recharge la plus élevée est au niveau des bas-fonds et leurs environs immédiats. Dans la *zone sédimentaire* (bassin versant de Dingasso, 125 km nord-ouest de Bobo-Dioulasso) on se base sur la réaction retardée de l'hydrochimie et de la piézométrie de la nappe pour conclure que la recharge est directe diffusée. Mais il n'est pas exclu l'existence des zones préférentielles de recharge de la nappe. On ne dispose pas d'une couverture suffisante de mesure sur le bassin pour aboutir aux conclusions définitives sur le mécanisme de la recharge.

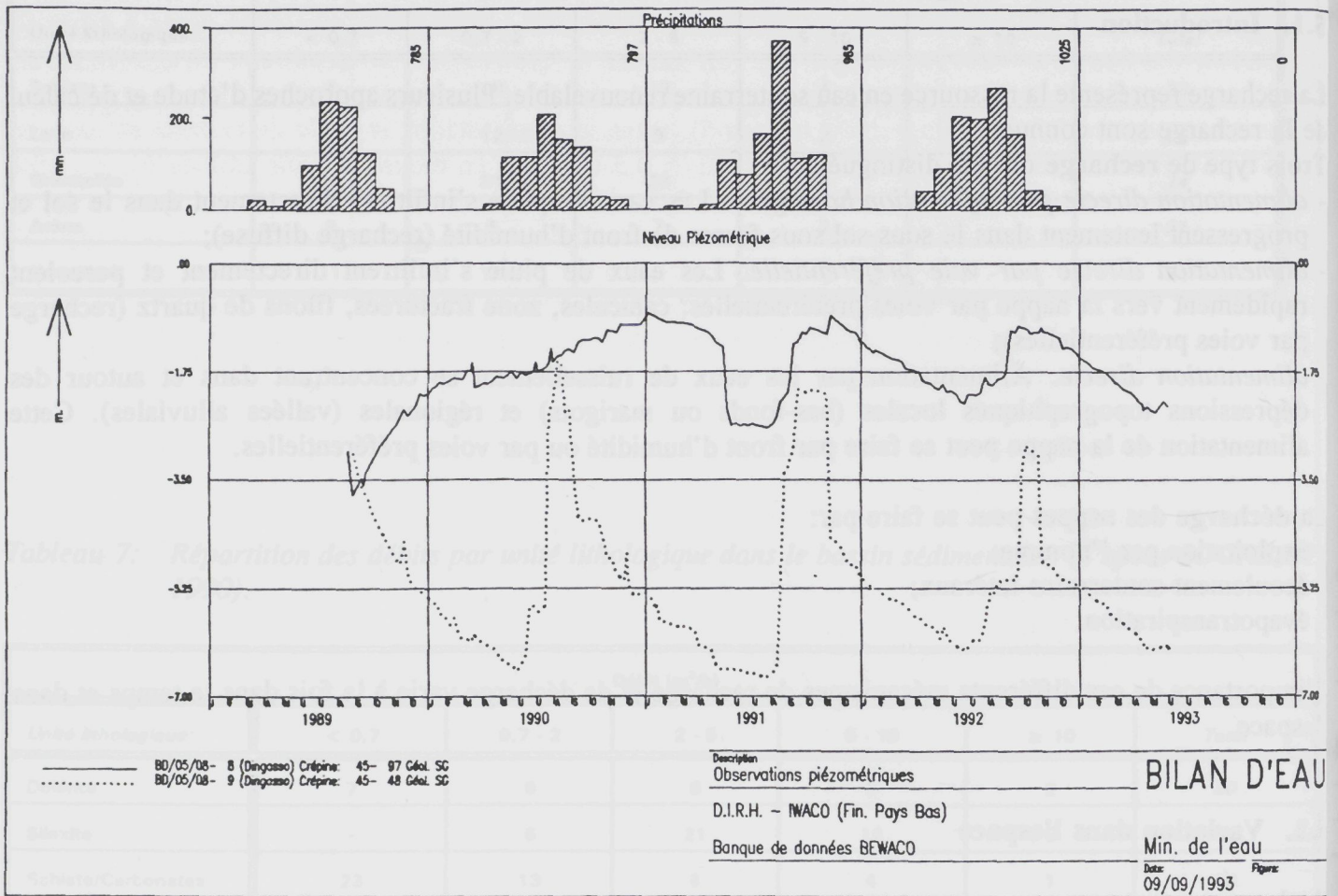
Décharge

Dans la *zone du socle*, la décharge est due dans sa plus grande partie aux écoulements latéraux souterrains par voies préférentielles et à l'évapotranspiration. L'expérience des études précédentes montre que dans le socle, la recharge et la décharge s'effectuent par les mêmes voies.

Dans la *zone sédimentaire*, la décharge s'effectue par l'écoulement latéral, l'évapotranspiration et la décharge directe dans les cours d'eau permanents ou par les nombreuses sources. L'exploitation de la ressource par l'homme s'effectue pour les besoins de grandes industries, agglomérations et périmètres irrigués, mais à l'heure actuelle, sa contribution à la décharge est difficilement appréciable.

Il est à supposer que la décharge s'effectue par les voies préférentielles en mode directe diffusée.

Figure 6. Observations piézométriques du piézomètre à Dingasso.



5.3. Variations dans le temps

La réponse de la nappe dans les piézomètres est la fonction de plusieurs facteurs à savoir:

- pluviosité saisonnière;
- tendance pluvieuse à long terme;
- variations cycliques de pluviosité;
- exploitation des eaux souterraines par l'homme;
- évolution globale d'environnement causée par l'homme.

Quelques uns de ces facteurs sont étroitement liés sur la feuille de Bobo.

Plusieurs études ont établi la relation étroite entre la diminution du couvert herbacé (par l'extension des zones de cultivées) et la diminution de la perméabilité des sols d'où la diminution de la ressource renouvelable des eaux souterraines.

Les mesures de niveau statique des piézomètres à Dingasso (fig. 6) montrent le rapport direct entre les précipitations et la fluctuation du niveau statique, mais à l'heure actuelle il n'est pas possible de se prononcer sur la tendance de baisse ou de remontée de la nappe.

5.4. Quantification de la recharge

Une première estimation de l'ordre de grandeur de recharge des nappes a été faite par le Projet Bilan d'Eau sur le bassin versant de Dingasso (DEP/IWACO, 1990), situé presque essentiellement sur les schistes de Toun. Le calcul a été fait à partir du bilan global des eaux qui se présente comme suit:

$$P = R + ETR + Re + dS; \text{ où}$$

- P = précipitation;
- R = ruissellement;
- ETR = évapotranspiration réelle;
- Re = recharge des nappes;
- dS = changement de stockage des eaux.

