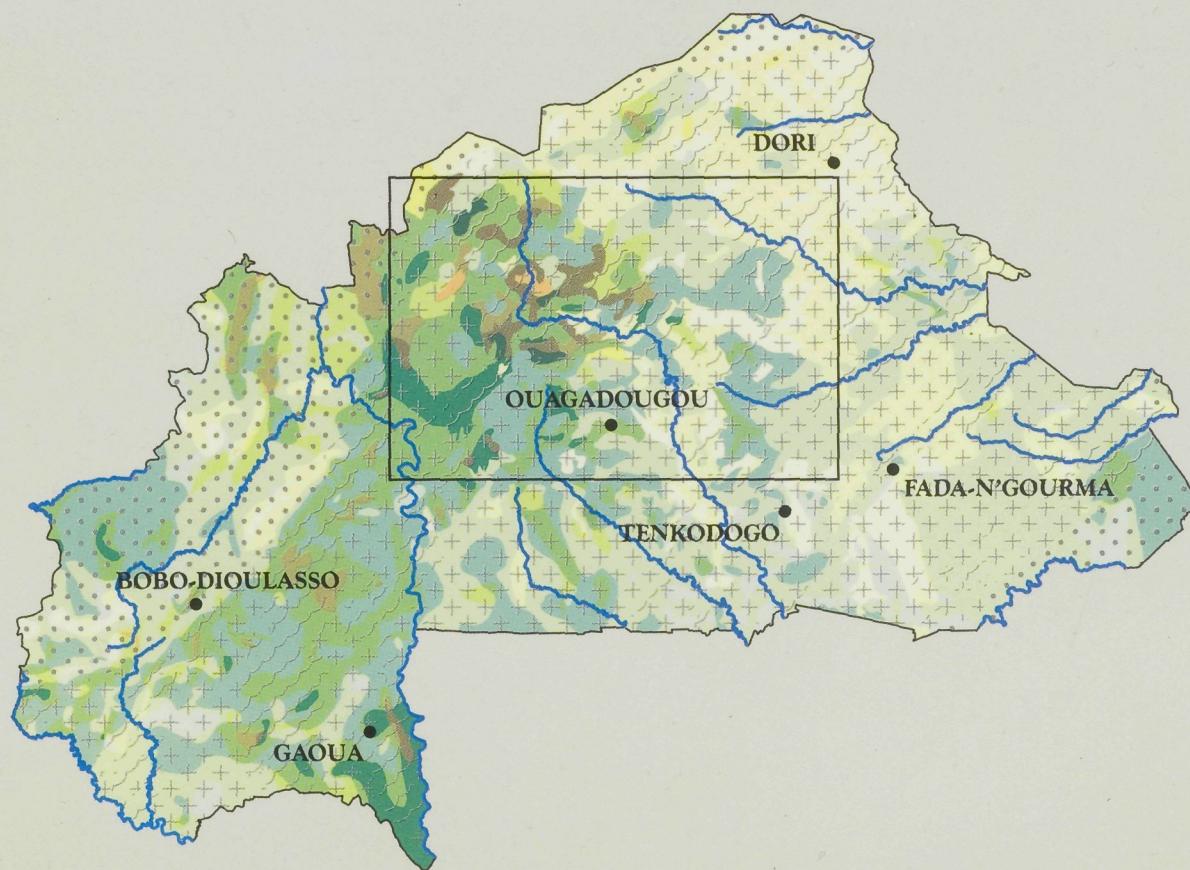


CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU BURKINA FASO

ECHELLE 1:500.000

FEUILLE OUAGADOUGOU



Edition:

Direction des Etudes et de la Planification (DEP)
Ministère de l'Eau, Burkina Faso

Assistance technique:

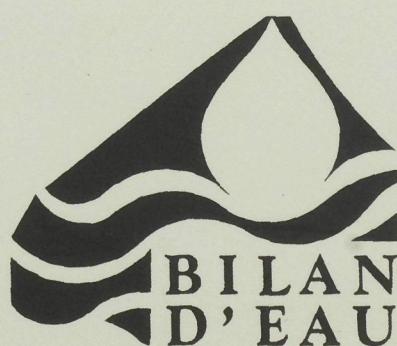
IWACO B.V., Bureau d'Etudes en Eau et Environnement
Rotterdam, Pays-Bas

Financement:

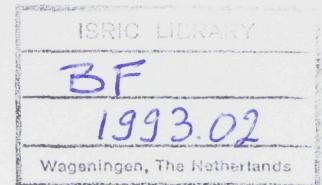
ISRIC LIBRARY

o
ration
s-Bas

BF 1993.02



NOTICE EXPLICATIVE
DE LA



CARTE HYDROGEOLOGIQUE
DU
BURKINA FASO

ECHELLE 1:500.000

FEUILLE OUAGADOUGOU

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 des Etudes
et de la Planification (DEP)

PAYS-BAS

Directeurat Général de la Coopération
au Développement (DGIS)

IWACO

Bureau d'Etudes en Eau et Environnement



rapport 60.451/27
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	11
3.1. Géologie	11
3.2. Morphologie	13
3.3. Pédologie	15
3.4. Dégradation du milieu naturel	15
4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES AQUIFERES	17
4.1. Ensembles hydrogéologiques	17
4.2. Systèmes aquifères	19
5. MECANISMES DE RECHARGE ET DECHARGE DES NAPPES	21
5.1. Introduction	21
5.2. Variations dans l'espace	21
5.3. Variations de la recharge dans le temps	25
5.4. Quantification de la recharge	27
6. CONCEPTION DE LA CARTE	29
6.1. Introduction	29
6.2. Méthodologie	29
6.3. Les éléments de la carte	30
7. USAGE DE LA CARTE POUR L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	35
7.1. Introduction	35
7.2. Exploitation extensive	35
7.3. Exploitation intensive	39
REFERENCES	43
ANNEXE	45

- Tableau 1.* a) Moyenne annuelle de la pluviométrie à Ouagadougou.
 b) Moyenne mensuelle et annuelle (en mm) de la pluviométrie pour quatre stations au Burkina Faso pour la période 1982-1989.
 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 (1974-1985).

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

Tableau 4. Classification des unités agro-pédologiques en termes d'aptitudes à l'infiltration.

Tableau 5. Nombre de forages par degré carré.

Tableau 6. Recommandations pour la création des points d'eau d'hydraulique villageoise.

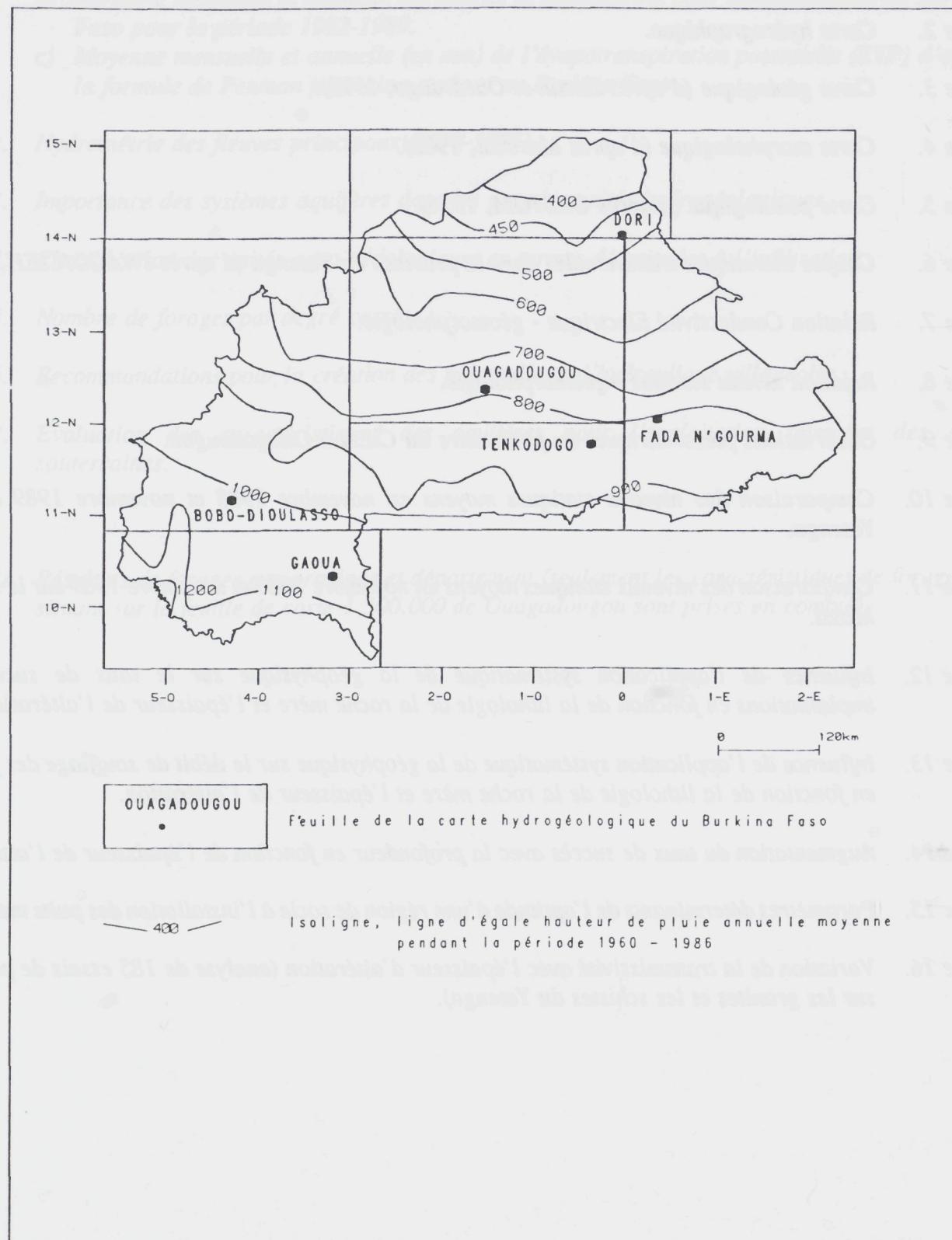
Tableau 7. Evaluation des caractéristiques des aquifères pour l'exploitation intensive des eaux souterraines.

ANNEXE: Résultats de forages par province et département (seulement les caractéristiques de forages se situant sur la feuille de carte 1:500.000 de Ouagadougou 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. Coupes thermiques transversales dans la province du Yatenga (d'après IWACO/CIEH, 1990).*
- Figure 7. Relation Conductivité Electrique - géomorphologie.*
- Figure 8. Relation niveau statique - géomorphologie.*
- Figure 9. Observations piézométriques du piézomètre du CIEH à Ouagadougou.*
- Figure 10. Comparaison des niveaux statiques moyens en novembre 1988 et novembre 1989 dans le Yatenga.*
- Figure 11. Comparaison des niveaux statiques moyens en novembre 1988 et novembre 1989 sur le Plateau Mossi.*
- Figure 12. 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 13. 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 14. Augmentation du taux de succès avec la profondeur en fonction de l'épaisseur de l'altération.*
- Figure 15. Paramètres déterminants de l'aptitude d'une région de socle à l'installation des puits modernes.*
- Figure 16. Variation de la transmissivité avec l'épaisseur d'altération (analyse de 185 essais de pompage sur les granites et les schistes du Yatenga).*

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 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.

Pour la cartographie hydrogéologique, le Burkina a été découpé en six feuilles (fig. 1). La feuille de Ouagadougou de la carte hydrogéologique correspond à la carte topographique de Ouagadougou de l'Institut Géographique du Burkina Faso à la même échelle. Elle se situe entre les latitudes de 12 et 14°N et les longitudes de 0 et 3°O.

Cette notice explicative présente d'abord les contextes climatique et hydrographique (chapitre 2), et géologique, morphologique et pédologique (chapitre 3) de la zone cartographiée.

Le chapitre 4 est consacré aux caractéristiques générales des aquifères, le chapitre 5 aux mécanismes de recharge et décharge des nappes.

La conception de la carte est traitée au chapitre 6.

Le chapitre 7 traite l'utilité pratique de la carte pour l'exploitation des ressources en eau souterraine.

Le rapport et la carte ont été établis par le projet Bilan d'Eau en étroite collaboration avec la Direction des Etudes et de la Planification (DEP) du Ministère de l'Eau.

Tableau 1a: Moyenne annuelle de la pluviométrie à Ouagadougou.

Année	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
P (mm)	764	733	593	714	635	675	571	689	794
Année	1987	1988	1989	1990	1991				
P (mm)	785	735	798	676	901				

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

2. CONTEXTE CLIMATIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

2.1. Climat

Le climat du Burkina Faso est caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées: une saison sèche et une saison des pluies. Le rythme saisonnier est commandé par une influence alternée des vents sahariens et des moussons océaniques.

Généralement on distingue trois zones climatiques:

- *Zone sahélienne* avec une pluviométrie annuelle moyenne inférieure à 600 mm, une grande variabilité dans la répartition des précipitations, une forte évapotranspiration et d'importantes variations des températures journalières et annuelles;
- *Zone Nord-Soudanienne* avec une pluviométrie annuelle moyenne de 600 à 900 mm où les précipitations occurrent pendant 4 à 6 mois;
- *Zone Sud-Soudanienne* avec une pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 900 mm et caractérisée par des précipitations occurrent pendant 6 à 7 mois et par des différences de température assez faibles.

La zone d'étude se trouve dans la zone climatique nord-soudanienne. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 500 et 850 mm (fig. 1). La pluviométrie annuelle varie considérablement d'une année à l'autre et pendant l'année (tableau 1a et 1b). Plus de 80% des pluies dans une année tombent pendant la période de mai à septembre ("hivernage").

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 est traversée par la ligne de partage des eaux du Niger et des Volatas (voir figure 2). La partie est fait partie des bassins des fleuves Sirba et Faga, affluents du Niger. La partie centrale forme le bassin versant du Nakanbé (ex. Volta Blanche). La partie ouest fait partie du bassin du Mouhoun (ex. Volta Noire). Enfin dans le sud, une superficie limitée est occupée par le bassin du Nazinon (ex. Volta Rouge).

Le seul fleuve permanent est le Mouhoun, les autres fleuves sont saisonniers. Le tableau 2 donne les caractéristiques principales des fleuves principaux de la zone d'étude.

Surtout dans la partie nord de la zone d'étude, de nombreuses mares existent qui occupent les bas-fonds ou les espaces interdunaires: mare de Bourzanga, les lacs de Bam, Dem, Sian. Pendant les vingt dernières années, de nombreux barrages et retenues d'eau ont été construits dont les plus importants sont: Loumbila (35 Mm³), Yalogo (10 M m³) et Dakiri (10,5 Mm³). Un inventaire de tous les barrages et retenues est disponible dans le référence DIRH/IWACO, 1991.

