



REPUBLIQUE DU MALI

**ETUDE DE FAISABILITE DES FORAGES MANUELS
IDENTIFICATION DES ZONES POTENTIELLEMENT
FAVORABLES**

PRACTICA
FOUNDATION


EnterpriseWorks/VITA
A Division of  RELIEF INTERNATIONAL

unicef 

Table de matières

INTRODUCTION	6
I. CADRE PHYSIQUE	6
I.1. Généralités du Mali	6
I.2. Contexte administratif	6
I.3. Relief	6
I.4. Climat	8
I.4.1. Zones climatiques	8
I.5. Hydrologie	9
I.6. Population	9
II. SYSTEMES AQUIFERES	11
II.1. Aquifères fissurés	12
II.1.1. Aquifère des formations primaires de Taoudenni	12
II.1.2. Aquifère du Cambrien	12
II.1.3. Aquifère de l'Infracambrien tabulaire	12
II.1.4. Aquifère de l'Infracambrien plissé métamorphique	12
II.1.5. Aquifère du socle granitique et métamorphique	12
II.2. Aquifères généralisés	13
II.2.1. Aquifère du Continental terminal/Quartenaire	13
II.2.2. Aquifère du Crétacé supérieur/Eocène inférieur	14
II.2.3. Aquifère du Continental intercalaire/Continental terminal	14
II.2.4. Aquifère du Continental intercalaire	15
II.3. Aquifères du recouvrement ou aquifères superficiels	15
II.4. Qualité de l'eau	17
III. COUVERTURE ACTUELLE DES BESOINS EN EAU POTABLE	17
IV. CONSIDERATIONS GENERALES DES ZONES FAVORABLES AUX FORAGES MANUELS	18
IV.1. Dans les aquifères généralisés	18
IV.3. Dans les aquifères du recouvrement	18

V. METHODOLOGIE POUR L'IDENTIFICATION DES ZONES FAVORABLES:	20
V.1-Classification selon l'aptitude géologique	20
V.1.1-Methodologie d'estimation de l'aptitude géologique	20
V.1.2-Resultat de la classification d'aptitude géologique	21
V.2 - Classification selon l'aptitude morphologique	22
V.3 - Classification selon l'aptitude hydrogéologique	22
V.4 - Analyse intégrée	22
CONCLUSIONS	24

Sigles et abréviations

CDI	Centre de Documentation et d'Informatique
CPS	Cellule de Planification et de la Statistique
DNH	Direction Nationale de l'Hydraulique
DRHE	Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Energie
MMEE	Ministère des Mines, de l'Eau et de l'Energie
OXFAM/GB	Oxfam Grande Bretagne
PEM	Point d'Eau Moderne
SIGMA	Système Informatique de Gestion des Ressources en eau du Mali

Introduction

Dans le cadre de l'étude de faisabilité des forages manuels (manuel drilling) en République du Mali, l'Unicef Mali en collaboration avec la Direction Nationale de l'Hydraulique de Bamako a travaillé avec une équipe de Consultants internationaux.

Le présent document constitue la version définitive du rapport en charge de cette étude, structuré en deux volets :

- Généralités du Mali concernant les aspects qui contribuent aux objectifs du projet.
- Identification, cartographie des régions propices à l'exécution des forages manuels et faisabilité du projet dans le contexte de la politique nationale de l'eau potable en milieu rural.

I. Cadre physique

I.1. Généralités du Mali

Le Mali, avec ses 1 241 238 km², est l'un des plus vastes États d'Afrique de l'Ouest. Le Mali est un pays enclavé de l'Afrique de l'Ouest et s'étend entre les latitudes 10° 30' et 25° 00' N et les longitudes 12° 00' O et 4° 00' E, le méridien de Greenwich passant sur la ville de Gao. Il est situé entièrement en zone tropicale nord avec un climat caractérisé par l'alternance d'une saison sèche de 6 à 9 mois et d'une courte saison humide au cours de laquelle se produit la presque totalité des précipitations. Son relief, peu contrasté, est constitué de plateaux et de plaines avec des systèmes dunaires bien développés dans les régions Nord et Est. Les cours d'eau permanents n'existent que dans les régions ouest et sud du pays et concernent en partie les bassins en amont des fleuves Sénégal et Niger. Le delta intérieur du Niger qui s'étend en zone sahélienne entre Ké Macina et Tombouctou, constitue un des traits spécifiques de l'hydrographie du Mali.

I.2. Contexte administratif

Le Mali est divisé en 8 régions administratives : Kayes, Koulikoro, Sikasso, Ségou, Mopti, Gao, Tombouctou et Kidal. Les régions sont réparties en 49 cercles, 703 communes.