Compte tenu de la période d'observation très courte est donnée. Cette estimation est égale à 166 mm à titre indicatif.

Une autre estimation de la ressource renouvelable a été faite par SOGREAH (réf. 22) pour les provinces du Houet et du Kéné Dougou. Elle est basée sur la méthode de "pluie efficace" en fonction de la pluie brute (voir tableau 8). La difficulté de cette méthode est le choix de la valeur de la pluie brute. La moyenne des relevés pluviométriques sur la période la plus longue possible ne traduit ni la tendance à long terme, ni les variations cycliques de la pluviométrie. La tendance à long terme est déterminée en traçant les enveloppes des maxima et des minima. Ces enveloppes sont des parallèles dont la pente est pratiquement une constante pour toutes les stations climatiques et un indicatif de la tendance à long terme.

Tableau 8: Pluie efficace en fonction de la pluie brute (d'après Lelong, 1966).

Pluviométrie (mm/an)	800	900	1000	1100	1200	1300
Alimentation des aquifères %	7	12	17	21	24	27
Alimentation (mm)	56	108	170	231	288	351

6. CONCEPTION DE LA CARTE

6.1. Introduction

La carte hydrogéologique, faite à partir de données de 1.587 forages (positifs et négatifs), à pour but d'orienter les planificateurs et tous ceux qui interviennent dans l'alimentation en eau du monde rural. Elle offre aux utilisateurs des renseignements en vue de l'implantation de ouvrages et constitue une base solide pour l'élaboration des cartes à des échelles plus détaillées pour une gestion rationnelle de la ressource en eau.

Elle fournit les paramètres hydrogéologiques suivants:

- lithologie;
- épaisseur d'altération;
- épaisseur d'altération saturée;
- profondeur du niveau statique;
- résultats de forages existants;
- zones favorables à l'infiltration;
- réseau hydrogéographique et position des barrages.

Ces paramètres aident à aboutir aux conclusions générales sur:

- la productivité des aquifères;
- les réserves en eau souterraine;
- la recharge des nappes.

En plus, la carte fournit des renseignements utiles à l'exécution de forages:

- le taux de succès;
- la profondeur à forer;
- la nature des terrains à traverser.

6.2. Méthodologie

Deux types de données sont à la base de la carte:

- les données disponibles sous forme de cartes thématiques (géologie, pédologie, etc). Ces cartes ont souvent des échelles différentes;
- les données ponctuelles stockées dans la banque de données BEWACO du projet (données de forages, barrages, etc).

L'intégration et le traitement des données ont été facilités par le Système d'Information Géographique (SIG) du Projet, basé sur le logiciel ARC/INFO.

La carte au 1/500.000 consiste en plusieurs couches superposées:

- la géologie;
- l'épaisseur d'altération et l'épaisseur d'altération saturée;
- le réseau hydrographique;
- les zones favorables à l'infiltration des eaux;
- les lignes iso-piézométriques;
- les routes et villes;
- les forages et piézomètres.

Un profil donne une impression de la variation hydrogéologique verticale.

En plus deux cartes en plus petite échelle sont présentées:

- carte d'isohyètes (1/2.500.000);
- carte de situation (1/6.800.000).

Ci-dessous, les différents éléments mentionnés sont traités.

6.3. Les éléments de la carte

a) Géologie

La nature des roches est le facteur principal déterminant les caractéristiques hydrauliques des aquifères. Les différentes unités géologiques distinguées par Hottin et Ouédraogo (1976) ont été regroupées en 9 unités qui sont plus ou moins homogènes quant à leurs caractéristiques aquifères. Cette schématisation se base sur les résultats des campagnes d'hydraulique villageoise décrits dans les rapports fin de travaux. Ces rapports de synthèse (BURGEAP, FORAKY, ONPF etc.) évaluent les résultats par unité géologique principale en appliquant des méthodes statistiques.

Ces 10 unités sont présentées ci-dessous suivant un ordre *croissant* des meilleures conditions hydrogéologiques:

1. granites syn- à tardi-tectoniques (B);
2. schistes argileux (X);
3. schistes (S);
4. roches vertes (V);
5. sills ou coulées (L);
6. migmatites, gneiss (M);
7. migmatites, granites indifférenciés (G);
8. calcaires, dolomites (D);
9. grès (R);
10. Continental Terminal (C);

b) Epaisseur de l'altération (saturée)

Les altérations présentent une faible conductivité hydraulique, mais une capacité importante par leur porosité et leur extension dans l'espace. Elles jouent le rôle *du réservoir*. L'épaisseur de la zone altérée saturée détermine donc pour la plus grande partie, les réserves en eau du système aquifère.

L'épaisseur de l'altération totale donne des renseignements utiles relatifs à l'implantation et à la construction des forages. Parce que les deux paramètres sont étroitement liés (via la position du niveau de la nappe), les unités sont conçues suivant une matrice (voir carte). Pour chaque unité, les épaisseurs d'altération totale et saturée peuvent être déduites de la matrice. Pour une bonne compréhension de cet élément de la carte on doit remarquer que:

- *l'épaisseur d'altération présente une hétérogénéité considérable*: parfois, les variations à l'échelle locale dépassent celles à échelle régionale;
- comme la cartographie est surtout basée sur les données des forages et que les forages sont à priori installés sur les sites favorables (avec une altération saturée de préférence épaisse), *la carte ne décrit pas toujours les conditions réelles*. Elle décrit plutôt la tendance des éléments cartographiés;
- dans la zone sédimentaire *l'épaisseur d'altération ne joue toujours pas le rôle indicatif de réussite de l'ouvrage*. Aussi, les manifestations locales de l'artésianisme peuvent perturber l'appréciation de l'épaisseur d'altération saturée.

c) Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est identique à celui de la carte au 1/500.000 de l'IGB. Les grands plans d'eau

et les sites de barrages et retenues d'eau égaux et supérieurs à 5 millions m³ y sont indiqués. Pour cela, on s'est basé sur l'inventaire de l'ONBAH, 1987 les données du projet BKF/86/001, (Triboulet, 1988) et du Projet Bilan d'Eau (DIRH/IWACO, 1991).

d) Zones favorables à l'infiltration des eaux

Les zones favorables à l'infiltration des eaux ont été délimitées sur la base de la carte des ressources en sols de l'ORSTOM (1976). Les unités agro-pédologiques distinguées sur cette carte ont été classifiées qualitativement en termes d'aptitude à l'infiltration des eaux de la façon suivante montrée dans le tableau 9.