Figure 2. Carte hydrographique.

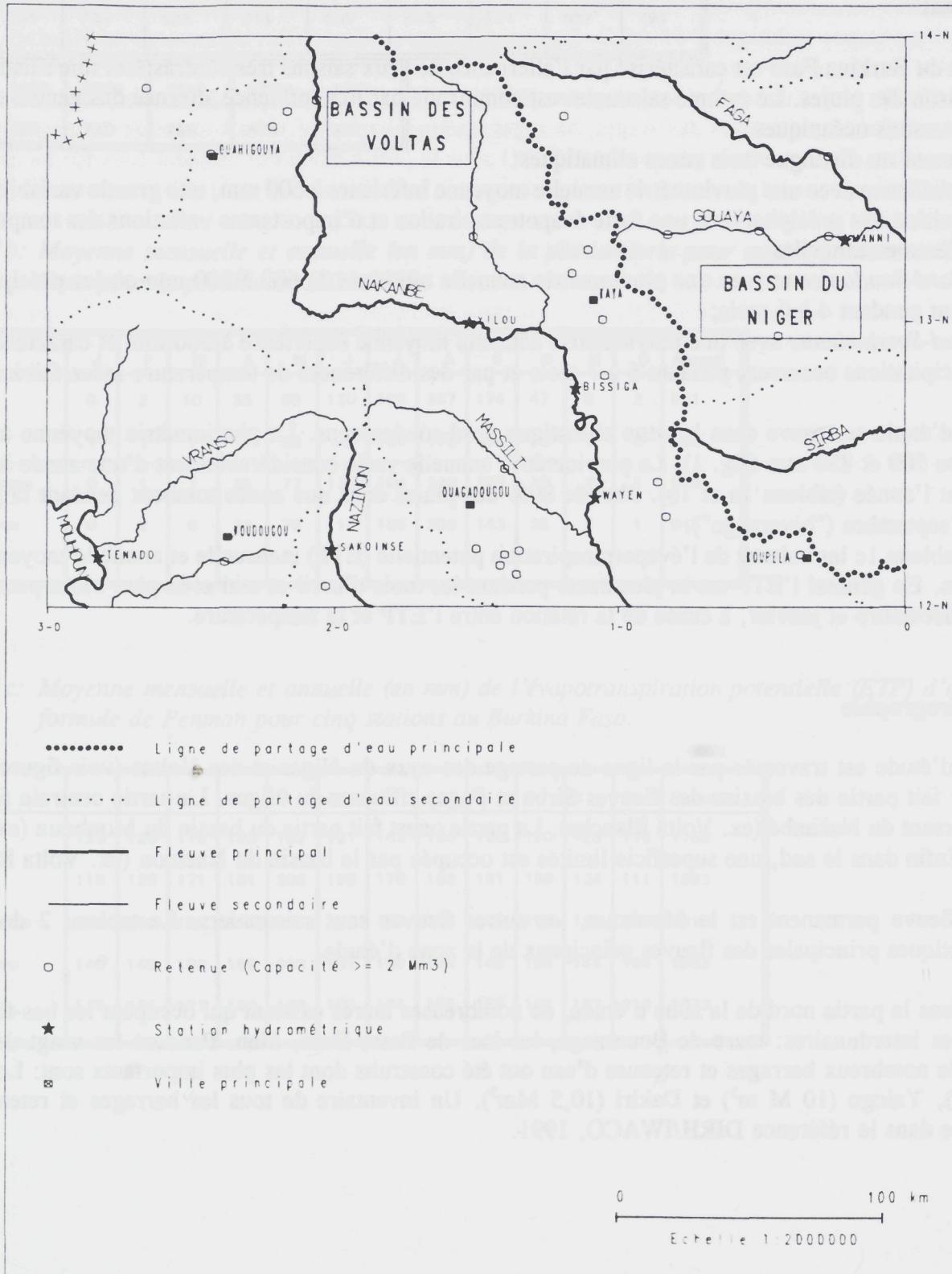


Tableau 2: Hydrométrie des fleuves principaux (1974-85).

Fleuve	Station	Débit interannuel (m^3/s)	Nombre de mois d'écoulement (par an)
Mouhoun	Tenado	18,9	12
Nakanbé	Yilou	3,7	6
Nakanbé	Bissiga	5,3	8
Nakanbé	Wayen	9,0	8
Nazinon	Sakoinsé	0,6	6
Faga	Manni	5,1	5
Sirba	Bilanga	1,8	5

2) Le Précambrien terminal et les formations métamorphiques associées : le socle précambrien est constitué par des roches métamorphiques et magmatiques. Ces dernières sont rencontrées dans les massifs de l'ouest et du sud du Burkina Faso.

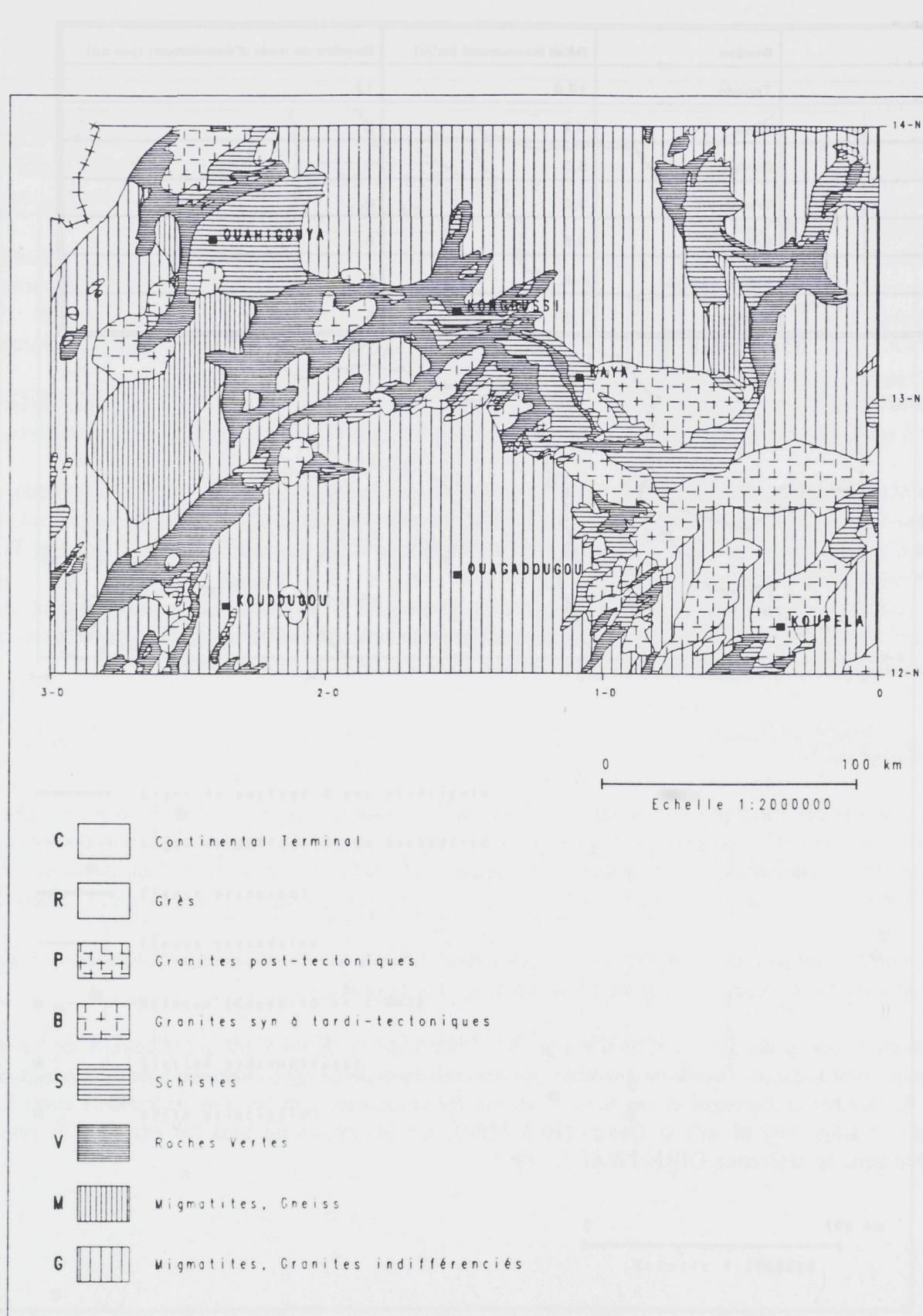
Le socle précambrien terminal est formé par des roches métamorphiques (schistes, gneiss, micaschistes, des volcane-sédiments (shf), des sédiments chimiques et détritiques (jaspes, schistes amphibolitiques). Des intrusions précocees de diorites et tonalites sont associées au groupe de base (voir figure 3). Elles sont datées de 2.300 à 2.170 MA.

- une série édiasentique-tectonique détritique discordante et transgressive sur les sillons et le socle sous-jacent.

L'ensemble du Birrimien a subi l'orogenèse Eburnéenne (il y a environ de 2.000 MA) qui s'est traduite par de granification syn- à métamorphique et un métamorphisme régional de l'épizone.

Ces modifications post-tectoniques ont favorisé une fracturation ultime et la mise en place de complexes hydrologiques à caractère alcalin, vers 1.700 millions d'années. Un calme géologique instauré par la suite, seulement troublé vers 500 MA par l'orogenèse "Pan-Africaine" qui affecte les séries du Précambrien terminal et de l'Infraéocambrien, au sud et sud/est du Burkina. Enfin, au niveau à l'extrême nord-ouest de la zone d'étude, les sédiments argilo-sablonneux du Continental Tenukui (Tertiaire) avec des roches métamorphiques du Précambrien A (grès, schiste, calcaro-dolomies) sous-jacentes.

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



3. CONTEXTE GEOLOGIQUE, MORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

3.1. Géologie

Les roches cristallines et cristallophylliennes de la plate-forme ouest-africaine constituent la presque totalité du sous-sol de la zone d'étude (figure 3).

Deux grands ensembles sont représentés:

- 1) le Précambrien D ou Antébirrimien,
- 2) le Précambrien C ou Birrimien.

1) **Le Précambrien D ou Antébirrimien** est essentiellement constitué de granites et migmatites granitoïdes.

Il a subi des plissements et un métamorphisme meso-à catazonal lors de l'orogénèse "libérienne" (il y a environ 2.600 millions d'années). Dans le Ganzourgou (région de Zorgho), l'Antébirrimien est constitué d'amphibolites et métagabbros sous la forme de reliquats d'un socle ancien disloqué dans les granites et schistes birrimiens. L'Antébirrimien forme le sous-sol du plateau Mossi. Les affleurements sont rares en raison de l'altération épaisse de 10 à 50 m. Le paysage est très plat, rarement dominé par quelques buttes témoins de surfaces cuirassées anciennes.

2) **Le Précambrien C ou Birrimien** est représenté par une série de remplissage de sillons intracratoniques orientés nord/est à l'ouest à l'est de Ouagadougou et ouest-nord/ouest au nord de Ouagadougou. On distingue:

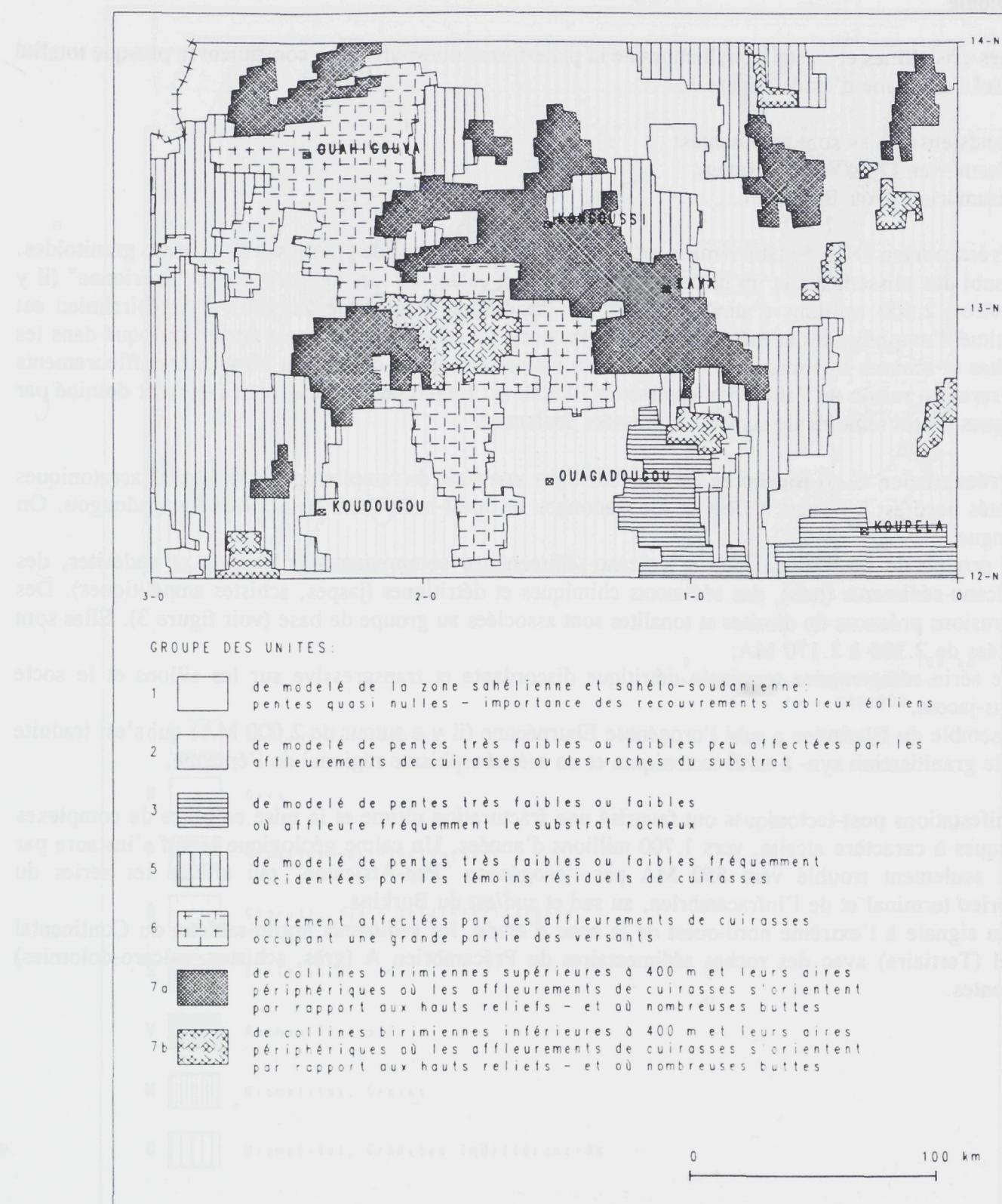
- un groupe de base volcanique et volcano-sédimentaire comprenant des basaltes et andésites, des volcano-sédiments (tufs), des sédiments chimiques et détritiques (jaspes, schistes ampélitiques). Des intrusions précoce de diorites et tonalites sont associées au groupe de base (voir figure 3). Elles sont datées de 2.300 à 2.170 MA;
- une série sédimentaire terminale détritique discordante et transgressive sur les sillons et le socle sous-jacent.