Bamako possède un statut particulier. Le district de Bamako rassemble 6 communes urbaines.

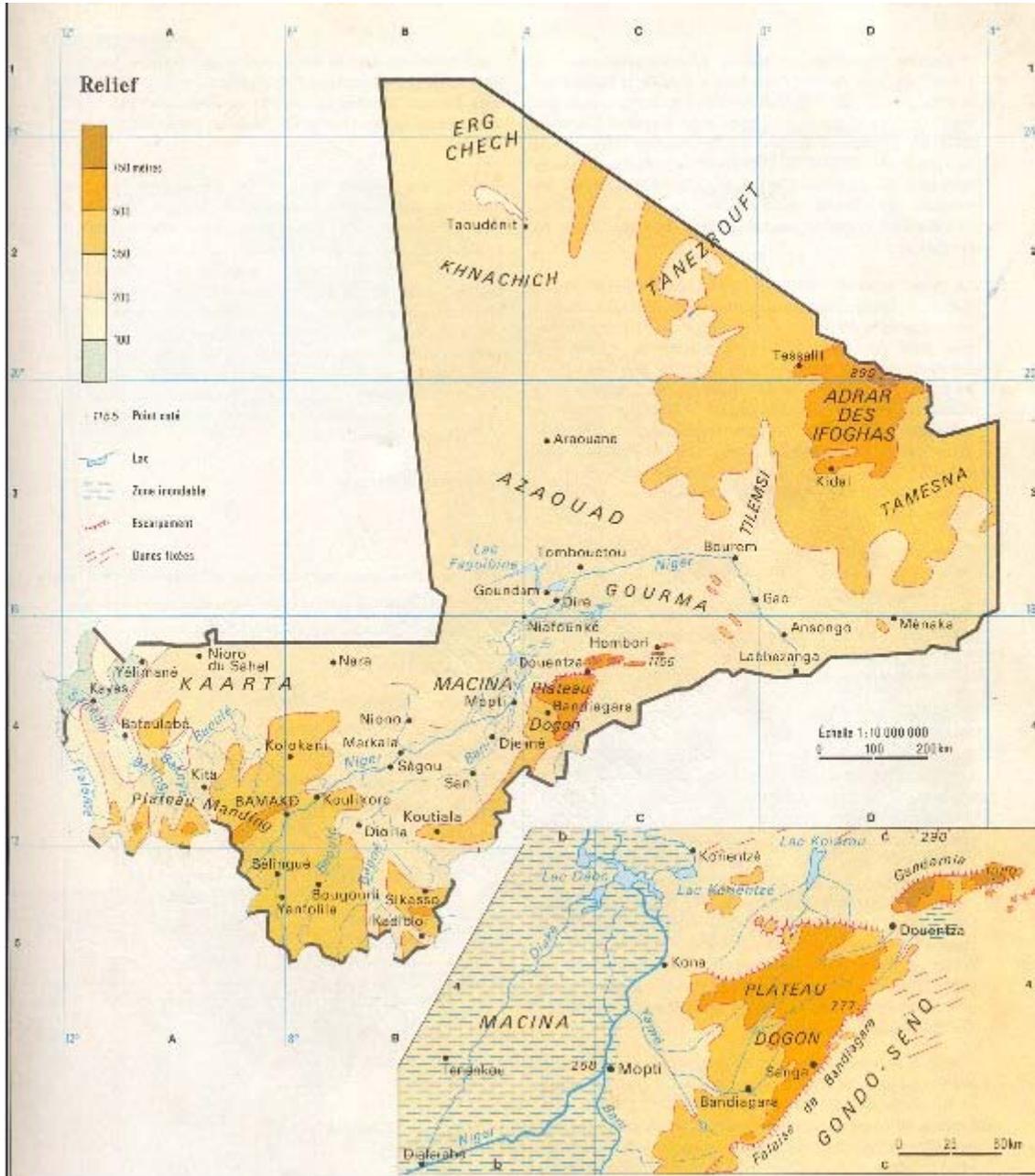


I.3. Relief

L'Ouest et le Sud du Mali sont occupés par des plateaux gréseux recouverts de cuirasses ferrugineuses, inclinés vers le nord et étages principalement entre 300 et 400 m d'altitude. Un premier ensemble, le plus important, est constitué par le plateau mandingue et s'étend au nord de fleuve Niger depuis Koulikoro jusqu'à la frontière du Sénégal.

Un vaste ensemble de plaines en partie ensablées, d'altitudes comprises entre 260 et 320 m, s'étend au nord du plateau mandingue, dans la zone de Nioro et Nara. La région centrale du Mali, ceinturée au Sud par les plateaux gréseux soudano-sahéliens, est occupée par une vaste plaine alluviale appelée communément delta intérieur du Niger dont la partie ouest correspond au delta fossile qui était fonctionnel à l'holocène et la partie orientale au delta vif actuel.