Tableau 9: Classification des unités agro-pédologiques en termes d'aptitudes à l'infiltration.

Aptitude à l'infiltration	Unité agro-pédologique
faible	1 - 7 - 8,8d,8f - 10b - 11
bonne	1d - 12,12d,12f,12k - 14e,14f,14i,14l - 15c
très bonne	9 - 12e,12g,12j - 13a - 14,14a,14j,14k,14m,14n

On a considéré comme Albergel (1988) que la perméabilité d'un sol apparaît être une grandeur plus liée à l'écologie d'un milieu qu'à sa nature physique au sens strict. Pour l'appréciation, il a été pris en compte des différentes unités agro-pédologiques, non seulement la nature physique des unités mais aussi leur position géomorphologique, notamment pour les unités qui se situent dans la partie nord.

e) Lignes iso-piézométriques

Comme le niveau piézométrique montre des variations saisonnières et interannuelles, la position des lignes iso-piézométriques est aussi variable. En plus, le niveau statique peut varier considérablement à une échelle locale. Sur la base de données disponibles (pour la vaste majorité des observations ponctuelles), les lignes de 10 et de 25 m sous-sol ont été indiquées. Ces lignes s'appliquent à la nappe profonde captée par les forages hydraulique village et ne sont qu'approximatives.

f) Routes, villes

Cet élément de la carte sert à donner un cadre de référence pour les utilisateurs. Il se base sur les données cartographiques de l'IGB.

g) Forages et piézomètres

Les forages ont été mis sur la carte pour donner une idée de la répartition des données disponibles.

Les forages ont été classés suivant les débits de fin foration. Quatre classes ont été distinguées:

- débit inférieur à 1 m³/h;
- débit entre 1 et 5 m³/h;
- débit entre 5 et 10 m³/h;
- débit supérieur à 10 m³/h.

Les forages équipés en piézomètres sont aussi distingués. Dans certains cas, la distinction de forages s'avère impossible du fait de leur superposition due à l'échelle de la carte.

Il faut remarquer que le débit d'un forage n'indique pas toujours la potentialité réelle de l'ouvrage: souvent la foration est arrêtée quand un certain débit cible est atteint, parfois les venues d'eau subissent l'effet de la colmatage lors de travaux de foration.

La répartition de nombre de forages en fonction de leur débit par degré carré est donnée dans le tableau 10.

Tableau 10: Nombre de forages par degré carré.

Feuille de carte	Total	Négatif	Nombre avec débit $\leq 1 \text{ m}^3/\text{h}$	Nombre avec débit 1 - 5 m^3/h	Nombre avec débit 5 - 10 m^3/h	Nombre avec débit $\geq 10 \text{ m}^3/\text{h}$
Banfora	370	9	78	206	46	31
Bobo-Dioulasso	308	2	29	176	73	28
Dédougou	288	5	22	124	54	83
Gaoua	147	4	29	97	10	7
Houde	274	2	33	167	46	26
Nielle	249	6	37	141	43	22
San	21	1	3	7	5	5
Sikasso	60	1	6	33	12	8
Tougan	110	1	8	52	26	23
Yorosso	88		9	30	18	31
TOTAL	1915	31	254	1033	333	264

Carte d'isohyètes

Les isohyètes concernent la période 1960-1986 (27 ans) et se basent sur les données du réseau météorologique national (source Direction de la Météorologie Nationale).

Carte de situation

Cette carte donne la localisation de la zone d'étude avec les limites provinciales.

7. USAGE DE LA CARTE POUR L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

7.1. Introduction

Les ressources en eau souterraine peuvent être exploitées sous deux formes:

- exploitation "extensive": cas de l'hydraulique villageoise, nombreux points d'eau dispersés à faibles débits ponctuels;
- exploitation "intensive": cas de l'hydraulique (semi-)urbaine ou agro-pastorale, gros débits ponctuels exploités sur une superficie limitée.

Chacun des deux modes d'extraction a des exigences particulières: une zone peut être favorable à l'exploitation extensive mais défavorable à l'exploitation intensive. Les deux cas seront traités par la suite.

7.2. Exploitation extensive

Dans le cas de l'hydraulique villageoise classique (installation des forages avec pompe manuelle ou des puits modernes), l'expérience montre que les faibles débits d'exhaure n'entraînent pratiquement jamais un épuisement de la ressource.

En dehors des cas heureusement rares, l'implantation des forages aux environs des villages est toujours possible. Par contre, la construction des puits modernes peut être moins faisable (niveau d'eau profond, altération sèche).

La principale condition d'implantation de point d'eau d'hydraulique villageoise est la distance maximale point d'eau-groupe cible de consommateurs. C'est cette condition qui fait que l'hydrogéologue chargé de l'implantation n'a pas la possibilité de sélectionner l'unité hydrogéologique la plus favorable pour le site de forage: il est limité aux conditions hydrogéologiques rencontrées dans les environs immédiats du village. Par conséquent il ne s'agit pas ici d'indiquer les unités hydrogéologiques les plus favorables pour l'hydraulique villageoise mais plutôt de répondre aux questions suivantes:

- a) dans quelles conditions l'application des méthodes géophysiques améliore significativement les résultats de l'implantation des forages;
- b) jusqu'à quelle profondeur faut-il forer;
- c) quelles sont les conditions favorables à la construction des puits modernes.

a) Application des méthodes géophysiques

Pour évaluer l'influence de l'application systématique de la géophysique sur le taux de succès (TDS), on a analysé les résultats de 15 grands projets d'hydraulique villageoise (PHV); voir fig. 7. Il s'agit de 3 PHV où l'implantation des forages se faisait systématiquement après géophysique et 12 PHV où la géophysique se limitait aux cas difficiles. Ces PHV, réalisés au Burkina Faso entre 1981 et 1989, ont créé 6.300 forages. Dans ces PHV le débit minimal acceptable variait d'un programme à l'autre. Cela nous a conduit à recalculer les TDS à partir d'un débit minimal fixé à 1 m³/h. L'augmentation du TDS suite à l'application de la géophysique a été étudiée en fonction de la lithologie (formations granitiques et schisteuses) et en fonction de l'épaisseur de l'altération (inférieure à 20 m, 20 à 40 m et supérieure à 40 m).

Il ressort que l'application systématique de la géophysique induit une augmentation du TDS qui varie de 3,6% pour les schistes peu altérés à 14% pour les granites couverts d'une couche d'altération de 20 à 40 m. Pour les formations granitiques l'augmentation du TDS atteint son maximum quand l'épaisseur de l'altération est comprise entre 20 et 40 m, tandis que pour les formations schisteuses ce maximum est atteint pour des épaisseurs d'altération supérieures à 40 m. Cette différence peut être expliquée de la façon suivante.