L'ensemble du Birrimien a subi l'orogénèse Eburnéenne (il y a autour de 2.000 MA) qui s'est traduite par de granitisation syn- à tardi-tectoniques et un métamorphisme régional de l'épizone.

Des manifestations post-tectoniques ont favorisé une fracturation ultime et la mise en place de complexes magmatiques à caractère alcalin, vers 1.700 millions d'années. Un calme géologique relatif s'instaure par la suite, seulement troublé vers 550 MA par l'orogénèse "Pan-Africaine" qui affecte les séries du Précambrien terminal et de l'Infracambrien, au sud et sud/est du Burkina.

Enfin, on signale à l'extrême nord-ouest de la zone d'étude, les sédiments argilo-sableux du Continental Terminal (Tertiaire) avec des roches sédimentaires du Précambrien A (grès, schistes, calcaro-dolomies) sous-jacentes.

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



3.2. Morphologie

La zone d'étude se présente comme une immense pénéplaine. Certaines zones à relief vigoureux émergent de cette pénéplaine: les systèmes collinaires dont les hauts reliefs coïncident avec les roches du complexe volcano-sédimentaire birrimien, et les divers massifs rocheux, pitons dômes, chaos correspondant aux principaux massifs granitiques intrusifs. L'armature du relief est en grande partie constituée par des cuirasses étagées, témoignages de modélés ou de surfaces d'aplanissement anciens, dont les vestiges diminuent à mesure que l'on remonte dans le temps.

La figure 4 montre une carte morphologique sur laquelle six unités ont été distinguées. Cette carte est basée sur l'étude de Marchal (1983) qui distingue 8 unités géomorphologiques pour le Burkina Faso entier. La distinction faite entre les diverses unités dans l'étude de Marchal est aussi retenue dans ce rapport.

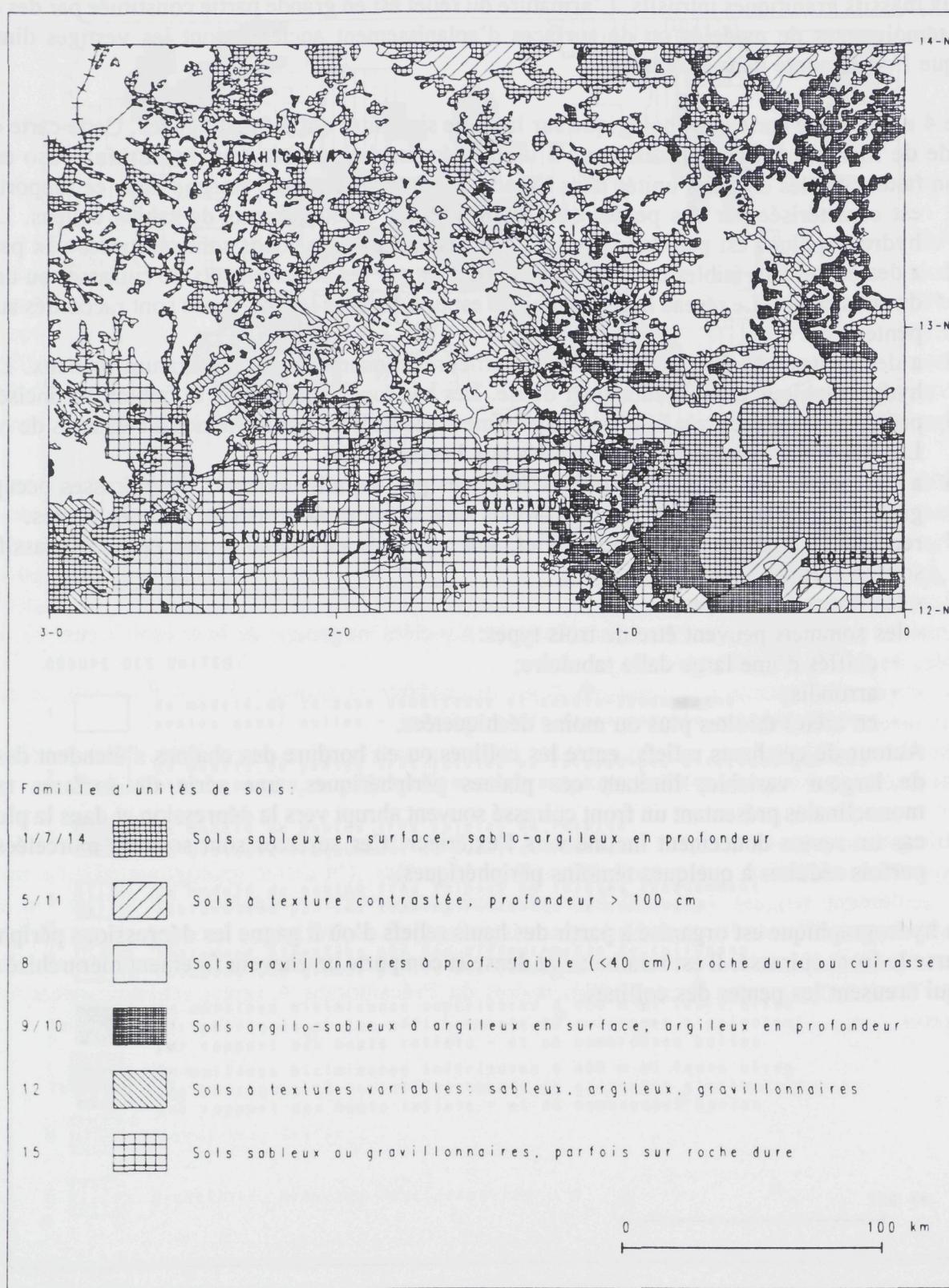
- L'unité 1 est caractérisée par des pentes quasi nulles et des recouvrements de sables éoliens. Le réseau hydrographique est peu dense ou quasi inexistant. Les bas-fonds sont raccordés aux pentes.
- L'unité 2 a des pentes très faibles ou faibles, peu affectées par les affleurements de cuirasses ou des roches du substratum. Le réseau hydrographique est peu dense et les bas-fonds sont raccordés aux basses pentes.
- L'unité 3 a des pentes très faibles ou faibles où affleure fréquemment le substratum rocheux. Le réseau hydrographique est moyennement dense. Les bas-fonds sont étroits et faiblement incisés.
- L'unité 5 présente des pentes très faibles, fréquemment accidentées par les témoins résiduels de cuirasses. Les bas-fonds sont larges et raccordés aux basses pentes.
- L'unité 6 a des pentes très faibles, fortement affectées par les affleurements de cuirasses occupant une grande partie des versants. Les bas-fonds sont larges et raccordés aux basses pentes.
- L'unité 7 représente un ensemble de hauts reliefs, soit regroupés en chaînons, soit en petits massifs isolés, soit en collines solitaires:
- les flancs sont raides;
 - les sommets peuvent être de trois types:
 - coiffés d'une large dalle tabulaire;
 - arrondis;
 - en crêtes étroites plus ou moins déchiquetées.

Autour de ces hauts reliefs, entre les collines ou en bordure des chaînes s'étendent des plaines de largeur variable; limitant ces plaines périphériques, une série de surfaces tabulaires monoclinales présentant un front cuirassé souvent abrupt vers la dépression et dans la plupart des cas un revers doucement incliné vers l'extérieur. Ces surfaces sont souvent morcelées et sont parfois réduites à quelques témoins périphériques.

Le réseau hydrographique est organisé à partir des hauts reliefs d'où il gagne les dépressions périphériques, puis traverse le front cuirassé. Il est relativement dense et comporte un chevelu finement hiérarchisé de petits talwegs qui creusent les pentes des collines.

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

Les grands horizons telliques de zones contrastées sont moins nombreux qu'à l'époque de l'ordre et leur importance relative est moins importante que celle des horizons humifères et minéraux.



3.3. Pédologie

La nature des sols du Burkina Faso est largement conditionnée par la géologie, l'évolution géomorphologique et les climats anciens et actuel.

La figure 5 montre une carte de sols schématique de la zone d'étude, basée sur les travaux de l'ORSTOM (1976).

Dans la majeure partie de la zone d'étude il subsiste un manteau d'altération principalement hérité des périodes où se sont formées les surfaces les plus anciennes (Eocène et Pliocène), à fraction argileuse presque exclusivement constituée de kaolinite. Il existe également des zones importantes (nord, nord-est, sud-est) où le manteau de l'altération kaolinitique ancienne a été complètement déblayé. Les sols s'y sont développés à partir de matériaux de l'altération plus récente, dérivés des niveaux arénacés ou des roches saines. Leur altération aboutit le plus souvent à la formation d'argile montmorillonitique.

La composition chimique de la roche mère ainsi que les climats subactuels et actuel influencent nettement le type de sol qui s'y développe. Par exemple les granites calco-alcalins ont donné lieu à des sols alcalins (Solonetz) sous l'influence d'un climat relativement sec (nord et nord-est du pays); par ailleurs ces mêmes roches ont donné naissance à des sols bruns eutrophes vertiques ou à des vertisols sous l'influence d'un climat (un peu) plus humide (sud-est).

On est ainsi amené à distinguer deux grands ensembles de sols:

- sols dérivés de matériaux de l'*altération kaolinitique ancienne*, à fertilité chimique généralement faible, à propriétés physiques (profondeur d'enracinement, présence d'éléments grossiers) très variables, à drainage généralement bon ou modéré;
- sols développés à partir des matériaux de l'*altération montmorillonitique récente*, à fertilité chimique généralement assez élevée, à propriétés physiques (conditions d'enracinement) généralement médiocres ou moyennes, à drainage le plus souvent imparfait.

Par ailleurs, les sols formés sur les dépôts quaternaires peuvent également être divisés en deux familles:

- les sols de *sables éoliens* (de texture très ableuses), chimiquement pauvres et de capacité de rétention d'eau très limitée offrant de très bonnes conditions d'infiltration;
- les sols d'*alluvions*, sols hydromorphes à fertilité élevée et à drainage imparfait ou mauvais.

3.4. Dégradation du milieu naturel

On distingue en gros trois types de végétation: les steppes au nord, les savanes au sud et les forêts classées le long du Nakambé. Ce milieu naturel est en voie de dégradation à cause de plusieurs facteurs combinés:

- la sécheresse;
- les feux de brousse;
- l'agriculture;
- le surpâturage;
- l'urbanisation.

Cette dégradation est la plus prononcée dans la partie nord de la zone nord-soudanienne où la pression démographique est élevée par rapport à la capacité de charge du milieu naturel.

L'agriculture, secteur économique de loin le plus important du Burkina, exploite de plus en plus le milieu naturel. Dans la zone d'étude, la densité humaine et animale est élevée. L'agriculture est dominée par la production céréalière complétée par un élevage d'ovins-caprins important. Face à une productivité décroissante des sols et une croissance rapide de la population, la population a défriché le milieu naturel à grande échelle. En plus, la période de jachère n'est plus respectée.

La carte "Recul de la savane naturelle" (voir feuille Ouagadougou) est déduite d'une cartographie comparative à l'aide d'images Landsat MSS (1:500.000) de 1975 et de 1987. En 1975, environ 32% de la superficie était dégradée. Pendant 12 ans, ce pourcentage est remonté vers 65%. On constate que surtout la partie nord de la zone d'étude est affectée par une dégradation du milieu naturel, ainsi que la zone autour de Ouagadougou et Koudougou.

4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES AQUIFERES

4.1. Ensembles hydrogéologiques

La zone d'étude peut être subdivisée en trois ensembles hydrogéologiques correspondant aux trois unités géologiques principales:

- a) **Un ensemble à dominante granito - gneissique ou migmatique (Anté-Birimien)**, le plus étendu du point de vue géographique. Il est caractérisé par une épaisseur d'altération, donc une potentialité hydraulique, assez faible mais qui peut être localement améliorée par l'existence de différents réseaux de fractures aux mailles parfois serrées à condition toutefois que celles-ci ne soient pas colmatées par des argiles d'altération. Les potentialités aquifères semblent augmenter avec l'âge de roches granitiques. Les granites anté-birrimiens sont parmi les formations les plus favorables du socle, les granites post-tectoniques par contre sont peu fracturés et impliquent des taux d'échec relativement importants dans les campagnes de forage. Les granites syntectoniques et les migmatites semblent occuper une position intermédiaire. Il est généralement admis que le modèle hydrogéologique pour les aquifères granitiques consiste en des zones fracturées caractérisées par une altération plus profonde et une frange granulaire plus épaisse et par des fissures ouvertes assurant une perméabilité plus élevée que dans les zones non fracturées.
- b) **Un ensemble à dominante schisto-gréseuse ou volcano-sédimentaire (Birimien)**. Celui-ci se caractérise par une frange d'altération généralement très épaisse et argileuse, et une forte hétérogénéité lithologique liée à l'alternance des schistes avec des grès, des arkoses, des conglomérats, des grauwackes ou des tufites, ainsi qu'à l'existence de petits filons quartzueux. Cette série hétérogène dessine des plis isoclinaux, aux flancs redressés, les roches étant affectées par plusieurs schistosités généralisées qui augmentent considérablement la porosité de fracture; mais les ressources sont limitées en raison de la faible perméabilité du matériau. Cependant, la présence d'intercalations détritiques ou volcano-détritiques, et de filons de quartz, qui agissent comme des drains, contribue grandement à améliorer la qualité du réservoir, non seulement dans la tranche superficielle altérée, mais également en profondeur. Les roches "schisteuses" forment des aquifères sensiblement différents des roches granitiques. Les statistiques sur les données de forage ont démontré que le taux de réussite est plus élevé dans les schistes mais que les débits obtenus sont en général moins élevés que dans les granites. Le modèle hydrogéologique pour les aquifères schisteux n'est pas encore bien défini. Les venues d'eau dans les schistes sont souvent associées aux filons de quartz qui seraient plus fracturés que les roches qui les entourent et qui se déforment d'une façon plus plastique. Geirnaert et al (1988) suggèrent que la dissolution de calcite associée aux filons de quartz peut être importante dans la formation des couches perméables au sein des roches schisteuses.
- c) **Un ensemble sédimentaire**, le moins étendu du point de vue géographique. Il se caractérise par des lithologies variées: schistes, grès, calcaires, dolomies, argilites. Elles sont recouvertes par les sédiments argilo-sableux du Continental Terminal. Les caractéristiques hydrogéologiques sont très contrastées: les argilites sont pratiquement stériles, les formations calcaro-dolomitiques sont susceptibles de fournir d'excellents débits lorsqu'elles sont karstifiées.