Carte de relief du Mali



I.4. Climat

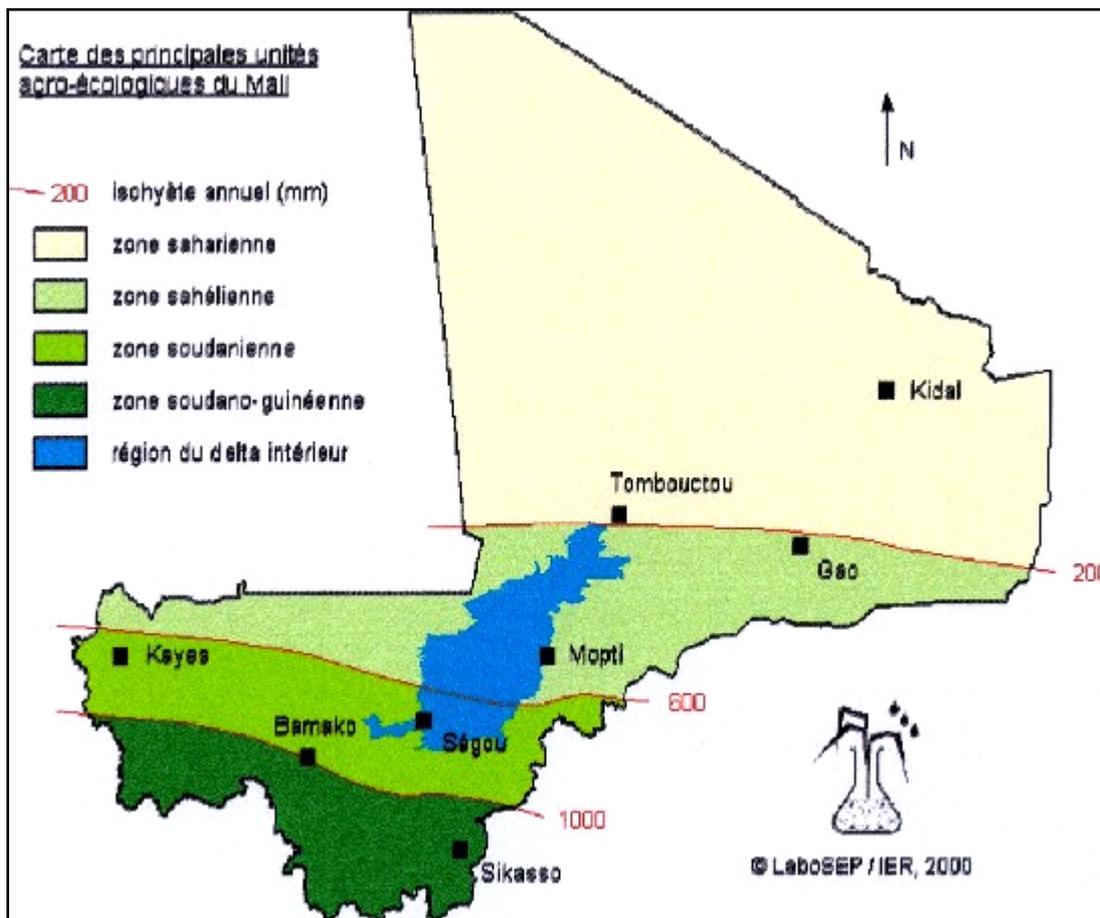
I.4.1. Zones climatiques

Les caractéristiques climatiques du Mali sont liées à sa continentalité et à l'absence de reliefs marqués pouvant perturber le déplacement du front intertropical (FIT) qui conditionne le régime des précipitations et rythme l'alternance des saisons sèche et humide.

Le Mali compte 4 zones climatiques :

La zone soudanaise :

Limitée par le 12^{ème} parallèle N, elle couvre la partie méridionale de la Région de Sikasso jusqu'à la frontière avec la Côte d'Ivoire. Les précipitations y sont supérieures à 1200 mm par an et peuvent dépasser 1500 mm, elles se produisent sur une période de Mai à Octobre avec 90 jours d'occurrence de pluie en moyenne.



La zone soudano-sahélienne

Située entre les 12^{ème} parallèle et 14^{ème} parallèle N, elle couvre le domaine de plateaux gréseux de l'ouest et du sud du Mali avec de précipitations moyennes comprises entre 700 et 1200 mm par an étalées sur 4 mois (juin à octobre) avec entre 60 et 80 jours d'occurrence de pluie en moyenne.