Figure 7. Influence de l'application systématique de la géophysique sur le taux de succès des implantations en fonction de la lithologie de la roche mère et l'épaisseur de l'altération.

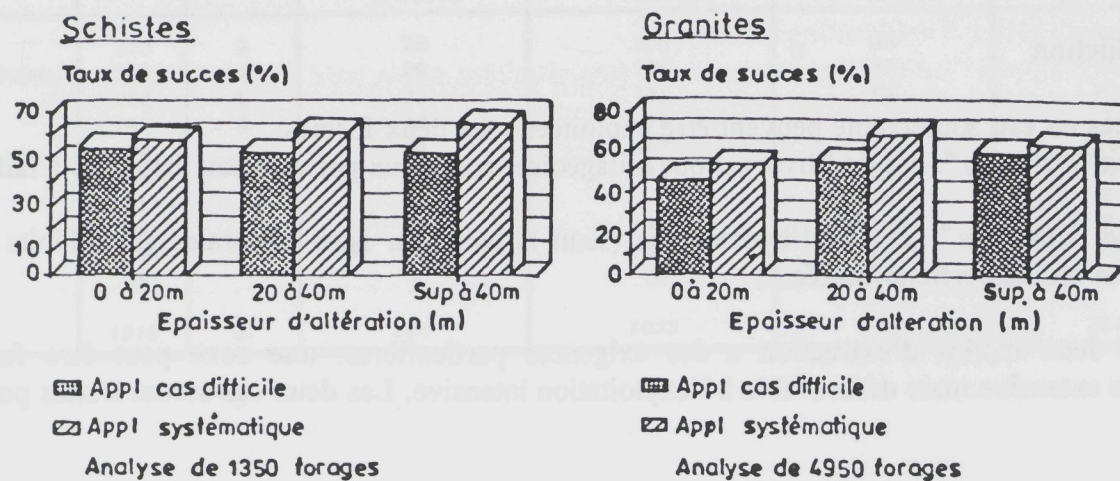
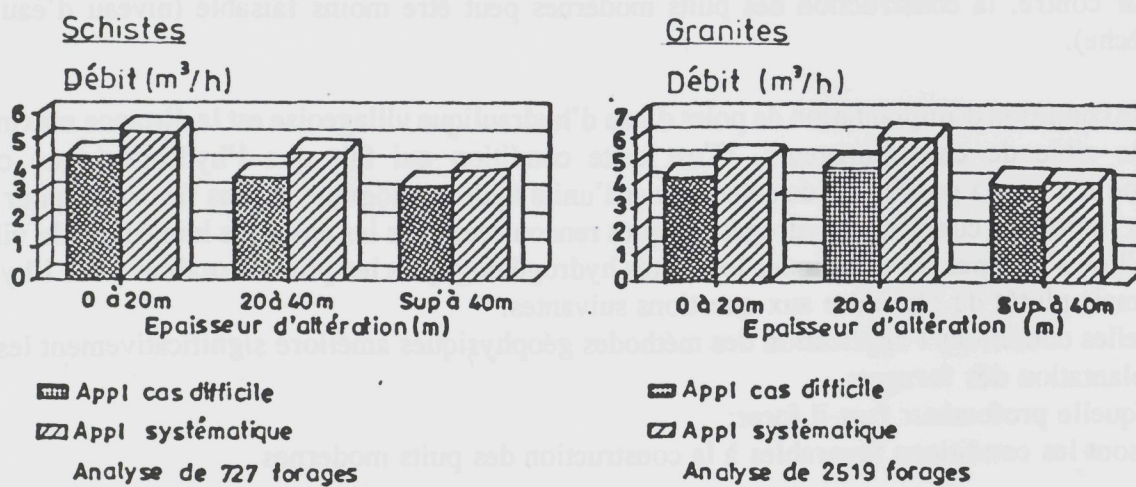


Figure 8. Influence de l'application systématique de la géophysique sur le débit de soufflage des forages en fonction de la lithologie de la roche mère et l'épaisseur de l'altération.



- Dans les zones *granitiques* où l'altération a une épaisseur relativement faible (0 à 20 m) les fractures dans le sous-sol s'expriment assez clairement en surface sur les photos aériennes, et la géophysique n'apporte plus beaucoup d'informations. L'augmentation du taux de succès se limite à 6 %. C'est quand la profondeur de l'altération atteint des valeurs de 20 à 40 m que la géophysique est bien indiquée pour la détection des zones fracturées qui ne sont plus bien visibles sur les photos aériennes. L'augmentation du TDS atteint dans ce cas 14 %. Quand l'épaisseur d'altération dépasse 40 m ni la photo-interprétation ni la géophysique n'est très efficace. Les TDS baissent et le gain dû à l'application de la géophysique est alors minime: 4,1%.
- Sur les formations schisteuses ce n'est pas seulement le degré de fracturation qui détermine les chances de trouver suffisamment d'eau. La lithologie de la roche mère et de ses altérites jouent également un rôle important, surtout dans les zones où l'altération a été intensive. La géophysique s'applique notamment pour éviter les zones où l'altération est trop argileuse. La nécessité d'éviter ces zones qui ne sont pas visibles à partir des photos aériennes augmente avec l'épaisseur des altérites. L'augmentation du TDS par suite de l'application systématique de la géophysique évolue parallèlement, de 3,6% pour des épaisseurs de 0 à 20 m, à 13,0 % pour des épaisseurs d'altération supérieures à 40 m.

Avec l'importance accordée à la réduction de la distance consommateur-point d'eau et avec la tendance que les sites "évidemment" favorables sont déjà occupés par des points d'eau, la nécessité d'une application systématique de la géophysique s'imposera de plus en plus à l'avenir.

L'application de la géophysique a aussi une influence positive sur le débit de forage. Le débit peut être important quand on envisage d'équiper le point d'eau d'un moyen d'exhaure plus puissant que la pompe à main.