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

Grandes unités hydrogéologiques	Systèmes aquifères			
	Milieu fissuré	Milieu karstifié	Zone altérée	Latérites
<i>Socle:</i>				
Granito-gneisique	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

4.2. Systèmes aquifères

On distingue en principe trois systèmes aquifères superposés:

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

Généralement les aquifères des altérites sont en contact hydraulique avec les aquifères des roches fracturées sous-jacentes. Ils forment un système aquifère bi-couche avec la zone altérée surtout capacitive et le milieu fissuré surtout conducteur. La zone altérée peut être décrite comme un milieu à porosité d'interstices où les lois classiques, basées sur celle de Darcy, sont applicables. Le milieu fissuré sous-jacent, par contre est hétérogène et ses caractéristiques hydrauliques sont plutôt déterminées par la densité et la géométrie des fissures. Ces fissures se ferment progressivement avec la profondeur, de position mal définie.

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

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

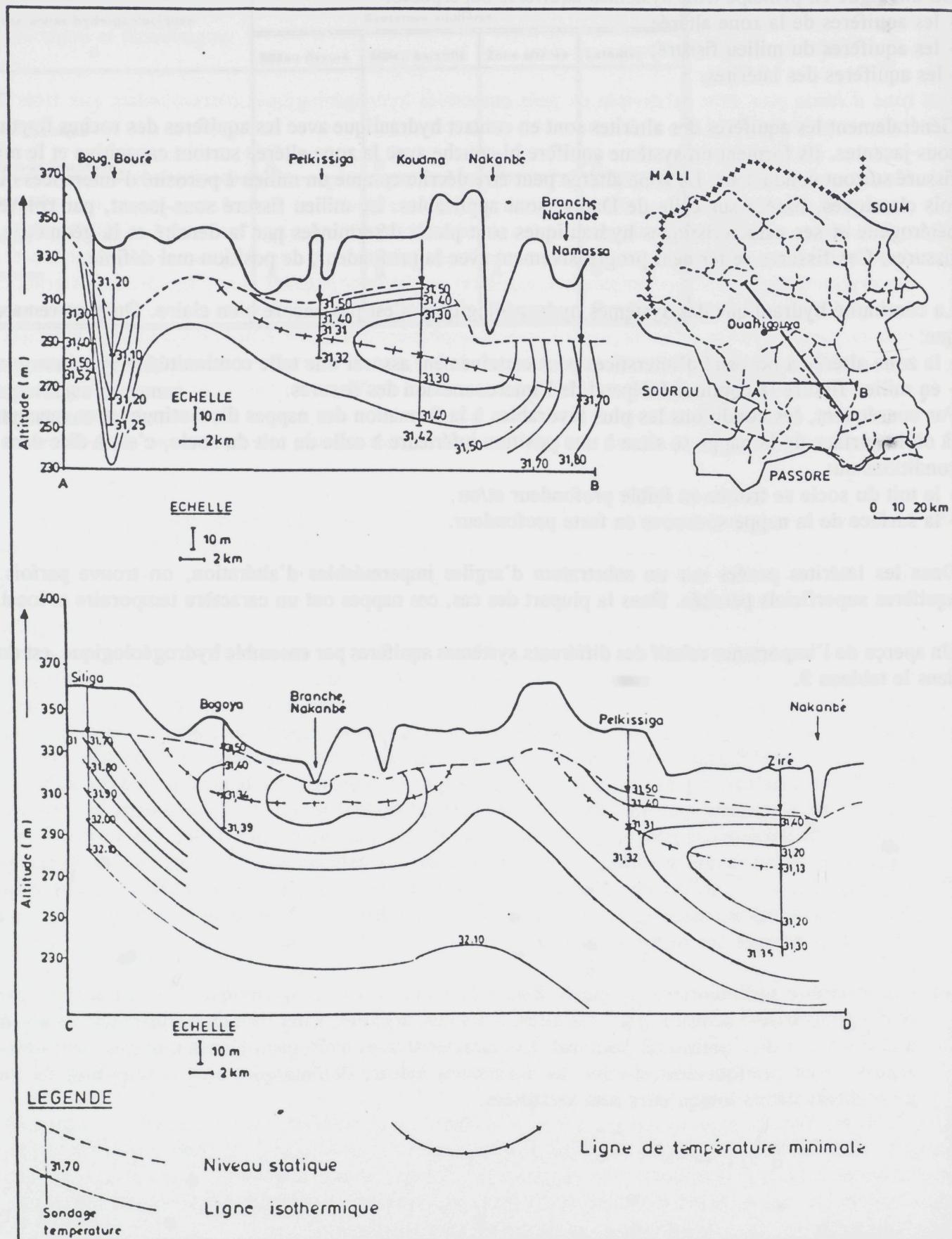
Par conséquent, les conditions les plus favorables à la formation des nappes discontinues sont rencontrées là où la surface de la nappe se situe à une position inférieure à celle du toit du socle, c'est-à-dire dans des conditions où:

- le toit du socle se trouve en faible profondeur et/ou
- la surface de la nappe se trouve en forte profondeur.

Dans les latérites posées sur un substratum d'argiles imperméables d'altération, on trouve parfois des aquifères superficiels perchés. Dans la plupart des cas, ces nappes ont un caractère temporaire et local.

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

Figure 6. Coupes thermiques transversales dans la province du Yatenga (après IWACO/CIEH, 1990).



5. MECANISMES DE RECHARGE ET DECHARGE DES NAPPES

5.1. Introduction

Trois types de mécanismes 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: canalicules, zones fracturées, filons de quartz (recharge par voies préférentielles);
- *alimentation indirecte*. 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*;
- *écoulements souterrains latéraux*;
- *évapotranspiration*.

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

5.2. Variations dans l'espace

a) Recharge

Plusieurs études (réf. 2,4,9) ont démontré que l'eau infiltrée parvient à la nappe surtout par voies préférentielles.

L'étude de quatre bassins versants expérimentaux du projet Bilan d'Eau (réf. 2) a permis de constater que pour les deux bassins situés au nord, à Tougou (Yatenga) et Barsalogho (Sanmatenga), la recharge indirecte domine. La recharge y est la plus élevée au niveau des bas-fonds. Ce phénomène se manifeste par:

- i) des eaux souterraines relativement froides au niveau des bas-fonds;
- ii) des conductivités électriques (CE) relativement basses des eaux souterraines aux bas-fonds (lessivage intensif);
- iii) des variations piézométriques relativement importantes dans les bas-fonds.

i) Dans le projet "Etude des ressources en eau souterraine dans le Yatenga", exécuté par IWACO/CIEH (réf. 11), des profils verticaux de température ont été établis dans différents piézomètres de la province. En analysant la gamme des températures mesurées en fonction de la géomorphologie régionale on voit que les eaux relativement "froides" sont invariablement liées aux bas-fonds ou à la présence des barrages. Les eaux relativement "chaudes" sont toujours liées aux plateaux et aux interfluves régionaux.

Les profils schématiques de la figure 6 mettent en évidence la présence d'un volume d'eau relativement froide autour des marigots principaux. Cette basse température pourrait s'expliquer par une recharge importante par l'eau de pluie ou de ruissellement (toujours relativement froide) à partir des principaux marigots. Apparemment la dominance de la recharge indirecte joue non seulement à l'échelle du bassin de Tougou mais aussi à l'échelle de la province du Yatenga.

Figure 7. Relation Conductivité Electrique - géomorphologie.

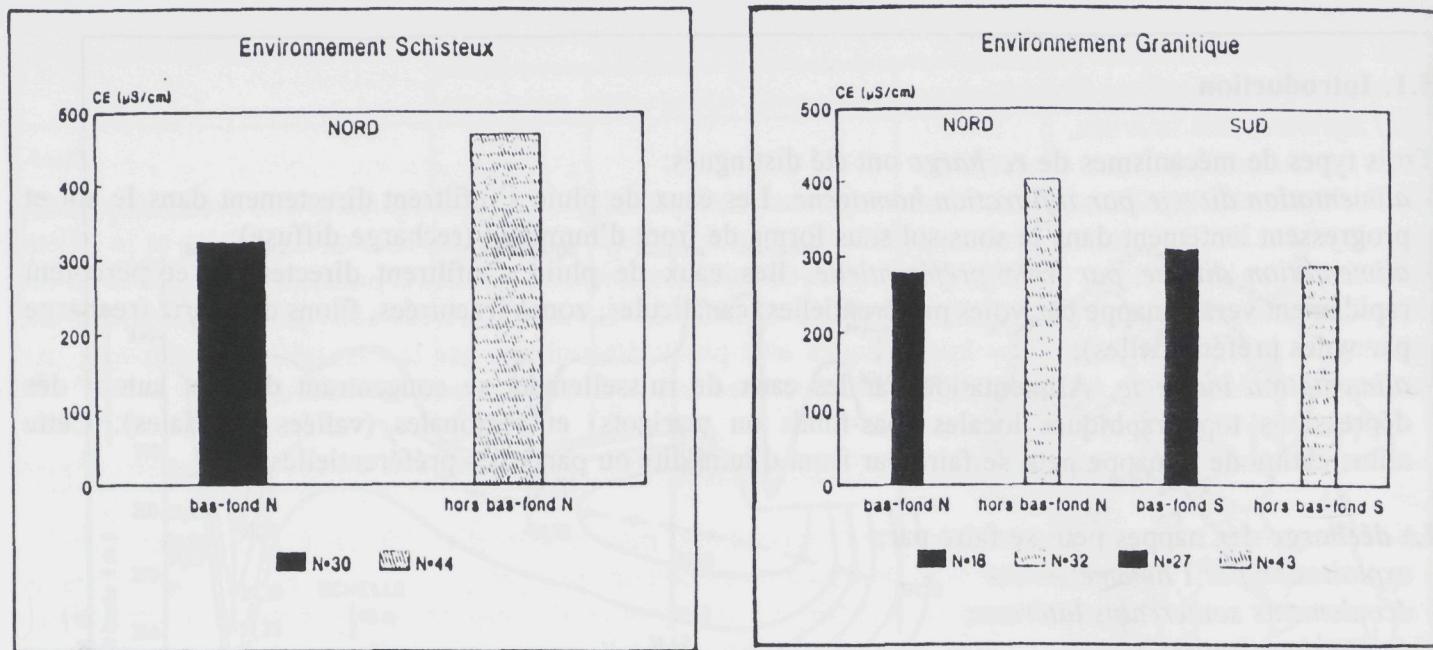
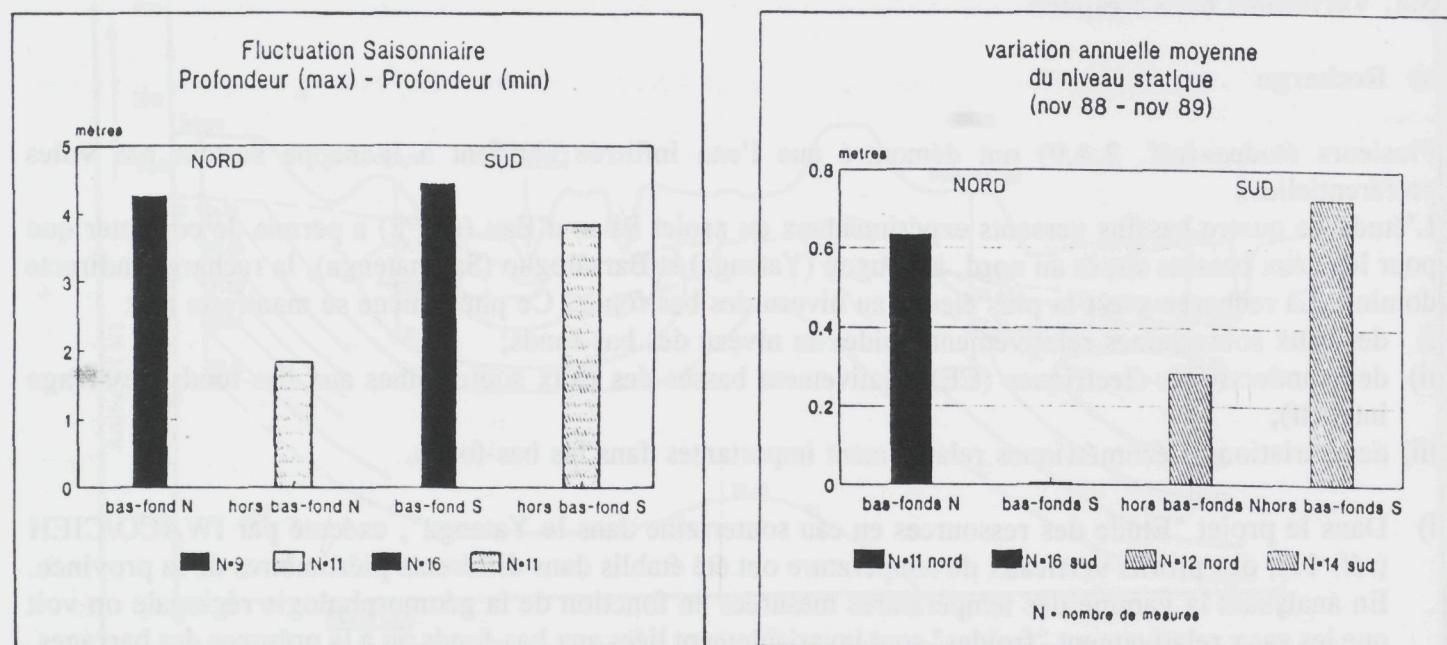


Figure 8. Relation niveau statique - géomorphologie.



- ii) En utilisant les mesures de conductivité électrique (CE) concernant la période 1987-88 fournies par les campagnes d'hydraulique villageoise, on a établi la relation entre la CE et la position par rapport aux bas-fonds pour la zone d'étude (figure 7), pour la partie nord de la parallèle de 13°N et pour la partie au sud de celle-ci. La figure montre bien qu'au nord, la conductivité électrique est nettement inférieure au niveau des bas-fonds qu'en dehors de ceux-ci. Ceci s'applique aux environnements granitique et schisteux. Au sud, la relation semble s'inverser pour l'environnement granitique (pour l'environnement schisteux, le nombre de mesures est trop limité).
- iii) Un même type d'analyse a été fait pour les fluctuations du niveau statique (figure 8). Pour cette analyse, les données du réseau piézométrique du projet Bilan d'Eau ont été utilisées. Sur la partie nord de la feuille de la carte de Ouagadougou, le niveau piézométrique varie beaucoup plus avec les saisons dans les bas-fonds qu'en dehors de ceux-ci. La remontée nette du niveau piézométrique (une remontée suite à la pluviométrie croissante) est aussi beaucoup plus élevée au niveau des bas-fonds dans le nord.