La zone sahélienne

Elle représente près du quart de la surface totale du Mali, entre le 14^{ème} et le 16^{ème} parallèle N, parallèle N. Les précipitations qui y décroissent de 700 mm à 200 mm par an sur sa bordure nord, sont concentrées durant un hivernage de courte durée de juin-juillet à Septembre – Octobre avec de 30 à 40 jours d'occurrence de pluie en moyenne.

La zone sud saharienne

Elle s'étend sur toute la région désertique du nord du Mali avec des précipitations inférieures à 200 mm.

I.4.2. Pluviométrie

Le régime pluviométrique du Mali, de type intertropical continental, est donc caractérisé par :

- Une décroissance régulière de précipitations et de la durée de la saison pluvieuse (hivernage) du sud vers le nord,
- Une distribution irrégulière des précipitations dans l'espace avec, principalement, des épisodes pluvieux sous forme de grains localisés,
- Une forte variabilité interannuelle

1.5. Hydrologie

Les cours d'eau permanents sont localisés dans les régions de l'ouest et du sud-ouest du Mali avec une pluviométrie supérieure à 800 mm. Ils constituent les branches et les affluents en amont des fleuves Sénégal et Niger.

Le Sénégal

Il prend sa source en Guinée sur les hauts plateaux du Fouta Djallon, vers 900 m d'altitude. Le Mali couvre l'amont de son bassin versant et sa longueur y est d'environ 850 km pour un total de 1700 km jusqu'à l'Atlantique.

Le Niger

Il prend aussi sa source sur la bordure nord du Fouta Djallon vers 800 m d'altitude. C'est l'un des plus grands fleuves d'Afrique avec un cours de 4 200 km de long dont 1700 km au Mali.

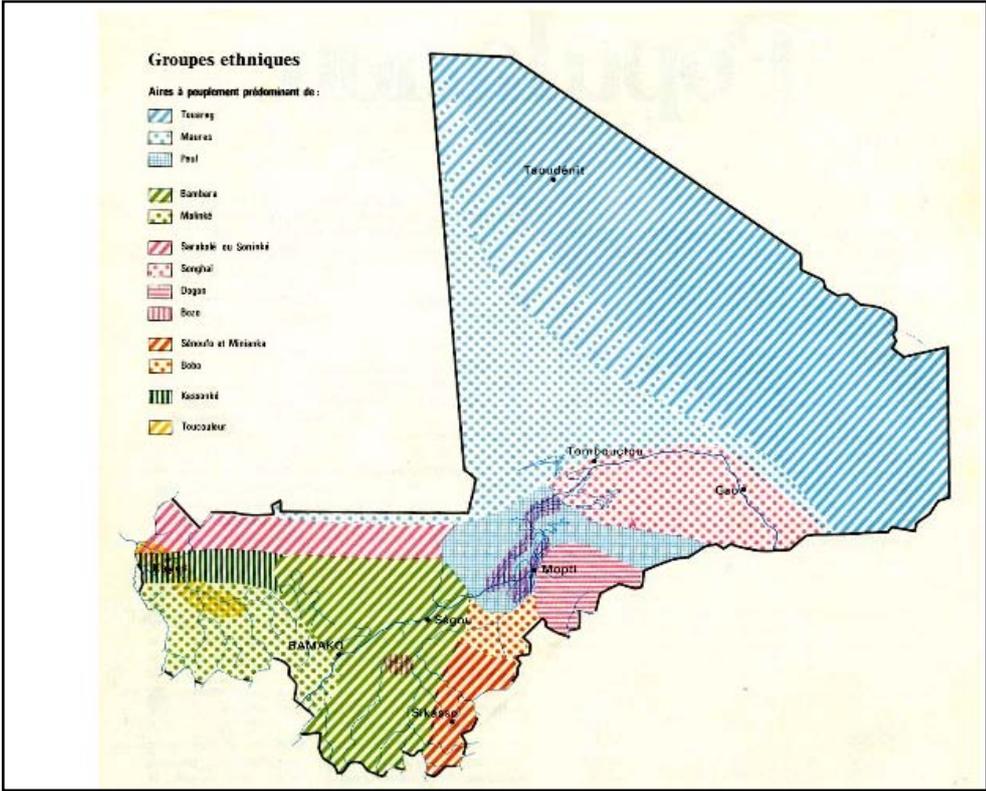
Ses affluents permanents sont exclusivement localisés en rive droite pour des raisons topographiques et climatiques, leurs bassins versants sont en effet très étendus et situés en zone climatique soudanienne avec des pluies annuelles supérieures à 1000 mm.