A partir d'une analyse statistique nous avons cherché à quantifier cette influence en considérant, comme dans le cas du taux de succès, les 15 grands PHV exécutés au Burkina Faso. Nous avons comparé les débits moyens des ouvrages des projets où l'implantation s'est faite exclusivement sur la base de la géophysique avec ceux où la géophysique n'intervenait que dans les cas difficiles. Les résultats de l'analyse sont présentés sur la figure 8. On note que le débit moyen des ouvrages dans le premier cas est nettement supérieur à celui des ouvrages du second cas.

b) Profondeur des forages

Afin de pouvoir minimiser les frais de foration dans les projets d'hydraulique villageoise on a déterminé la profondeur à partir de laquelle les coûts liés à la poursuite des travaux deviennent excessifs par rapport aux possibilités de trouver encore un débit permettant de considérer le forage comme positif. Le calcul de la profondeur optimale se base sur:

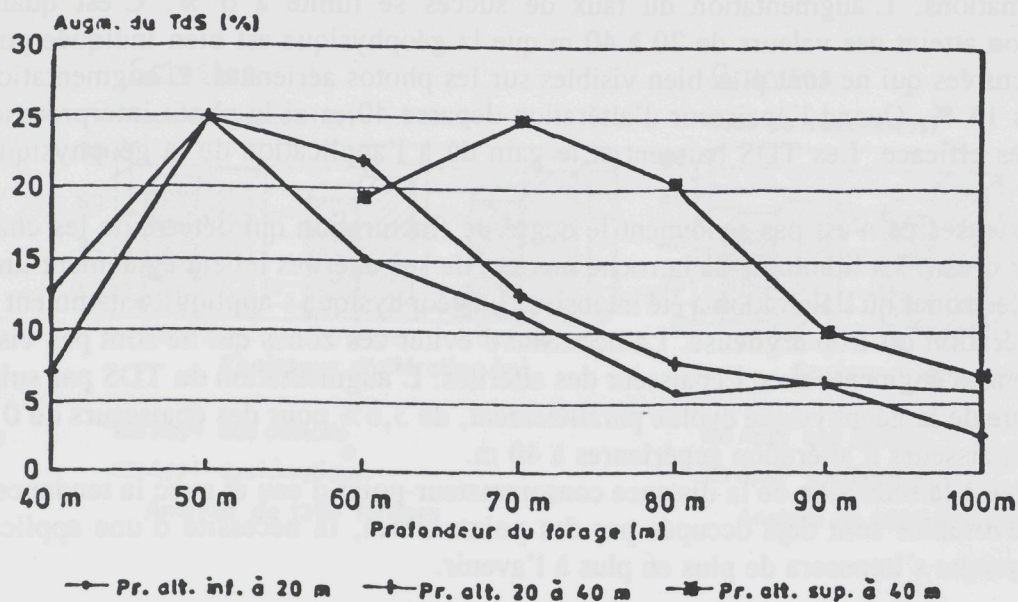
- les frais de l'entreprise de forage, notamment le rapport entre le coût de forage et la fourniture et mise en place du tubage PVC d'un côté, et les frais de déplacement de l'autre;
- la variation du taux de succès avec la profondeur.

Cette dernière variation paraît être liée à la profondeur de la roche mère plutôt qu'à sa lithologie. Trois classes d'épaisseur d'altération ont été distinguées: inférieure à 20 m, de 20 à 40 m et supérieure à 40 m. La figure 9 montre l'augmentation du taux de succès avec la profondeur pour chacune de ces classes. La profondeur où les dépenses de poursuite s'équilibrent avec celles de l'arrêt est déterminée par l'équation ci-dessous. Cette équation est résolue par itération.

$$10 * F * [TDS(P * 10) - TDS(P)] + 10 * T = P * F / TDS(P) + D$$

dont: P	=	profondeur
F	=	prix de forage (par m)
TDS (P + 10)	=	taux de succès à une profondeur P + 10 m
T	=	prix de fourniture et mise en place du tubage PVC (par m)
D	=	frais de déplacement.

Figure 9. Augmentation du taux de succès avec la profondeur en fonction de l'épaisseur de l'altération.



10.440 forages analysés

Tableau 11: Recommandations pour la création des points d'eau d'hydraulique villageoise.

Géologie	Epaisseur d'altération			
	0 - 10 m	10 - 30 m ^(*)	30 - 50 m ^(**)	50 m
B	G, 65, -	G, 75, ± ou +	G, 85, ± ou +	(G), 95, -
S	(G), 65, -	(G), 75, ± ou +	G, 85, ± ou +	G, 95, -
V	(G), 65, -	(G), 75, ± ou +	G, 85, ± ou +	G, 95, -
M	(G), 65, -	G, 75, ± ou +	G, 85, ± ou +	(G), 95, -
G	(G), 65, -	(G), 75, ± ou +	G, 85, ± ou +	(G), 95, -
C, D, R, X	(G), 100, -	G, 100, -	(G), 100, -	(G), 100, -

- G = géophysique à appliquer systématiquement
- (G) = géophysique à appliquer dans des cas difficiles
- 65 = profondeur optimale des forages en mètres
- = situation défavorable à la construction des puits modernes
- + = situation favorable à la construction des puits modernes
- ± = situation médiocre à la construction des puits modernes
- (*) = si la profondeur du niveau d'eau est inférieure à 10 m
- (**) = si la profondeur du niveau d'eau est supérieure à 20 m

Les prix couramment appliqués à l'heure actuelle au Burkina Faso sont les suivants:

F = forage (m)	20.000 FCFA
T = fourniture et mise en place du tubage PVC (par m)	5.000 FCFA
D = déplacement à l'intérieur du village (F)	10.000 FCFA

L'ensemble des données de la figure 9, de l'équation et des prix sus-cités mène aux profondeurs optimales suivantes:

Epaisseur altération	Profondeur optimale
inf. à 20 m	----> 72 m
20 à 40 m	----> 76 m
sup. à 40 m	----> 92 m

c) Construction des puits modernes

Pour qu'un puits moderne puisse être productif, il doit traverser les terrains argileux de l'altération supérieure jusqu'au toit du socle pour capter la zone perméable de transition socle-altération argileuse.

c1) Conditions spécifiquement favorables à l'installation des puits modernes (conditions simultanées):

- profondeur du niveau statique inférieure à 10 m et
- profondeur socle inférieure à 30 m et
- épaisseur altération saturée supérieure à 10 m.

c2) Conditions spécifiquement défavorables à l'installation des puits modernes (conditions isolées):

- profondeur du niveau statique supérieure à 20 m ou
- profondeur socle supérieure à 40 m ou
- épaisseur altération saturée nulle.

Le tableau 11 donne un résumé de ce qui a été expliqué ci-dessus permettant à l'utilisateur de la carte de mieux planifier la campagne d'hydraulique villageoise. Les paramètres déterminants de l'aptitude d'une région de socle à l'installation des puits modernes sont présentés dans la figure 10.