En conclusion, on peut dire que les mesures de température, de conductivité électrique et de niveau piézométrique démontrent clairement que la recharge des nappes à lieu surtout au niveau des bas-fonds dans la partie nord de la zone d'étude. La recharge indirecte y domine. Dans la partie sud, la recharge semble avoir lieu "partout" et la recharge directe y domine. En dehors des zones sédimentaires, la recharge des nappes est rapide et semble avoir lieu surtout par voies préférentielles.

b) Décharge

La quantité d'eau souterraine exploitée par l'homme ne constitue qu'un faible pourcentage de la recharge des nappes (bien que *localement* les nappes puissent être surexploitées). L'écoulement latéral souterrain et l'évapotranspiration sont donc les mécanismes prédominants.

Dans la région sédimentaire, les écoulements régionaux sont bien connus et se manifestent par de nombreuses sources et par l'existence de forages artésiens.

Sur le socle cristallin, on ne trouve pas d'indication claire d'un écoulement régional. On signale que le Nakanbé était pérenne dans sa partie aval pendant les années 1950: pendant cette période un débit de base était assuré par les écoulements souterrains. Le fait que le Nakanbé, dans sa partie aval, coule pendant 7 à 8 mois sur 12 et qu'on trouve de l'eau en permanence dans les points bas du lit de la rivière, indique qu'un certain écoulement existe toujours.

En allant vers le nord, on note de plus en plus fréquemment une concentration des sels minéraux dans les eaux souterraines accompagnée d'un léger accroissement du fractionnement isotopique (réf. 10) avec une variabilité croissante. Ceci implique une reprise évaporatoire de plus en plus importante et une hétérogénéité de plus en plus marquée du milieu qui se différencie en petites unités aquifères.

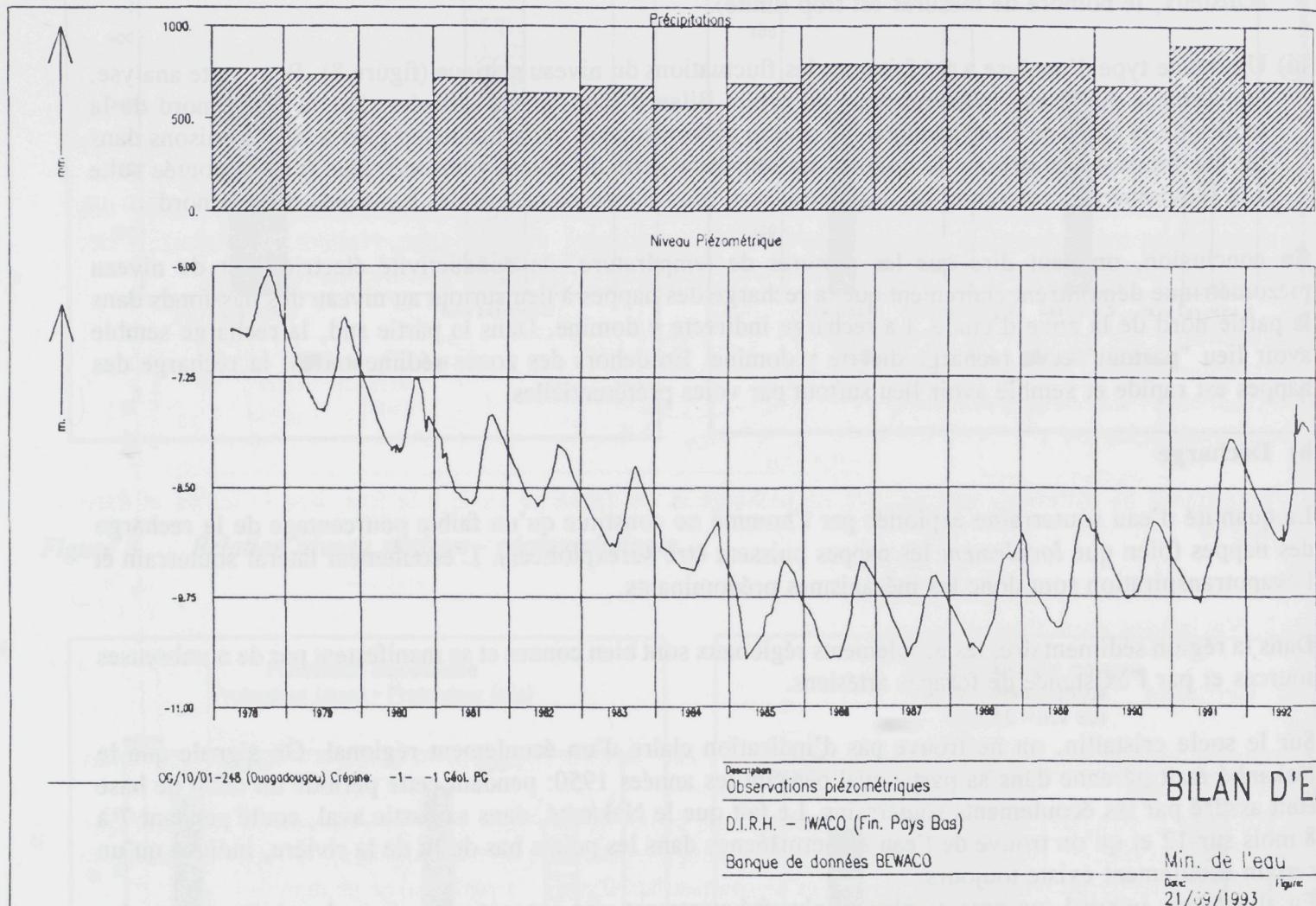
Tout indique donc que le phénomène écoulement souterrain dans le socle cristallin prend de l'importance en allant du nord au sud.

Si un écoulement existe en direction des cours d'eau principaux, la question se pose de l'ultime destination de l'eau.

Pendant la saison sèche le débit des fleuves est nul tandis que les prélèvements par l'homme sont très peu importants. Il paraît également exclu qu'un écoulement existe à travers des niveaux perméables sous le lit des fleuves: le gradient longitudinal des fleuves est très faible alors qu'on n'a pas trouvé de couches perméables de grande épaisseur sous leur lit.

En outre les débits de base de la Volta Blanche et de la Volta Rouge au Ghana (environ 2 m³/s) sont beaucoup trop faibles. Un écoulement de 20 mm/an (la recharge supposée aux environs de Ouagadougou) en provenance du bassin versant de ces fleuves (60.000 km²) donnerait un débit de 40 m³/sec environ.

Figure 9. Observations piézométriques du piézomètre du CIEH à Ouagadougou.



La seule explication de la destination ultime de l'eau se trouve dans l'évaporation qui a lieu dans les bas-fonds. La végétation, précisément dense lorsque la nappe est à faible profondeur, engendre une transpiration importante permettant ainsi à l'eau de gagner l'atmosphère. De plus, une partie de l'eau souterraine peut être reprise par la végétation ligneuse sur les interfluves (arbres à racines profondes, comme l'Acacia Albida).

5.3. Variations de la recharge dans le temps

Deux facteurs influent sur l'alimentation des nappes:

- a) les variations pluviométriques dans le temps;
- b) le changement de l'état de l'environnement dans le temps.

- a) L'*influence de la pluviométrie* sur le niveau de la nappe est clairement montrée par les observations piézométriques. Le piézomètre du CIEH à Ouagadougou (figure 9), le premier à avoir été suivi systématiquement au Burkina Faso, montre une tendance à la baisse suite à la sécheresse d'environ 0,5 m/an depuis 1978 jusqu'à un minimum atteint en 1985. Depuis cette date le niveau de la nappe semble s'être stabilisé et actuellement une remontée peut être observée. Cette remontée est due à la pluviométrie croissante.
- b) Plusieurs études ont établi la relation étroite entre l'*état de l'environnement* et le comportement hydrologique des bassins versants. Albergel (1988) a clairement démontré que la diminution du couvert herbacé et l'extension des zones cultivées favorisent les tassements de la surface du sol et le développement de pellicules imperméables ainsi que l'extension de zones très érodées. Il conclut que la perméabilité d'un sol apparaît être une grandeur plus liée à l'écologie du milieu qu'à sa nature physique au sens strict.

L'étude comparative des comportements du Nakanbé et Nazinon (réf. 1), a montré que pour la partie amont du Nakanbé les coefficients de ruissellement ont augmenté au cours des années malgré une pluviométrie décroissante. Cette situation contradictoire est en relation directe avec la dégradation progressive de cette partie du bassin comme démontré par une cartographie comparative 1975-1987 (DEP/IWACO, 1990).

La relation dégradation-recharge des nappes est plus difficile à établir à cause de la faible historique des observations piézométriques.

La figure 10 montre pour la province du Yatenga la remontée nette moyenne de la nappe, entre novembre 1988 et novembre 1989, en différentes positions géomorphologiques (IWACO/CIEH, 1990). La remontée semble être la plus élevée dans les bas-fonds; à la mi-pente on n'observe même pas de remontée.

La figure 11 montre le même type d'analyse pour les piézomètres situés sur la feuille de la carte 1/500.000 de Ouagadougou. La situation dans la partie nord de la région correspond bien à ce qui a été observé dans le Yatenga: faible remontée au niveau des mi-pentes. Au sud, par contre; la mi-pente semble encore jouer un rôle actif dans la recharge des nappes. La dégradation du milieu, la plus étendue au nord et la plus prononcée sur la mi-pente, a donc aussi une influence appréciable sur la recharge des nappes.

La dégradation de l'environnement a des conséquences négatives sur la disponibilité en eau en saison sèche:

- à cause de l'augmentation des ruissellements et de la diminution de la recharge, les quantités d'eau retenues dans les bassins versants diminuent;
- la concentration de la recharge des nappes dans les bas-fonds, limite de plus en plus les possibilités d'exploitation des eaux souterraines à cette partie du bassin.

Figure 10. Comparaison des niveaux statiques moyens en novembre 1988 et novembre 1989 dans le Yatenga.

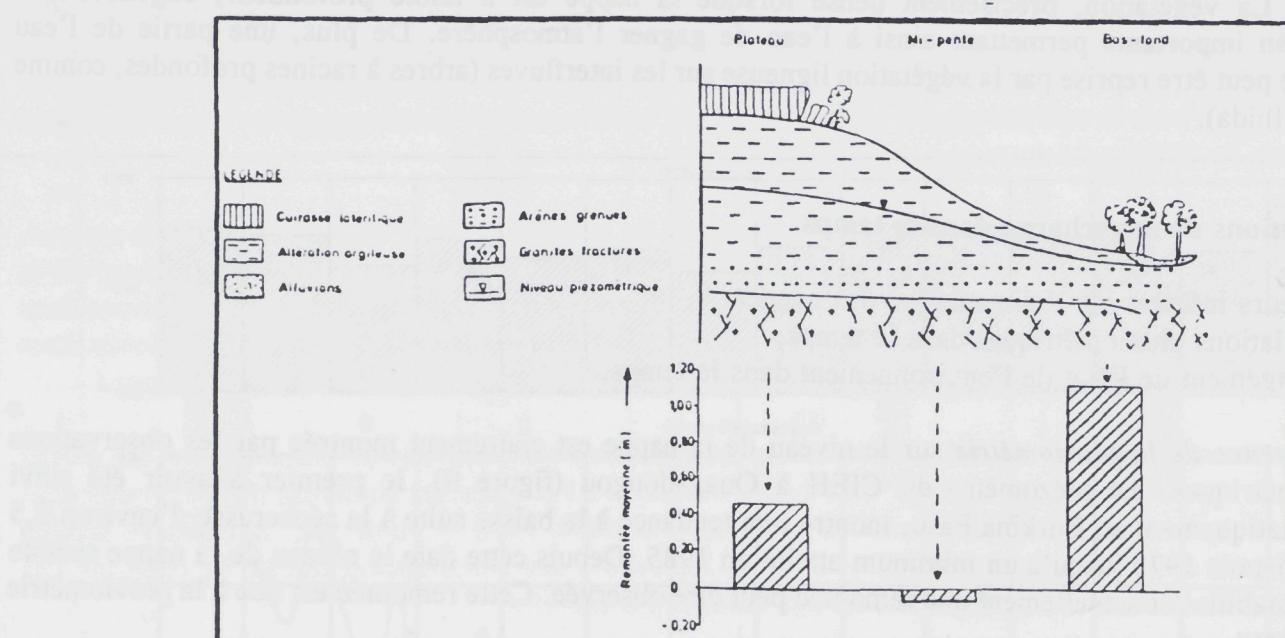
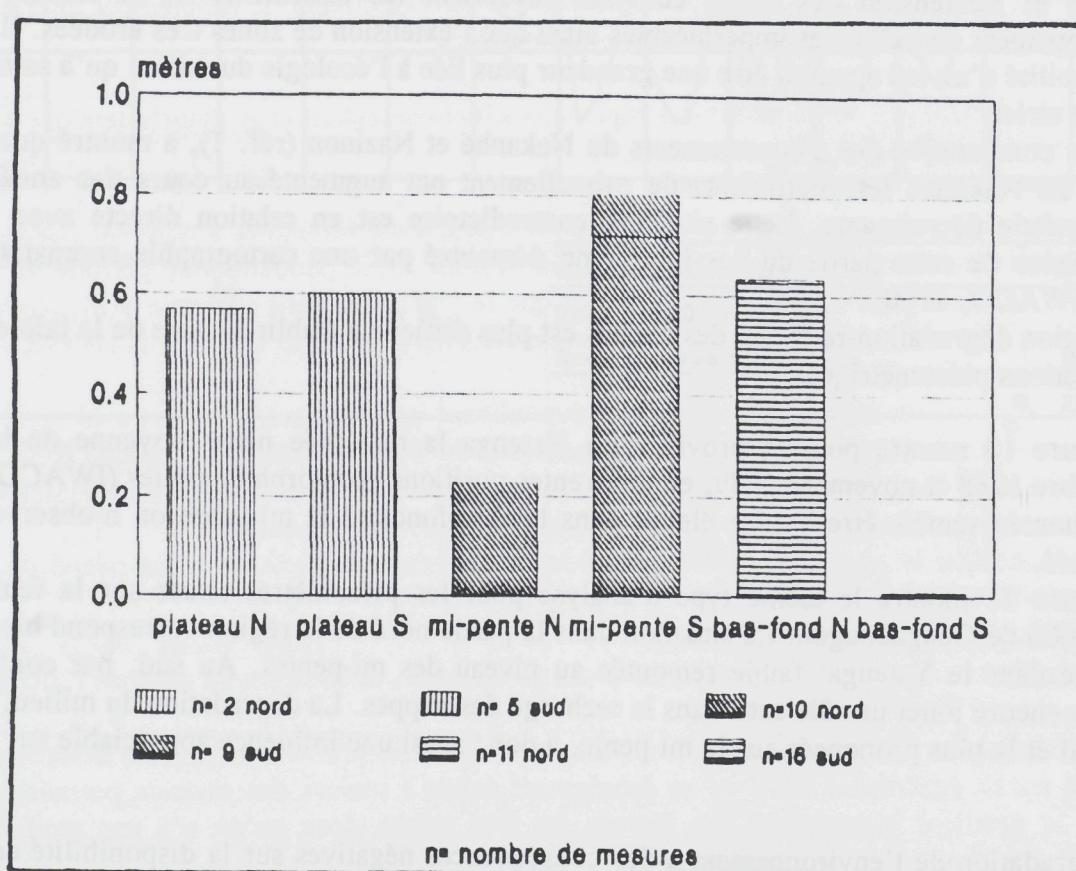


Figure 11. Comparaison des niveaux statistiques moyens en novembre 1988 et novembre 1989 sur le Plateau Mossi.