1.6. Population

Le Mali a 12,3 millions d'habitants, dont 50,5 % de femmes. La population du Mali, riche par sa diversité est inégalement répartie. Les régions du Nord du pays (Tombouctou, Gao et Kidal) qui couvrent plus de 60% du territoire ne compte environ que 10% de la population totale. La diversité des ethnies n'empêche pas une certaine unité du peuple malien, qui grâce à son passé riche de grandes civilisations, a appris à s'épanouir dans cette diversité.

La plus grande part de la population vit en zone rurale. La densité, très variable, passe de 90 hab./km² dans le delta central du Niger à moins de 5 hab./km² dans la région saharienne du Nord.

Répartition de la population au Mali par ethnies



II. Systèmes aquifères

Le Mali compte 9 systèmes aquifères profonds qui correspondent aux principaux étages stratigraphiques. Ils ont été classés en deux catégories selon le type de gisement des eaux souterraines :

- Les aquifères de type fissure sont semi-continus ou discontinus suivant la densité, l'extension et le degré d'interconnexion des réseaux de fissuration qui affectent la roche encaissante et selon leur relation hydraulique avec les nappes superficielles situées dans le recouvrement. Ils sont représentés par les formations cristallines et sédimentaires du Précambrien et du Primaire.
- Les aquifères du type généralisé sont associés à des formations peu ou non consolidées, à porosité intergranulaire, principalement constitués de dépôts d'origine continentale accumulés dans de vastes bassins sédimentaires depuis le Secondaire jusqu'au Quaternaire.
- Ces systèmes aquifères profonds sont généralement surmontés par des aquifères superficiels localisés dans les formations d'altération latéritique à la surface des plateaux ou dans les dépôts alluviaux et colluviaux des plaines et des fonds de vallée. Suivant l'épaisseur du recouvrement et les conditions géomorphologiques et pluviométriques locales, ces aquifères superficiels peuvent être semi-continus et en liaison hydraulique avec les aquifères profonds ou discontinus et en situation perchée.

Subdivisions hydrogéologiques des aquifères fissurés

Type d'aquifère	Etage stratigraphique	SIGLE GEOL.	CODE SIGMA	Lithologie dominante	Superficie (km ²)	% superf. du Mali
Aquifères généralisés	Continental terminal et Quaternaire	CTQ	1	Argiles, argiles sableuses, sables, latérites	202.830	16
	Crétacé supérieur et Eocène inférieur	CSE	2	Calcaires, marnes	138.910	11
	Continental terminal et Continental intercalaire	CIT	3	Sables, argiles sableuses, argiles	208.870	17
	Continental intercalaire	CIN	4	Sables, grès, conglomérats	82.320	7
						51
Aquifères fissurés	Primaire Taoudenni	PRI	5	Calcaires, grès	112.700	9
	Cambrien	CAM	6	Schistes, shales, calcaires, grès	66.060	5
	Infracambrien tabulaire	ICT	7	Grès, grès schisteux, schistes	174.810	14
	Infracambrien plissé métamorphique	ICP	8	Schistes, calcaires, quartzites	97.420	8
	Socle granitique et métamorphique	SOC	9	Granites, gneiss, micaschistes, schistes	156.080	13
						49
Aquifères superficiels	Quaternaire	QAT	0	Latérites, argiles, sables, graviers	Dispersée	-

Source : DNH Mali, 1990

II.1. Aquifères fissurés

Les formations sédimentaires, métamorphiques et cristallines du Primaire et du Précambrien sont caractérisées par de très faibles perméabilités intrinsèques, les ressources en eau sont presque exclusivement associées à des perméabilités secondaires provenant d'une part de la fissuration dans la partie profonde des formations, d'autre part de l'altération de leur partie supérieure.

II.1.1. Aquifère des formations primaires de Taoudenni

Les données hydrogéologiques sur les formations précambriennes et primaires qui couvrent 112 700 km² à l'extrémité nord du Mali, sont peu nombreuses.

Les calcaires du Viséen qui affleurent dans le secteur central de la cuvette de Taoudenni sont fracturés et karstifiés en surface avec la formation de Lapiaz. Le débit moyen des forages qui ont été réalisés près de Taoudenni est de l'ordre de 20m³/h, l'un d'eux dépassent 50m³/h. Les venues d'eau se produisent dans les 20 premiers mètres et sont associés à une karstification superficielle. Les niveaux statiques sont situés à moins de 10 m de profondeur dans la partie basse de la cuvette, près des salines d'Agorgot, et s'approfondissent à mesure que la topographie s'élève, la surface de la nappe étant sub-horizontale.

Les argiles rouges du Namurien qui surmontent sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur les calcaires Viséens sont stériles et constituent le mur imperméable de l'aquifère généralisé du Continental intercalaire de l'Azaouad.