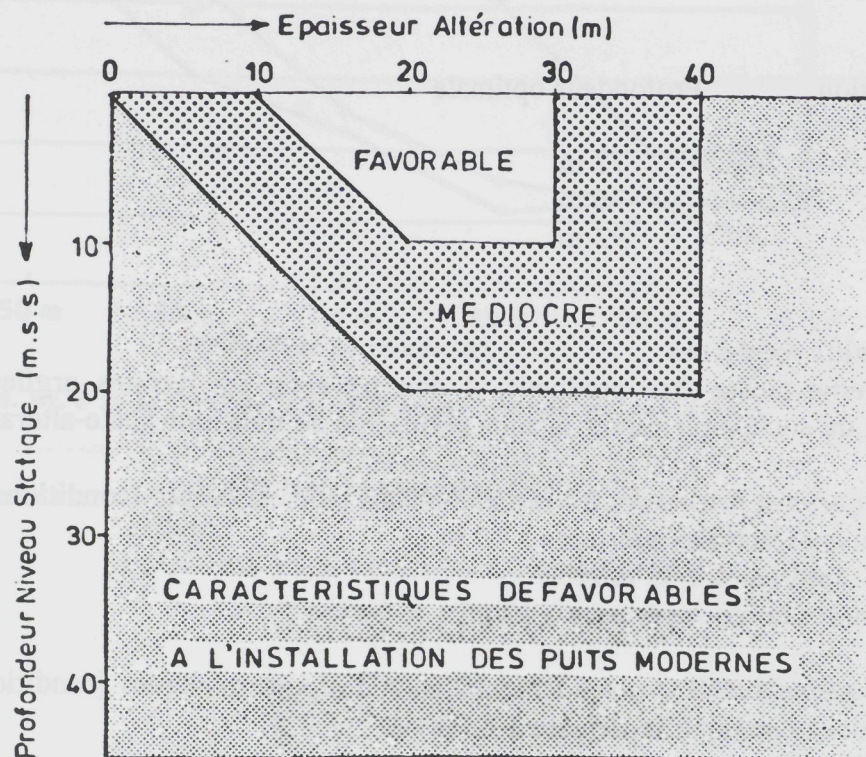
7.3. Exploitation intensive

L'expérience obtenue dans les centres secondaires montre que les limites d'exploitation des ressources en eau souterraine sont rapidement atteintes dès qu'on utilise des moyens d'exhaure plus puissants que la pompe à main, notamment en dehors des zones sédimentaires. Dans ce cas, on ne cherche pas seulement un débit ponctuel élevé (habituellement supérieur à 5 m³/h) mais aussi que la pérennité de ce débit soit assurée.

Les potentialités d'une zone pour une exploitation intensive des eaux souterraines dépendent de trois facteurs:

- a) transmissivité de l'aquifère, surtout déterminée par la géométrie des fissures (ouverture, colmatage, interconnexion);
- b) réserves en eau souterraine, surtout déterminées par l'épaisseur de l'altération saturée;
- c) recharge des nappes, c'est-à-dire le renouvellement de la ressource.

Figure 10. Paramètres déterminants de l'aptitude d'une région de socle à l'installation des puits modernes.



CARACTERISTIQUES FAVORABLES A L'INSTALLATION DES PUIITS MODERNES :

- Profondeur Niveau Statique < 10m. s.s
- ET Profondeur socle < 30m. s.s
- ET Epaisseur Altération saturée > 10m

CARACTERISTIQUES DEFAVORABLES A L'INSTALLATION DES PUIITS MODERNES :

- Profondeur Niveau Statique > 20m. s.s
- OU Profondeur socle > 40m. s.s
- OU Epaisseur Altération saturée ≤ 0m

s.s. = Sous sol

a) Quant à la *transmissivité*, elle augmente avec le degré de fissuration des roches. En domaine de socle la fissuration semble augmenter avec l'âge des roches. Les roches sédimentaires avec leur fissuration profonde et régulière offrent les meilleures conditions. Les roches schisteuses semblent avoir des perméabilités moins élevées que les granites fracturés suite à leur nature argileuse.

Les 9 unités géologiques distinguées sont présentées ci-dessous suivant un ordre croissant des meilleures conditions de transmissivité:

1. granites syn- à tardi-tectoniques (B);
2. schistes argileux (X);
3. schistes (S);
4. roches vertes (V);
5. sills ou coulées (L);
6. migmatites, gneiss (M);
7. migmatites, granites indifférenciés (G);
8. calcaires, dolomites (D);
9. grès (R);
10. Continental Terminal (C);

L'épaisseur de l'altération intervient aussi dans la transmissivité. Pour les roches schisteuses on observe une altération dont l'argilosité augmente avec l'épaisseur de l'altération, causant une diminution de la transmissivité totale.

b) Les *réserves* en eau souterraine dépendent directement de l'épaisseur de l'altération saturée. L'exploitabilité des réserves, dépend entre autres du réseau de fissures qui doit être de grande dimension pour drainer la plus vaste étendue possible du réservoir des altérations.

c) *Recharge* des nappes dépend de la pluviométrie, mais cette relation n'est pas simple, puisqu'aussi d'autres facteurs y interviennent (voir chapitre 5). Sur la carte, on a indiqué les zones favorables à l'infiltration.

Le tableau 12 donne un résumé qui vise à traduire les éléments montrés sur la carte en termes de transmissivité et réserves. Ceci, en combinaison avec l'élément représentant l'infiltration des eaux, permet à l'utilisateur, de délimiter les zones à priori favorables à l'exploitation intensive des eaux souterraines.

Tableau 12: Evaluation des caractéristiques des aquifères pour l'exploitation intensive des eaux souterraines.

Géologie	Epaisseur d'altération saturée (m)				
	< 0 m	0 - 10 m	10 - 30 m	30 - 50 m	> 50 m
B	-	-	±	+	+
M	-	±	+	+	+
G	-	±	+	+	+
S	-	±	+	±	-
V	-	±	+	±	-
C, D, R, X	+				

- = caractéristiques défavorables
- ± = caractéristiques médiocres
- + = caractéristiques favorables