5.4. Quantification de la recharge

Vu les différents mécanismes impliqués et le complexe de facteurs qui l'influe, la quantification de la recharge est extrêmement délicate.

Dans la partie nord de la zone d'étude, la recharge varie considérablement d'un endroit à l'autre. Suivant les différentes estimations, la recharge varie de quasiment nulle jusqu'aux valeurs dépassant le 100 mm dans le bas-fonds (réf. 2,10). Dans le sud, la recharge des nappes semble être beaucoup plus homogène et les estimations varient entre 2 et 10% de la pluviométrie (réf. 2,9).

L'expression de la recharge comme pourcentage de la pluviométrie est cependant délicate: Milville (1990) a calculé la recharge pour les périodes 1985-1988 et 1953-1988 pour le même site (Barogo). Pour la première période avec une pluie moyenne annuelle de 551 mm, la recharge annuelle a été estimée à 47 mm (8,5%). Pour la deuxième période, la recharge estimée était de 107 mm pour une pluie moyenne de 720 mm (14,9%). Ainsi une diminution de la pluie de 24% a engendré une baisse de la recharge de 56%.

On constate que la recharge ne varie pas seulement considérablement dans l'espace mais aussi dans le temps. Ces variations dans le temps ne peuvent pas être décrites par une relation simple pluviométrie-recharge. Dans le cadre de cette étude, on se limite à indiquer les zones favorables à la recharge de nappes sans essai de quantification.

6. CONCEPTION DE LA CARTE

6.1. Introduction

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.

La carte fournit les paramètres décrivant le milieu hydrogéologique tels que:

- épaisseur de l'altération;
- profondeur du niveau statique;
- lithologie de la roche mère;
- résultats des forages existants;
- zones favorables à l'infiltration des eaux;
- réseau hydrographique et position des barrages.

Ces paramètres permettent de se faire une idée des éléments importants à toute exploitation d'eau souterraine:

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

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 sont souvent à différentes échelles;
- les données ponctuelles stockées dans la banque de données BEWACO du projet Bilan d'Eau (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 hydrogéologique au 1/500.000 consiste en plusieurs couches superposées:

- la géologie;
- l'épaisseur de l'altération et l'épaisseur de l'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, trois cartes en plus petite échelle sont présentées:

- carte d'isohyètes (1/2.500.000);
- carte de dégradation de l'environnement (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 roche fissurée joue le rôle de *conduite* dans le système aquifère. La nature des roches est le facteur principal déterminant les caractéristiques hydrauliques des aquifères. Les différentes unités géologiques distinguées par HOTTIN et OUEDRAOGO (1976) ont été regroupées en 7 unités qui sont plus ou moins homogènes quant à leurs caractéristiques aquifères. Cette schématisation se base sur les résultats des nombreuses campagnes d'hydraulique villageoise décrites dans les rapports fin de travaux. Ces rapports de synthèse (BRGM, BURGEAP, IWACO, DIWI, ONPF, etc.) évaluent les résultats par unité géologique principale en appliquant des méthodes statistiques.

Ces 7 unités sont présentées ci-dessous suivant un ordre *croissant* des meilleures conditions hydrogéologiques:

1. granites post-tectoniques (P);
2. granites syn- à tardi-tectoniques (B);
3. schistes (S);
4. roches vertes (V);
5. migmatites, gneiss (M);
6. migmatites, granites indifférenciés (G);
7. 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 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 de l'altération présente une hétérogénéité considérable*: parfois, les variations à échelle locale dépassent celles à échelle régionale. Malgré cela, les données de plus de 5000 forages ont permis d'en tracer les grandes lignes.
- comme la cartographie est surtout basée sur les données de forage 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.

c) Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique a été présenté de la même façon que sur la carte au 1/500.000 de l'IGB. Les grands plans d'eau (lacs, mares, lacs de barrage) y sont aussi indiqués, ainsi que les sites de barrages et retenues d'eau les plus importants. Pour cela, on s'est basé sur l'inventaire de l'ONBAH (ONBAH, 1987), le travail de cartographie du projet BKF/86/001 (Triboulet, 1988), et le travail 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 de ressources en sols de l'ORSTOM (1976); voir aussi Fig. 5. Les unités agro-pédologiques distinguées sur cette carte ont été classifiées qualitativement en termes d'aptitude à l'infiltration des eaux de la façon montrée dans le tableau 4.

Tableau 4: Classification des unités agro-pédologiques en termes d'aptitudes à l'infiltration (unités agro-pédologique d'après ORSTOM, 1976)

Aptitude à l'infiltration	Unité agro-pédologique
faible	1,1b,1c - 5a - 7 - 8,8a,8b,8h,8i,8j - 10c - 11a,11c,11d,11e - 12m,12r - 15b,15e,15f
bonne	1a - 5b,5c - 12,12a,12b,12c,12d,12k - 14e,14g,14p - 15c,15d,15g
très bonne	9,9a,9b,9d,9e,9f,9g,9i,9j,9k - 10e - 14,14a,14b,14k

On a considéré, comme Albergel (1988) que la perméabilité d'un sol apparaît être une grandeur plus liée à l'écologie du milieu qu'à sa nature physique au sens strict. Comme dans la partie nord de la zone d'étude les activités biologiques se concentrent surtout aux bas-fonds, c'est aussi là, où les conditions d'infiltration sont les plus favorables. Dans la partie sud, la végétation est mieux repartie et ici les bas-fonds jouent beaucoup moins le rôle de zone d'infiltration préférentielle (voir le chapitre 5). Pour l'appreciation 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, notamment dans la partie nord de la zone d'étude. Sur la base de données disponibles (pour la vaste majorité des observations ponctuelles), les lignes de 10 m et de 25 m sous-sol ont été indiquées. Ces lignes s'appliquent à la nappe profonde captée par les forages d'hydraulique villageoise 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. Pas tous les forages y figurent, puisque parfois on trouve plusieurs forages sur une petite superficie: p.e. à Ouagadougou ville on trouve déjà plus de 300 forages.

Les piézomètres sont les forages dans lesquels le niveau d'eau est régulièrement suivi.

Tableau 5: Nombre de forages par degré carré.

Degré carré	Nombre total	Nombre avec débit $\geq 1 \text{ m}^3/\text{h}$	Nombre avec débit $\geq 5 \text{ m}^3/\text{h}$
Ouahigouya	450	340	48
Kaya	706	338	78
Pissila	630	317	49
Koudougou	517	309	95
Ouagadougou	2.258	1.288	398
Boulga	1.369	787	207
TOTAL	5.930	3.379	875

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

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

Il faut remarquer que le débit d'un forage ne correspond pas toujours à la productivité potentielle du site: souvent la foration est arrêtée quand un certain débit cible est atteint, c'est-à-dire le site peut être plus productif que ne l'indique le débit fin foration.

Le tableau 5 donne le nombre de forages par degré carré de la zone d'étude.

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 National).

Carte de dégradation de l'environnement

Cette carte se base sur l'étude comparative des images Landsat MSS au 1/500.000 de 1975 et 1985 (réf. 1) et montre le recul de la savane naturelle suite à la sécheresse et aux activités agricoles et pastorales.

Carte de situation

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

Pour étudier l'influence de l'application de la géométrie hydrologique sur le taux de séchage (TDS), on a analysé des régions de dégagement de 100 ha (RVD) et de 10 ha (PRV). Il s'agit de 3 PRV où l'application de la géométrie hydrologique n'a pas été appliquée et de 52 PRV où la géométrie hydrologique a été appliquée aux deux extrémités de la rivière (au niveau des deux villages). Pour chaque RVD, on a calculé le TDS moyen pour les deux types de géométrie hydrologique et on a comparé les résultats. Les résultats sont les suivants:
a) Comparaison entre les deux types de géométrie hydrologique pour les résultats de l'application de la géométrie hydrologique aux deux extrémités des deux villages.
b) Jeudi le jeudi pour les deux types de géométrie hydrologique.
c) Quelles sont les différences dans les résultats entre les deux types de géométrie hydrologique pour les deux villages.
d) Application de la géométrie hydrologique aux deux extrémités de la rivière.
Pour déterminer l'influence de l'application de la géométrie hydrologique sur le taux de séchage (TDS), on a analysé des régions de dégagement de 100 ha (RVD) et de 10 ha (PRV). Il s'agit de 3 PRV où l'application de la géométrie hydrologique n'a pas été appliquée et de 52 PRV où la géométrie hydrologique a été appliquée aux deux extrémités de la rivière (au niveau des deux villages). Pour chaque RVD, on a calculé le TDS moyen pour les deux types de géométrie hydrologique et on a comparé les résultats. Les résultats sont les suivants:
a) Comparaison entre les deux types de géométrie hydrologique pour les résultats de l'application de la géométrie hydrologique aux deux extrémités des deux villages.
b) Jeudi le jeudi pour les deux types de géométrie hydrologique.
c) Quelles sont les différences dans les résultats entre les deux types de géométrie hydrologique pour les deux villages.
d) Application de la géométrie hydrologique aux deux extrémités de la rivière.

Il résulte que l'application de la géométrie hydrologique réduit une variation du TDS qui varie de 3,6 % pour les sols très peu arrosés à 14,7% pour les grands cours d'eau avec une épaisseur d'altération de 20 à 40m.

Figure 12. 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.

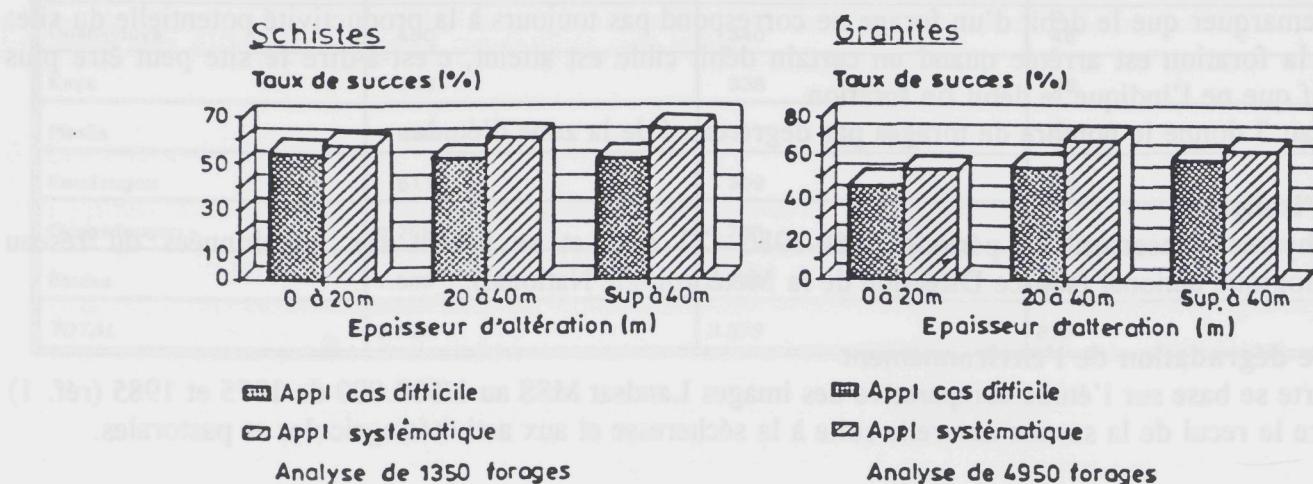
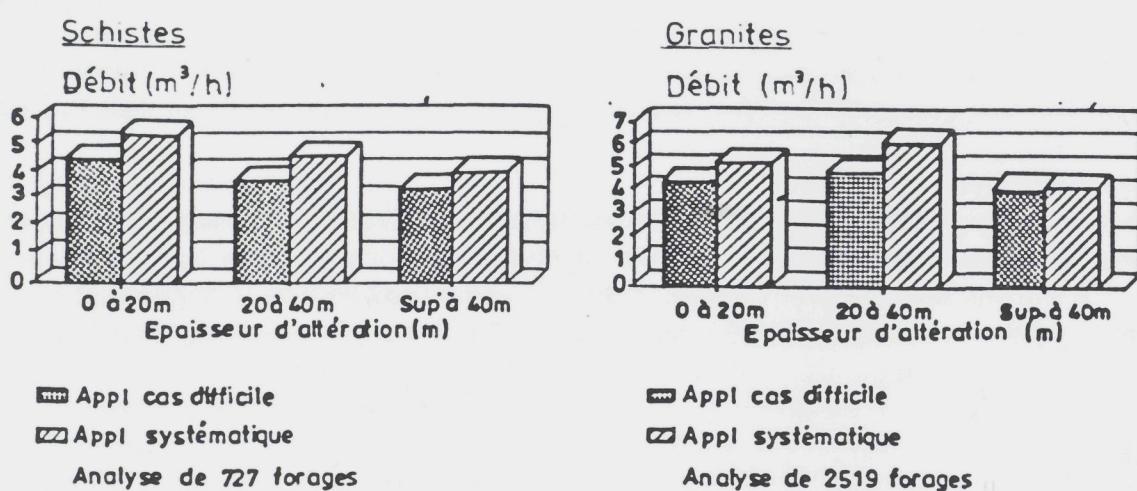


Figure 13. Influence de l'application systématique de la géophysique sur le débit de soufflage des forages en fonction de la lithologie de la roche mère et l'épaisseur de l'altération.