II.1.2. Aquifère du Cambrien

Cet aquifère couvre, sur 66 060 km² la région de Nioro-Nara et se prolonge au-delà de la frontière nord-ouest du Mali dans le bassin du Hodh, en Mauritanie. Sa partie malienne a été subdivisée en deux unités hydrogéologiques : celle du Ouagadou et du Kaarta

Les caractéristiques hydrogéologiques de cet aquifère sont liées à la prédominance des formations schisteuses dans la série cambrienne ainsi qu'à la fréquence et au caractère souvent massif des intrusions doléritiques. Les ressources en eau sont donc essentiellement localisées dans les zones fissurées. Ce n'est que dans le Kaarta où le pluviomètre est plus élevée et le réseau hydrographique fonctionnel que les fonds de vallées contiennent des petites nappes alluviales ; celle de l'oued Faka est exploitée par l'adduction d'eau de la ville de Nioro du Sahel.

II.1.3. Aquifère de l'Infracambrien tabulaire

Avec une superficie de 174 810 km², l'Infracambrien tabulaire est l'aquifère fissuré le plus important du Mali et le plus exploité avec plus de la moitié des forages recensés au Mali. Cet aquifère subdivisé en 7 unités et 19 secteurs hydrogéologiques, correspond à la bande de plateaux gréseux occupant la partie médiane de la zone climatique soudano-sahélienne. A l'exception du plateau dogon et de la frange septentrionale du plateau mandingue où les grès sont affleurants, l'Infracambrien est recouvert en quasi totalité par des formations latéritiques. Il est constitué de formations grésos-schisteuses en disposition monoclinale qui sont caractérisées par un développement important de la perméabilité secondaire avec des venues d'eau principales moyennes de 48 m, des épaisseurs d'altération moyennes de 16.6 et un niveau statique moyen de 48 m/sol.

II.1.4. Aquifère de l'Infracambrien plissé métamorphique

Cet aquifère qui couvre 97.420 km², a été distingué de celui de l'Infracambrien tabulaire car ses caractéristiques hydrogéologiques sont très différentes. Il a été subdivisé en trois unités : le Gondo, le Nord delta dans lesquelles il est surmonté par les formations du Continental Terminal et du Quaternaire, et le Gourma qui constitue l'unité la plus étendue.

Les niveaux d'eau sont situés à plus de 50 m, sauf dans les secteurs où sont localisées des eaux de surface semi-permanentes ou temporaires.

II.1.5. Aquifère du socle granitique et métamorphique

L'aquifère du socle est représenté par 6 unités hydrogéologiques subdivisées en 13 secteurs qui occupent une superficie totale de 156 080 km² et sont repartis entre trois ensembles géographiques correspondant à trois types spécifiques de conditions hydrogéologiques, géomorphologiques et climatiques :

- Au sud, dans la région de Sikasso, les unités du Sankarani, du Baoulé et de la Bagoé
- A l'ouest, les unités de Kéniéba et Kayes

- A l'est, l'unité de l'Adrar des Iforas est située en zones nord sahélienne et désertique avec un substratum affleurant ou se situe un aquifère fissuré discontinu avec des niveaux d'eau de profondeur variable. Des petites nappes superficielles perchées sont localisées dans les alluvions des fonds d'oued.

Ce n'est donc que lorsqu'il existe un aquifère intra granulaire dans les latérites que l'aquifère du socle peut être qualifié de semi continu. La moyenne des épaisseurs d'altération est de l'ordre de 26.8 m avec des venues d'eau principales moyennes de 45 m et un niveau statique de 12 m/sol.

II.2. Aquifères généralisés

Ces aquifères sont caractérisés par une perméabilité de type intergranulaire et par des nappes continues couvrant la majeure partie des régions sahéliennes et désertiques de l'est et du Nord pour une superficie totale de plus de 630 000 km² (51% de la superficie du Mali). Ils sont constitués par des formations essentielles détritiques et d'origine continentale qui se sont accumulées, depuis le Secondaire, dans trois vastes bassins sédimentaires (le bassin de Taoudeni, le détroit soudanais et le bassin du Niger).