REFERENCES

1. DEP/IWACO (1990):
L'impact de la dégradation de l'environnement sur l'écoulement superficiel dans les bassins versants du Nakanbé et du Nazinon. Rapport Bilan d'Eau n° 60.235/37.
2. DEP/IWACO (1990):
Etudes des quatre bassins versants expérimentaux au Burkina Faso. Rapport Bilan d'Eau n° 60.235/47.
3. DEP/IWACO (1990):
Stratégie d'implantation des points d'eau au Burkina Faso. Rapport Bilan d'Eau n° 60.235/41.
4. DEP/IWACO (1989):
Rapport intermédiaire de la deuxième phase 1987-90. Tome II: Inventaire des ressources en eau. Rapport Bilan d'Eau n° 60.235/27.
5. DEP/IWACO (1990):
Analyse des données d'exploitation des 26 centres secondaires ONEA, alimenté à partir des eaux souterraines. Rapport Bilan d'Eau n° 60.235/40.
6. Marchal, J. Y. (1983):
La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 167, Paris.
7. Roose, E. J. (1981):
Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transports hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelles ou cultivées. ORSTOM.
8. Albergel, J. (1988):
Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. ORSTOM.
9. Milville, F. (1990):
Contribution à l'étude des mécanismes de la recharge naturelle des aquifères par les pluies en climat semi-aride. Application au site expérimental de Barogo au Burkina Faso. Thèse de l'Université Pierre et Marie CURIE, Paris.
10. BRGM-AQUATER-CIEH (1986):
La recharge naturelle des aquifères de socle sous climats sahélien et soudanien. Etude expérimentale au Burkina Faso.
11. IWACO/CIEH (1990):
Etude des ressources en eau souterraine dans le Yatenga. Rapport final.
12. ORSTOM (1976):
Cartes des ressources en sols de la Haute-Volta, avec notice.
13. Hottin, G., Ouédraogo O.F. (1975):
Carte géologique à 1/1.000.000 de la république de Haute-Volta, avec notice.

14. CEFIGRE (1984):
Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie du socle cristallin et cristallophyllien, et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest.
15. Geirnaert, W., Bloemen, P., Kool, W., v. d. Sommen, J.J. (1988):
Solution of disseminated calcite in quartz veins of Birrimien schists in Burkina Faso as a key to a possible aquifer model. UNESCO proceedings of the Sahel Forum, Ouagadougou.
16. ICRISAT (1987):
Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest: le Burkina Faso. Bulletin d'information n° 23, 1987.
17. ONBAH (1988):
Inventaire et reconnaissance générale de l'état des barrages et retenues d'eau au Burkina Faso. Situation au 31/07/87.
18. Triboulet, J.P. (1988):
Inventaire des barrages par bassin versant. Mission de consultation en hydrologie, Projet BKF/86/001.
19. Marchal, M. (1983):
Les paysages agraires de Haute-Volta. Analyse structural par la méthode graphique. ORSTOM
20. DIRH/IWACO (1991):
Inventaire des barrages et retenues d'eau au Burkina Faso. Note explicative sur les 6 feuilles au 1/500.000ème du réseau hydrographique. Rapport Bilan d'Eau n°60.451/9.
21. USAID (1980-1986):
Rapport de fin de campagne. DHER-Projet USAID N°686-0288.
22. SOGREAH (1990):
Schéma directeur pour la recherche, l'exploitation et la protection des eaux souterraines dans les provinces de Houet et Kéné Dougou.
23. Lelong, F. (1966):
Régime des nappes phréatiques connues dans les formations d'altération tropicale. Sc. de la Terre, Tome XI, p.201-204.

ANNEXE. Résultats de forages par province et département.

(seulement les caractéristiques de forages se situant sur la feuille de carte 1:500.000 de Bobo-Dioulasso sont prises en compte)

Les résultats des forages existants sur la feuille sont résumés et regroupés par province et département sous forme de tableaux. Ce regroupement par unité administrative a été jugé utile parce que les campagnes de forages se déroulent normalement par unité administrative. Les tableaux permettent ainsi aux utilisateurs d'apprécier rapidement les expériences obtenues dans une province ou un département et de mieux planifier les campagnes de forages.

Il faut que l'on note que les paramètres "niveau statique", "épaisseur altération" et "épaisseur altération saturée" sont relatifs aux forages équipés. Ceci implique que ces informations des forages négatifs ne se traduisent pas dans le chiffre présenté.

Parfois le débit d'un forage équipé est inconnu. Si cela est le cas, le total des colonnes 6, 8 et 10 n'est pas égal au chiffre dans la colonne 3 et le total des colonnes 7, 9 et 11 n'est pas 100%.

Les données proviennent de différentes campagnes de forage. L'exploitation de ces données se heurte aux difficultés suivantes:

- la qualité des données de forage est très hétérogène. Non seulement chaque campagne de forage applique ses propres critères d'implantation (sociaux, techniques), mais aussi la qualité de l'exécution des travaux d'implantation et de foration varie sensiblement entre les différentes campagnes;
- l'exploitation des données variables dans le temps (p.e. le niveau statique), est perturbée par la variabilité des moments de mesure.

Les résultats des différentes campagnes ne sont donc pas entièrement comparables entre eux. Cependant, des tendances peuvent être observées.

En étudiant les pourcentages de forages à débit supérieur à 1 m³/h et à 5 m³/h, on peut reconnaître une zone "difficile" qui couvre grossièrement les provinces du Yatenga, du Bam, du Sanmatenga, de l'Oubritenga, du Namentenga et de la Gnagna. La zone "facile" se trouve surtout dans la partie Sud-Ouest de la feuille de Ouagadougou.

Une comparaison avec la carte hydrogéologique montre que la zone "facile" coïncide à peu près avec la zone à niveau d'eau peu profond. Dans la zone "difficile" le niveau d'eau se trouve souvent à forte profondeur (supérieure à 25 m), et les altérations y sont soit très épaisses (Nord-Ouest) soit dénoyées (Est).

Les pages suivantes présentent les tableaux des résultats des forages existants par province et par département.

PROVINCE : BOUGOURIBA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	
1 Dano	7	4	57	58	1	25	2	50		0		0	4	10	4	31	21
2 Diebougou	15	10	67	63	2	20	5	50	1	10	1	10	9	9	10	40	31
3 Dissin	2	2	100	45		0	1	50	1	50		0	2	7	2	33	26
4 Dolo	5	1	20	49		0	1	100		0		0	1	4	1	12	8
5 Funzan	1	1	100	34		0	1	100		0		0	1	8	1	32	24
6 Guéguéré	16	13	81	57	4	31	3	23	2	15	3	23	13	10	13	31	21
7 Koti	1	1	100	33	1	100		0		0		0	1	4	1	25	21
8 Oronkua	2	1	50	53		0	1	100		0		0	1	17	1	50	33
9 Zambo	1		0	0		0		0		0		0				0	0
Total	50	33	66	57	8	24	14	42	4	12	4	12	32	9	33	34	25

PROVINCE : COMOÉ

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	
1 Moussodougo	15	14	93	40	1	7	9	64	1	7	3	21	13	13	14	32	19
2 Tiéfora	1	1	100	39	1	100		0		0		0	1	6	1	23	17
Total	16	15	94	41	2	13	9	60	1	7	3	20	14	12	15	31	19