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 du point d'eau au 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). 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). Les résultats sont présentés sous forme d'histogrammes sur la figure 12.

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 40m.

Figure 14: Augmentation du taux de succès avec la profondeur en fonction de l'épaisseur de l'altération.

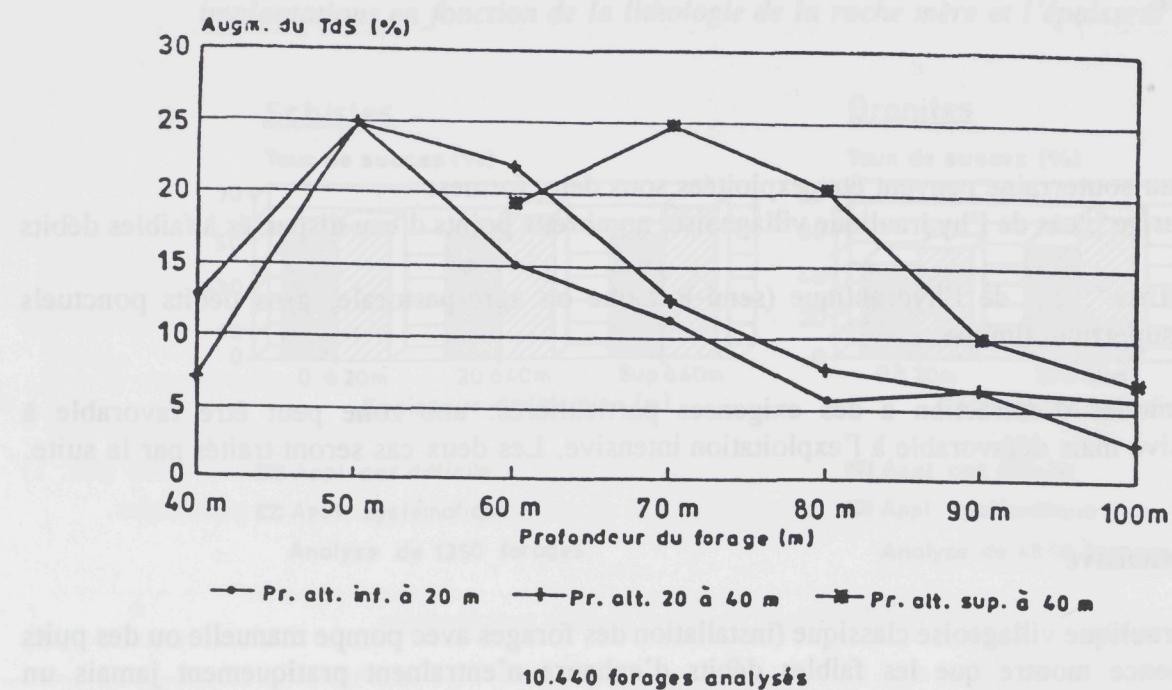


Tableau 6: Recommandations pour la création des points d'eau d'hydraulique villageoise.

Géologie	Epaisseur d'altération saturée (m)			
	0-10	10-30 ^(*)	30-50 ^(**)	50
P	G, 65, -	G, 75, -		
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	(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

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.

- Dans les *zones granitiques* où l'altération a une épaisseur relativement faible (0 à 20m) 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 13. On note que le débit moyen des ouvrages dans le premier cas est nettement supérieur à celui des ouvrages du second cas.

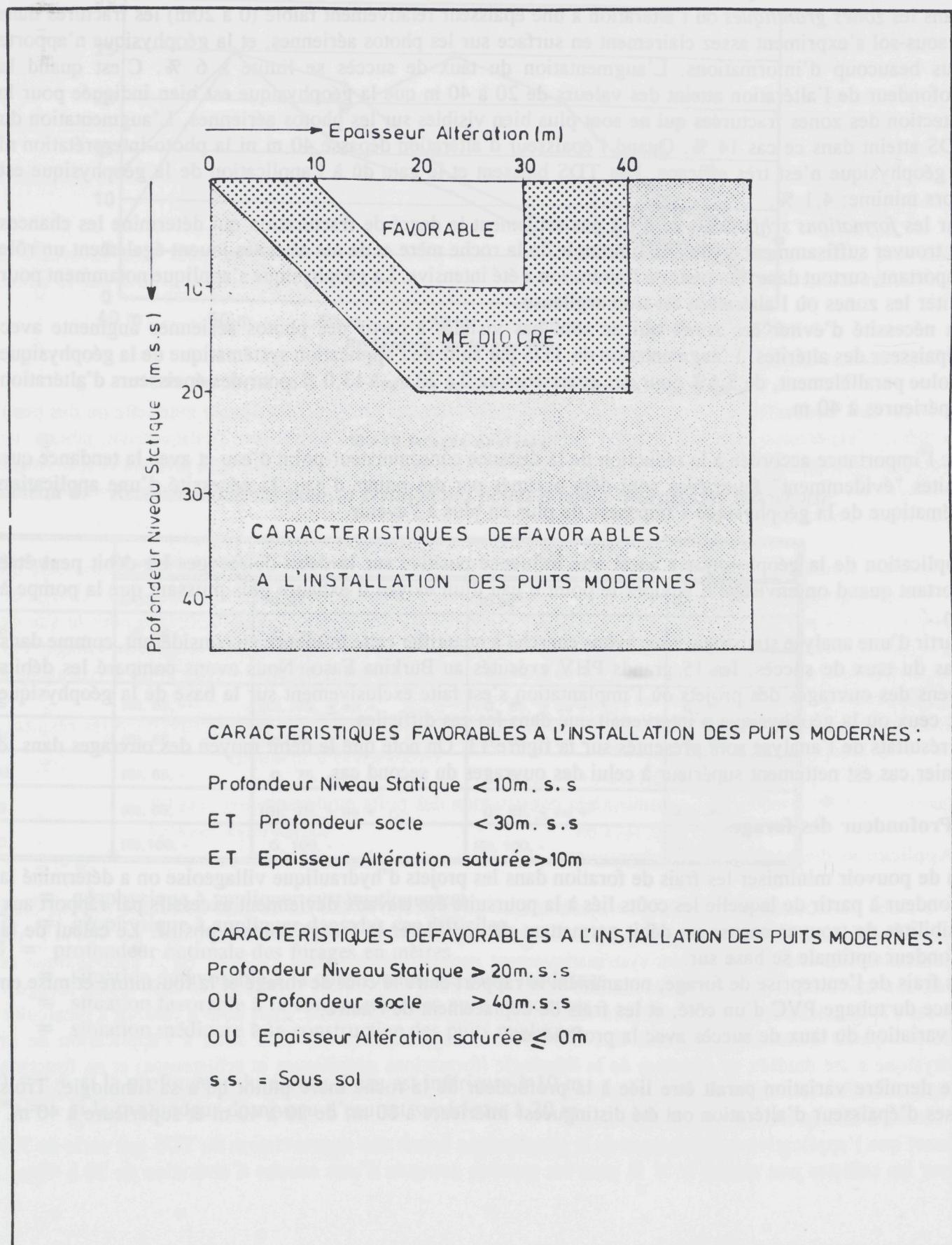
b) Profondeur des forages

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.

Figure 15. Paramètres déterminants de l'aptitude d'une région de socle à l'installation des puits modernes.



La figure 14 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 (1) ci-dessous. Cette équation est résolue par itération.

$$10*F*[TDS(P+10) - TDS(P)] + 10*T = P*F/TDS(P) + D \quad (1)$$

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.

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 (m)	5.000 FCFA
D = déplacement à l'intérieur du village (F)	10.000 FCFA

L'ensemble des données de la figure 14, de l'équation (1) 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.

Les conditions décrites ci-dessus sont présentées sur la figure 15.

Le tableau 6 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.

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.

Figure 16. Variation de la transmissivité avec l'épaisseur d'altération (analyse de 185 essais de pompage sur les granites et les schistes du Yatenga).

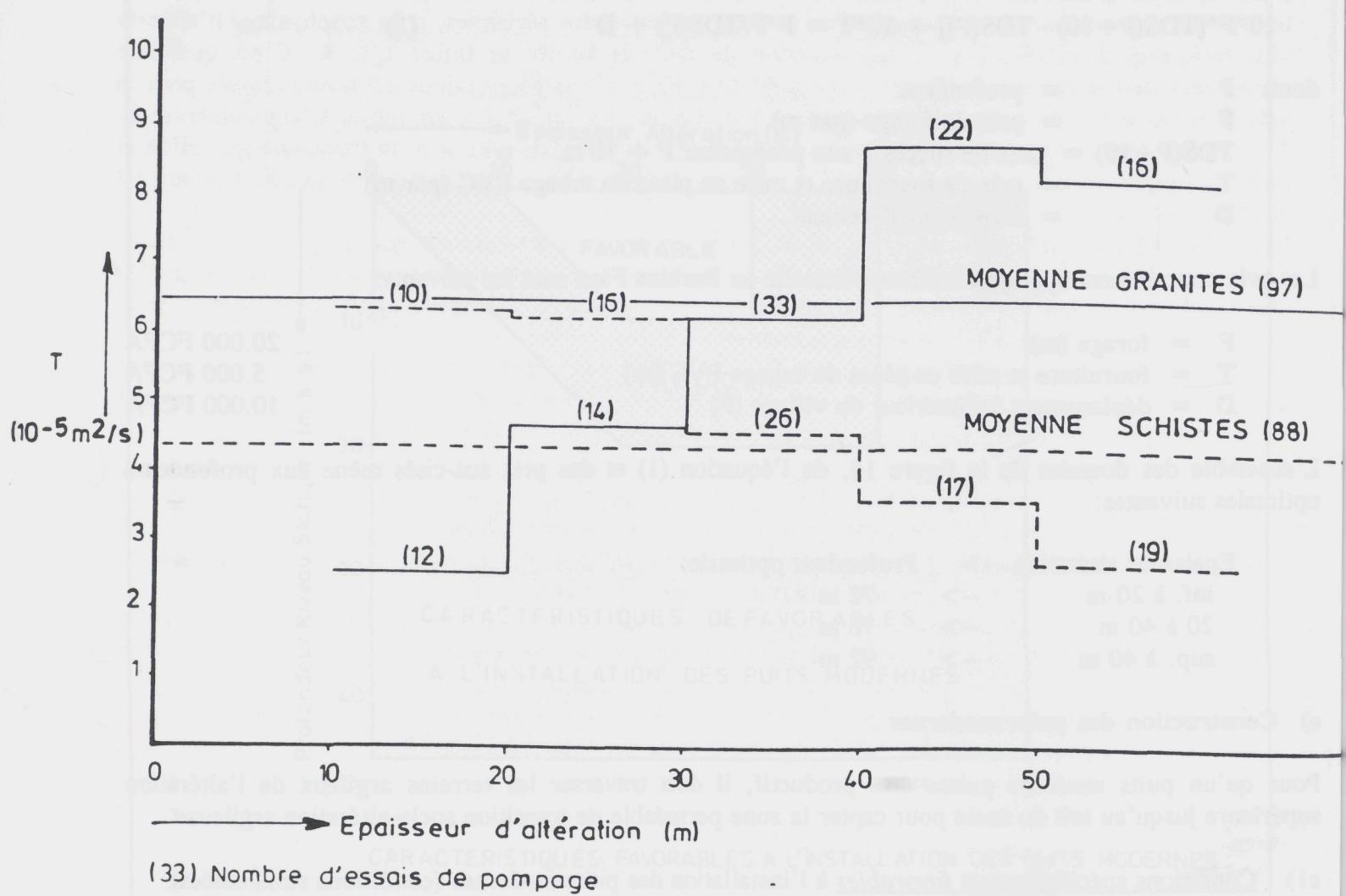


Tableau 7: Evaluation des caractéristiques des aquifères pour l'exploitation intensive des eaux souterraines.

Géologie	Epaisseur d'altération saturée (m)				
	< 0	0 - 10	10 - 30	30 - 50	> 50
P	-	-	-		
B	-	-	+	+	+
S	-	+	+	+	-
V	-	+	+	+	-
M	-	+	+	+	+
G	-	+	+	+	+
C	+	+	+	+	+

- = caractéristiques défavorables

+= caractéristiques médiocres

+ = caractéristiques favorables

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.

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

1. granites post-tectoniques (P);
2. granites syn- à tardi-tectoniques (B);
3. schistes (S);
4. roches vertes (V);
5. migmatites, gneiss (M);
6. migmatites, granites indifférenciés (G);
7. roches sédimentaires (C).

L'épaisseur de l'altération intervient aussi dans la transmissivité. L'analyse de 185 essais de pompage, tous exécutés de la même façon, dans la province du Yatenga montre que pour les roches granitiques, la transmissivité augmente avec l'épaisseur de l'altération (figure 16). 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) La *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. Pour la partie nord de la zone d'étude, l'implantation des forages à côté des bas-fonds est préférable pour profiter des zones préférentielles de recharge.

Le tableau 7 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.

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 ferralitiques et ferrigineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transports hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelles ou cultivées. ORSTOM.
8. Albergel, J. (1988):
Génèse et pré-détermination 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., OUEDRAOGO O.F. (1975):
Carte géologique à 1/1.000.000 de la république de Haute-Volta, avec notice.

- AN
- Les
for
for
d'a
les
- Il 1
sat
tra
Par
éga
- Le
dif
- la
s
d
- l
d
Le
ten
En
"di
du
de
Un
à n
(su
Les
dép
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.

ANNEXE. Résultats de forages par province et par département.

(seulement les caractéristiques de forages se situant sur la feuille de carte 1:500.000 de Ouagadougou 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 le 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 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ et à $5 \text{ m}^3/\text{h}$, 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 épaisse (Nord-Ouest) soit dénoyées (Est).