Subdivisions hydrogéologiques des aquifères généralisés

AQUIFERE	SIGLE/CODE	UNITE HYDROGEOLOGIQUE	CODE	SUPERFICIE (km ²)	SECTEUR HYDROGEOLOGIE	CODE	SUPERFICIE (km ²)
Continental terminal/ Quaternaire	CTQ 1	Gondo	11	pm	Koro	11	pm
		Fossé de Gao	12	69.180	Gao Menaka	12a 12b	31.940 27.240
		Azaouad sud	13	61.620	Azaouad sud	13	61.620
		Gourma nord-ouest	14	24.360	Gourma nord ouest	14	24.360
		Delta intérieur	15	57.670	Niono-Dioura Macina-Diaka Bani-Niger	15a 15b 15c	18.350 16.140 23.180
Crétacé supérieur/ Eocène inférieur	CSB 2	Bordure Adrar	21	138.910	Azaouak	21a	48.790
					Tilensi-Telataye	21b	27.280
					Nord Adrar	21c	62.840
Continental inter./ Continental terminal	CIT 3	Azaouad nord	31	188.320	Sud Araouane Nord Araouane	31a 31b	84.950 103.370
		Fossé de Nara	32	20.550	Fossé de Nara	32	20.550
Continental intercalaire	CIN 4	Tamesna	41	17.920	Tamesna	41	17.920
		Khenachich	42	64.400	Ouest Khenachich Est Khenachich	42a 42b	51.200 13.200

Source : DNH Mali, 1990

II.2.1. Aquifère du Continental terminal/Quaternaire

Cet aquifère couvre les vastes plaines alluviales qui s'étendent de part et d'autre du fleuve Niger à l'aval de Ségou jusqu'à Gao ainsi que le sud de l'Azaouad et les glaciés de la bordure sud de l'Adrar des Iforas. Sa superficie totale est proche de 200 000 km² et il est situé essentiellement en zone climatique sahélienne et sub-désertique avec des précipitations annuelles allant de 600 mm dans les secteurs les plus méridionaux à moins de 100 mm sur la limite nord.

Les caractéristiques hydrogéologiques de cet aquifère sont liées à la présence d'eaux de surface permanentes et à l'extension des zones d'inondation couvertes par les crues du fleuve Niger.

L'aquifère a été subdivisée en 4 unités hydrogéologiques sur la base des conditions géomorphologiques et structurales, de la nature des formations quaternaires et du rôle des eaux de surface : le Delta intérieur, le Gourma nord-ouest, l'Azaouad du sud et le fossé de Gao.

Le Continental terminal est représenté par des alternances d'argiles, d'argiles sableuses et de sables fins à grossiers, souvent en disposition lenticulaire et localement grésifiés. Des niveaux à graviers de quartz et des horizons latéritiques argileux ou concrétionnés sont fréquemment intercalés dans les parties moyennes et inférieures des formations continentales.

Les épaisseurs varient fortement suivant les structures affectant les aires sédimentaires : elle est inférieure à 100 m dans la partie occidentale du delta intérieur et probablement de l'ordre de 1 000 m dans la zone axiale du fossé de Gao.

A l'échelle régionale, l'aquifère est de type libre et multicouche. En dehors des zones sous influence directe des eaux de surface, la nappe est déprimée avec des niveaux d'eau situés à des profondeurs supérieures à 40 m.

Unité du delta intérieur

Il correspond à la zone du delta fossile ou delta mort du Niger qui était fonctionnel à l'Holocène. Les formations continentales sont relativement peu épaisses (30 à 80 m) en raison d'une remontée d'un haut – fond gréseux du substratum infracambrien.

Unité de l'Azaouad sud

Les formations sont sablo-argileuses avec des horizons grésifiés, la partie inférieure des dépôts étant plus argileuse. Les niveaux statiques sont profonds et peuvent atteindre 40 m et dépassent 80 m dans la zone de transition avec le fossé de Gao.

Unité du fossé de Gao

Les faciès lithologiques sont essentiellement argileux dans le secteur du fossé de Gao. En bordure de l'Adrar, des niveaux de sables, de sables argileux et de grès à oolithes ferrugineuses ainsi que des horizons de lignite sont inters stratifiés dans les couches argileuses.

Dans certains secteurs les niveaux d'eau sont profonds, supérieurs à 50 m.

Unité du Gourma nord-ouest

Cette unité couvre la partie aval du delta intérieur, à l'Est d'une ligne Niafouké-Korientzé, ainsi que la bordure nord-ouest du Gourma où les alluvions anciennes sont recouvertes par des systèmes dunaires. Les surfaces temporairement inondées sont d'extension réduite sauf dans la zone des lacs de Bambara Maoundé.

L'épaisseur de l'aquifère est en général de quelques dizaines de mètres seulement en raison de la remontée du substratum infracambrien.

Dans le secteur lacustre, la granulométrie des dépôts est grossière avec des formations essentiellement sableuses comportant des niveaux à graviers de quartz.

Les nappes, peu profonde, est à 6.9 m en moyenne sous le sol et en équilibre avec les plans d'eau de surface.