PROVINCE : HOUET

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	
1 Badéma	40	29	73	56	2	7	21	72	6	21		0	17	10	29	22	12
2 Bama	30	21	70	65	1	5	11	52	8	38	1	5	19	15	20	25	10
3 Bekuy	13	12	92	54	1	8	5	42	5	42	1	8	11	8	11	18	10
4 Béréba	40	32	80	54	5	16	23	72	2	6	1	3	25	10	31	33	23
5 Bobo-Dioula	109	84	77	59	1	1	47	56	21	25	10	12	61	13	79	21	8
6 Fo	26	22	85	54	1	5	12	55	6	27	2	9	18	13	21	33	20
7 Houndé	59	43	73	54	4	9	34	79	4	9		0	31	16	39	33	17
8 Karankasso	44	41	93	39	4	10	30	73	4	10		0	30	10	39	29	19
9 Koubia	24	18	75	50	2	11	15	83		0		0	11	12	18	34	22
10 Kourignon	22	20	91	61	3	15	13	65	3	15		0	13	15	19	18	3
11 Lena	15	13	87	45	3	23	8	62		0	2	15	10	9	8	29	20
12 Peni	23	15	65	87	2	13	11	73	1	7	1	7	9	23	13	22	-1
13 Satiri	29	26	90	64		0	17	65	7	27		0	21	10	24	15	5
14 Toussiana	8	7	88	68	2	29	4	57	1	14		0	2	15	6	25	10
Total	482	383	79	57	31	8	251	66	68	18	18	5	278	13	357	26	13

PROVINCE : KENEDOUGOU

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%	moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	moy.
1 Djigouera	22	19	86	54	2	11	8	42	5	26	4	21	14	10	19	13	3
2 Koloko	58	46	79	54	4	9	27	59	8	17	7	15	37	13	41	16	3
3 Kourouma	13	9	69	44	2	22		0	7	78		0	5	8	9	27	19
4 Morolaba	11	8	73	35	1	13	1	13	4	50	1	13	4	7	7	26	19
5 N'Dorola	19	15	79	44		0	9	60	6	40		0	10	10	15	24	14
6 Orodara	16	12	75	50		0	9	75	2	17	1	8	11	14	11	16	2
7 Oueleni	16	13	81	39		0	12	92	1	8		0	11	8	12	22	14
8 Samogohiri	11	10	91	53		0	4	40	2	20	4	40	10	12	9	21	9
9 Samorogouan	13	9	69	52		0	4	44	1	11	4	44	5	18	9	33	15
10 Sindou	13	8	62	42	1	13	6	75		0	1	13	6	10	8	25	15
Total	192	149	78	49	10	7	80	54	36	24	22	15	113	11	140	20	9

PROVINCE : KOSSI

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%	moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	moy.
1 Balavé	9	9	100	52		0		0	6	67	2	22	8	21	8	26	5
2 Barani	41	30	73	64	3	10	14	47	6	20	4	13	27	37	28	54	17
3 Bomborokuy	11	5	45	74	1	20	2	40	1	20	1	20	5	33	5	62	29
4 Djibasso	21	18	86	62	3	17	6	33	4	22	4	22	17	14	17	18	4
5 Dokui	16	16	100	63		0	5	31	7	44	4	25	16	24	16	50	26
6 Doumbala	14	13	93	63	1	8	3	23	1	8	8	62	13	28	13	37	9
7 Kombori	7	5	71	87		0	3	60	1	20	1	20	5	31	5	66	35
8 Kouka	14	14	100	55		0	4	29	5	36	5	36	14	18	14	39	21
9 Madouba	3	3	100	65		0	1	33		0	2	67	3	16	3	11	-5
10 Nouna	91	69	76	68	6	9	33	48	9	13	21	30	68	27	69	44	17
11 Sami	1	1	100	60	1	100		0		0		0	1	9	1	10	1
12 Sanaba	16	14	88	75		0	5	36	2	14	7	50	14	19	14	51	32
13 Solenzo	56	52	93	67	9	17	19	37	8	15	15	29	50	17	50	41	24
14 Tansila	22	18	82	57	2	11	12	67	1	6	1	6	16	13	16	13	0
Total	322	267	83	66	26	10	107	40	51	19	75	28	257	23	259	41	18

PRO

PROVINCE : MOUHOUN

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	
1 Bagassi	41	35	85	55	3	9	21	60	6	17	2	6	33	12	32	32	20
2 Bana	8	7	88	60	1	14	4	57	1	14	1	14	6	12	6	35	23
3 Bondokuy	57	44	77	55	2	5	13	30	14	32	9	20	37	13	38	19	6
4 Boromo	10	9	90	57		0	2	22	5	56	2	22	9	6	9	33	27
5 Dedougou	61	48	79	34		0	4	8	10	21	14	29	29	17	29	26	9
6 Kona	17	14	82	61	2	14	6	43	3	21	1	7	12	15	12	35	20
7 Ouarkoye	32	25	78	48	2	8	7	28	4	16	9	36	22	10	23	19	9
8 Oury	15	14	93	62		0	9	64	3	21	1	7	13	12	13	37	25
9 Pa	18	12	67	50	2	17	5	42		0	3	25	10	11	10	25	14
10 Safané	42	34	81	63	2	6	26	76	2	6	3	9	32	11	33	36	25
11 Tcheriba	17	17	100	66	1	6	11	65	3	18	2	12	17	9	17	38	29
12 Yaho	13	12	92	67	2	17	7	58	2	17		0	10	10	11	47	37
Total	331	271	82	54	17	6	115	42	53	20	47	17	230	12	233	30	18

PRO

PROVINCE : SOUROU

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit 5-10m ³ /h		nombre de forages à débit >=10m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	
1 Di	23	20	87	63		0	6	30	3	15	11	55	20	27	20	41	14
2 Gassan	31	25	81	69		0	9	36	2	8	14	56	25	22	25	45	23
3 Kassoum	30	30	100	65	1	3	8	27	13	43	7	23	29	29	29	55	26
4 Koungny	7	6	86	48	1	17	1	17	1	17	2	33	5	12	5	24	12
5 Lanfiera	22	19	86	41		0	3	16	5	26	5	26	13	23	13	37	14
6 Toeni	23	17	74	85	1	6	11	65	3	18	2	12	17	46	17	68	22
7 Tougan	24	16	67	66	3	19	7	44	3	19	1	6	15	24	15	59	35
8 Yaba	1	1	100	88		0	1	100		0		0	1	12	1	52	40
9 Yé	26	23	88	68	2	9	14	61	6	26	1	4	22	15	23	40	25
Total	187	157	84	65	8	5	60	38	36	23	43	27	147	26	148	48	22

PRO

D

T

T