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

PROVINCE : BAM

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Bourzanga	25	13	52	59	2	15	10	77	1	8	13	26	13	30	4
2 Guibaré	22	15	68	60	2	13	7	47	3	20	15	19	15	27	8
3 Kongoussi	44	27	61	62	4	15	14	52	8	30	26	23	27	35	12
4 Rollo	19	12	63	62		0	10	83	2	17	12	22	12	33	11
5 Sabcé	23	15	65	78	1	7	11	73	3	20	15	25	15	48	23
6 Tikaré	34	18	53	72	3	17	13	72	2	11	17	20	18	36	16
Total	167	100	60	66	12	12	65	65	19	19	98	23	100	35	12

PROVINCE : BAZEGA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Doulougou	20	14	70	44	2	14	5	36	7	50	14	14	14	20	6
2 Kayao	61	51	84	49	3	6	32	63	16	31	51	8	51	21	13
3 Kombissiri	78	54	69	48	10	19	29	54	15	28	54	14	54	20	6
4 Komsilga	78	68	87	52	12	18	34	50	22	32	68	11	68	28	17
5 konki-ipala	38	33	87	46	5	15	21	64	7	21	33	8	33	22	14
6 Koubri	39	35	90	65	2	6	25	71	8	23	35	19	35	19	0
7 Sapone	99	65	66	53	19	29	36	55	9	14	65	12	65	22	10
8 Tanghin-Das	127	102	80	51	13	13	53	52	36	35	102	11	102	29	18
Total	540	422	78	52	66	16	235	56	120	28	422	12	422	24	12

PROVINCE : BOULKIEMDE

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Bingo	35	32	91	57	8	25	19	59	5	16	32	9	32	35	26
2 Imasgho	37	25	68	60	4	16	19	76	2	8	24	8	25	31	23
3 Kindi	44	27	61	64	4	15	19	70	4	15	26	9	27	29	20
4 Kokologho	46	32	70	54	6	19	19	59	7	22	32	8	32	31	23
5 Koudougou	47	40	85	57	9	23	21	53	10	25	40	6	40	31	25
6 Nanoro	65	35	54	58	12	34	20	57	3	9	35	10	35	27	17
7 Pella	40	28	70	58	8	29	17	61	3	11	28	11	28	25	14
8 Poa	45	34	76	52	2	6	23	68	9	26	34	8	34	33	25
9 Ramongo	42	26	62	55	5	19	12	46	9	35	26	8	26	30	22
10 Sabou	38	30	79	53	4	13	17	57	9	30	30	9	30	25	16
11 Sigle	25	19	76	60	3	16	11	58	5	26	19	12	19	36	24
12 Sourgou	33	27	82	54	3	11	15	56	9	33	27	9	27	32	23
13 Thyou	10	8	80	61	3	38	4	50	1	13	8	9	8	28	19
Total	507	363	72	57	71	20	216	60	76	21	361	9	363	30	21

PROVINCE : GANZOURGOU

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 >=5m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)	
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Boudry	143	71	50	51	5	7	42	59	21	30	70	14	71	17	3	
2 Kogho	24	13	54	53	2	15	9	69	2	15	13	19	13	30	11	
3 Meguet	97	68	70	53	15	22	39	57	13	19	66	16	67	25	9	
4 Hogtedo	115	38	33	49	5	13	21	55	8	21	35	18	32	21	3	
5 Zam	99	73	74	53	13	18	42	58	17	23	69	17	73	19	2	
6 Zorgho	119	86	72	50	10	12	44	51	29	34	84	14	86	24	10	
7 Zoungou	42	31	74	52	3	10	19	61	9	29	30	15	31	21	6	
Total	639	380	59	52	53	14	216	57	99	26	367	15	373	22	7	

PROVINCE : GNAGNA

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 >=5m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)	
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Bilanga	88	47	53	49	10	21	24	51	13	28	40	21	46	19	-2	
2 Bogandé	129	65	50	43	16	25	39	60	9	14	60	17	63	13	-4	
3 Koalla	83	56	67	50	13	23	39	70	3	5	46	18	53	15	-3	
4 Manni	120	77	64	46	16	21	49	64	12	16	71	17	76	12	-5	
5 Piela	49	25	51	51		0	17	68	8	32	24	17	25	18	1	
6 Thion	75	45	60	44	7	16	34	76	4	9	41	17	45	12	-5	
Total	544	315	58	47	62	20	202	64	49	16	282	18	308	14	-4	

PROVINCE : GOURMA

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 >=5m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)	
		nbr.	%		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Diabo	50	34	68	43	5	15	22	65	7	21	31	10	34	12	2	
2 Tibga	18	16	89	40		0	12	75	4	25	11	17	16	17	0	
Total	68	50	74	42	5	10	34	68	11	22	42	12	50	14	2	

PROVINCE : KADIOGO

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés			prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit >=5m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%	moy.		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	moy.
1 Commune	296	65	22	46		2	3	36	55	25	38	63	11	65	24	13
2 Villages	71	45	63	48		5	11	23	51	17	38	45	12	45	26	14
Total	367	110	30	48		7	6	59	54	42	38	108	11	110	24	13

PROVINCE : KOURITENGA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés			prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit >=5m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%	moy.		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	moy.
1 Amdemtenga	23	16	70	48		3	19	10	63	3	19	14	13	16	15	2
2 Baskouré	10	6	60	42		0	5	83		0	3	13	5	14	1	
3 Dialgaye	3	2	67	34		0		0	1	50	1	7	2	6	-1	
4 Gounghin	34	26	76	48		3	12	12	46	9	35	26	19	26	23	4
5 Kando	19	14	74	47		1	7	8	57	5	36	12	17	14	22	5
6 Koupela	83	52	63	48		5	10	31	60	13	25	41	12	50	15	3
7 Pouytenga	39	22	56	52		6	27	11	50	4	18	20	11	22	16	5
8 Tensobtenga	2	2	100	42		0	2	100		0	1	3	2	9	6	
9 Yargo	11	8	73	50		1	13	6	75	1	13	7	11	8	9	-2
Total	224	148	66	49		19	13	85	57	36	24	125	14	145	16	2

PROVINCE : MOUHOUN

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés			prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m ³ /h		nombre de forages à débit 1-5m ³ /h		nombre de forages à débit >=5m ³ /h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%	moy.		nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	moy.
1 Tcheriba	7	6	86	58		0	6	100		0	5	10	6	32	22	
Total	7	6	86	58		0	0	6	100	0	0	5	10	6	32	22

PROVINCE : NAMENTENGA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Boulsa	121	87	72	55	32	37	46	53	9	10	57	19	86	22	3
2 Bouroum	27	21	78	57	4	19	15	71	2	10	18	17	20	20	3
3 Dargo	41	26	63	66	7	27	15	58	4	15	11	22	25	19	-3
4 Tougouri	69	58	84	49	20	34	33	57	2	3	41	20	58	18	-2
5 Yalgo	22	18	82	50	3	17	12	67	3	17	15	22	18	14	-8
6 Zeguedeguin	23	20	87	53	7	35	13	65		0	18	20	20	11	-9
Total	303	230	76	55	73	32	134	58	20	9	160	20	227	19	-1

PROVINCE : OUBRITENGA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Absouya	50	42	84	54	8	19	22	52	12	29	41	15	42	20	5
2 Boussé	89	57	64	59	19	33	27	47	11	19	56	17	57	30	13
3 Dapelgo	123	80	65	63	25	31	41	51	13	16	74	21	80	30	9
4 Laye	31	17	55	54	1	6	10	59	6	35	16	15	17	37	22
5 Loumbila	87	53	61	55	18	34	25	47	9	17	50	17	53	25	8
6 Niou	78	51	65	63	13	25	27	53	11	22	51	20	51	43	23
7 Pabré	62	42	68	55	12	29	21	50	9	21	39	17	42	23	6
8 Saaba	124	70	56	51	15	21	39	56	16	23	68	18	68	24	6
9 Sourgoubila	55	48	87	54	3	6	31	65	14	29	48	11	48	34	23
10 Toeghin	66	45	68	58	15	33	26	58	4	9	44	22	45	34	12
11 Ziniaré	249	132	53	55	51	39	68	52	12	9	126	17	131	20	3
12 Zitenga	179	123	69	57	51	41	61	50	11	9	120	19	123	24	5
Total	1193	760	64	57	231	30	398	52	128	17	733	18	757	27	9

PROVINCE : PASSORE

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Arbolé	89	61	69	66	14	23	36	59	11	18	55	20	61	44	24
2 Bagaré	54	35	65	58	7	20	23	66	5	14	34	16	35	37	21
3 Bokin	69	47	68	66	5	11	29	62	12	26	47	19	47	31	12
4 Gompossom	35	33	94	66	6	18	19	58	8	24	33	18	33	44	26
5 Kirsi	23	21	91	66	5	24	11	52	5	24	21	17	21	41	24
6 La-Todin	35	26	74	60	12	46	13	50	1	4	25	14	26	38	24
7 Pilimpikou	15	12	80	61	3	25	8	67	1	8	12	21	12	31	10
8 Samba	39	33	85	58	10	30	15	45	8	24	29	13	33	37	24
9 Yako	90	71	79	71	8	11	38	54	24	34	67	15	71	48	33
Total	449	339	76	65	70	21	192	57	75	22	323	17	339	41	24

PROVINCE : SANGUIE

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Dassa	28	21	75	58	4	19	14	67	3	14	21	4	20	37	33
2 Didyr	51	40	78	61	15	38	16	40	9	23	40	6	40	40	34
3 Godyr	49	35	71	63	10	29	20	57	5	14	35	12	35	38	26
4 Khyon	13	10	77	56	2	20	7	70	1	10	10	7	10	32	25
5 Kordié	40	36	90	60	7	19	21	58	8	22	34	9	36	32	23
6 Pouni	13	13	100	49		0	8	62	5	38	13	5	13	28	23
7 Réo	29	19	66	56	3	16	12	63	4	21	18	9	18	36	27
8 Tenado	46	42	91	59	9	21	28	67	5	12	41	7	42	36	29
Total	269	216	80	60	50	23	126	58	40	19	212	8	214	36	28

PROVINCE : SANHATENGA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Barsalogho	79	31	39	49	15	48	16	52		0	28	19	31	19	0
2 Boussouma	78	48	62	53	14	29	19	40	11	23	46	24	48	24	0
3 Dablo	21	20	95	51	8	40	10	50	2	10	19	23	20	24	1
4 Kaya	99	47	47	65	12	26	27	57	8	17	46	21	47	33	12
5 Korsimoro	36	20	56	59	6	30	12	60	2	10	17	18	20	22	4
6 Mané	53	33	62	57	8	24	15	45	9	27	33	19	33	25	6
7 Namissiguim	21	10	48	65	5	50	4	40	1	10	8	33	10	30	-3
8 Pensa	40	32	80	51	10	31	17	53	5	16	29	20	32	17	-3
9 Pibaoré	63	42	67	59	14	33	17	40	4	10	28	28	40	30	2
10 Pissila	77	30	39	57	11	37	14	47	2	7	25	23	28	16	-7
11 Ziga	65	49	75	57	20	41	20	41	2	4	41	28	48	25	-3
Total	632	362	57	57	123	34	171	47	46	13	320	23	357	24	1

PROVINCE : SENO

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Bani	94	74	79	45	19	26	40	54	9	12	63	18	74	17	-1
2 Dori	72	52	72	46	11	21	31	60	8	15	42	17	51	15	-2
3 Gorgadjé	14	12	86	48	3	25	5	42		0	10	21	11	23	2
4 Sampelga	2	2	100	49	2	100		0		0	2	24	2	13	-11
Total	182	140	77	46	35	25	76	54	17	12	117	18	138	17	-1

PROVINCE : SOUM

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)	
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	
1 Aribinda	4	4	100	55		0	3	75	1	25	2	16	4	20	4	
2 Djibo	6	1	17	43		0	1	100			0	1	4	1	9	5
3 Pobé-Mengao	20	14	70	45	4	29	6	43	4	29	14	12	14	18	6	
4 Tongomayel	35	25	71	47	4	16	16	64	5	20	23	15	25	22	7	
Total	65	44	68	47	8	18	26	59	10	23	40	14	44	20	6	

PROVINCE : SOUROU

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. éq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Altération (m)		Epais. Alt Sat (m)
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.
1 Gomboro	17	9	53	15		0	1	11	1	11	2	17	2	45	28
2 Gossina	11	9	82	63		0	8	89	1	11	9	12	9	38	26
3 Kiembara	36	21	58	53	7	33	11	52	1	5	16	22	19	35	13
4 Kougny	2	2	100	32		0	1	50		0	1	11	1	47	36
5 Lankoué	13	9	69	65		0	7	78	1	11	8	20	8	41	21
6 Toeni	6	1	17	84		0	1	100		0	1	46	1	68	22
7 Toma	18	12	67	59	1	8	10	83	1	8	12	13	12	33	20
8 Tougan	30	20	67	60	7	35	9	45	2	10	17	138	19	32	-106
9 Yaba	33	20	61	60	5	25	12	60	2	10	19	14	19	40	26
10 Yé	2	2	100	61		0	1	50	1	50	2	6	2	39	33
Total	168	105	63	55	20	19	61	58	10	10	87	40	92	37	-3

PROVINCE : YATENGA

Département	nombre de forages	nombre de forages équipés		prof. forag. eq (m)	nombre de forages à débit < 1m³/h		nombre de forages à débit 1-5m³/h		nombre de forages à débit >=5m³/h		Niveau Statique (m)		Epaisseur Alteration (m)		Epais. Alt Sat (m)	
		nbr.	%		moy.	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	%	nbr.	moy.	nbr.	moy.	moy.
1 Banh			0	0		0		0		0		0		0	0	0
2 Bassi	21	13	62	68	2	15	11	85		0	13	20	13	40	20	
3 Boussou	19	11	58	68	5	45	5	45	1	9	11	17	11	42	25	
4 Gourcy	70	43	61	64	12	28	27	63	3	7	43	26	43	39	13	
5 Kain	5	3	60	80	1	33		0	2	67	3	40	3	43	3	
6 Kalsaka	76	44	58	63	15	34	26	59	3	7	44	18	44	46	28	
7 Koumbri	23	12	52	56	3	25	8	67	1	8	12	18	12	41	23	
8 Namissiguim	33	22	67	69	9	41	11	50	2	9	21	15	22	45	30	
9 Ouahigouya	62	36	53	71	7	19	25	69	4	11	36	18	36	44	26	
10 Ouindigui	19	16	84	57	2	13	12	75	2	13	16	22	16	34	12	
11 Oula	60	41	68	65	9	22	29	71	3	7	39	20	40	37	17	
12 Rambo	37	20	54	63	5	25	15	75		0	20	18	20	43	25	
13 Seguenega	110	44	40	61	6	14	33	75	4	9	43	23	42	37	14	
14 Tangaye	33	21	64	58	1	5	18	86	2	10	21	18	21	33	15	
15 Thiou	33	20	61	65	1	5	14	70	5	25	20	16	20	38	22	
16 Titao	62	37	60	64	14	38	22	59	1	3	37	24	37	43	19	
17 Tougo	44	27	61	65	6	22	18	67	3	11	27	19	26	40	21	
18 Zogoré	34	12	35	64	4	33	7	58	1	8	12	20	12	34	14	
Total	741	422	57	65	102	24	281	67	37	9	418	20	418	40	20	