II.2.2. Aquifère du Crétacé supérieur/Eocène inférieur

Cet aquifère est localisé à la partie périphérie occidentale de l'Adrar des Iforas ; il est caractérisé par des épaisseurs très variables de moins de 100 m à plus de 400m et une lithologie complexe. Les formations sont d'origine marine ou lacunaire et constituent principalement d'argilites, de schistes et de grès argileux avec des intercalations de niveaux calcaires et, localement, de couches phosphatées et d'horizons de lignite.

Considérées globalement, les formations du Crétacé supérieur et de l'Eocène inférieur constituent un aquifère de qualité médiocre.

La profondeur des niveaux statiques, toujours élevée, est supérieure à 50 m dans près de la moitié des forages. Sur le flanc sud-ouest de l'Adrar des Iforas, elle peut dépasser localement 100 m.

II.2.3. Aquifère du Continental intercalaire/Continental terminal

Il occupe la partie centrale et septentrionale du bassin de l'Azaoud ainsi que le fossé de Nara avec une superficie totale de près de 210 000 km².

Les similitudes de faciès des formations du Continental intercalaire et du Continental terminal ne permettent pas de les distinguer. Ces séries continentales anciennes sont couvertes par des dunes quaternaires et, localement, par des dépôts lacustres de l'Holocène qui affleurent dans les creux inter dunaires.

En raison de la piézométrie déprimée qui caractérise ce système aquifère, les formations du Continental terminal et du Quaternaire sont en général dénoyées et les ressources en eau sont donc, en fait contenues essentiellement dans l'aquifère du Continental intercalaire.

L'épaisseur moyenne des formations continentales est de l'ordre de 150 à 200 m ; elle se réduit à moins de 100 m à Foug el Alba en bordure du plateau du Khenachich ainsi qu'au voisinage de la dorsale de l'Azaouad où le substratum affleure. Par contre son épaisseur croît vers l'Ouest et dépasserait 500 m en Mauritanie.

Le mur de l'aquifère est constitué par les séries schisto-gréseuses de l'Infracambrien et du Cambro-ordovicien dans la partie sud et par les formations calcaires et argileuses du Carbonifère dans la partie nord.

Les formations aquifères sont constituées de sables et de grès localement grossiers avec des intercalations d'argiles plus ou moins sableuses.

Les niveaux d'eau sont profonds avec une valeur moyenne de 45 et une profondeur maximale de 60 m.

II.2.4. Aquifère du Continental intercalaire

Les formations du Continental intercalaire affleurent sur les bordures nord du bassin de l'Azaouad (Unité du Khenachich) et du bassin Mali – Niger (unité du Tamesna). Les données hydrogéologiques y sont très dispersées, anciennes et incomplètes.

L'aquifère est représenté par des grès conglomératiques à galets de quartz recoupés sur 20 à 30 m et qui reposent sur une puissante série d'argile namuriennes imperméables. Ils ne contiennent que de petites nappes superficielles isolées par des seuils dus à l'irrégularité du contact avec les argiles namuriennes.

La profondeur des couches aquifères du Continental intercalaire dépasse 300 m.

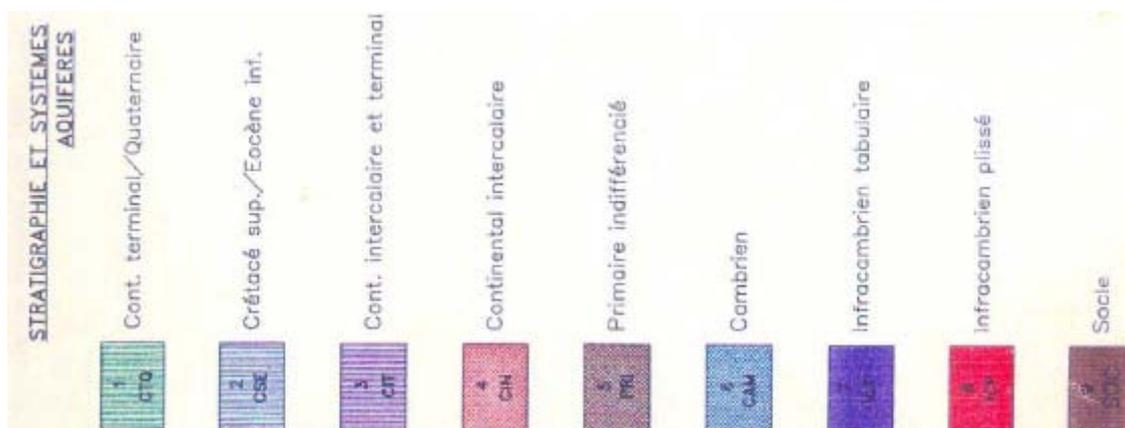
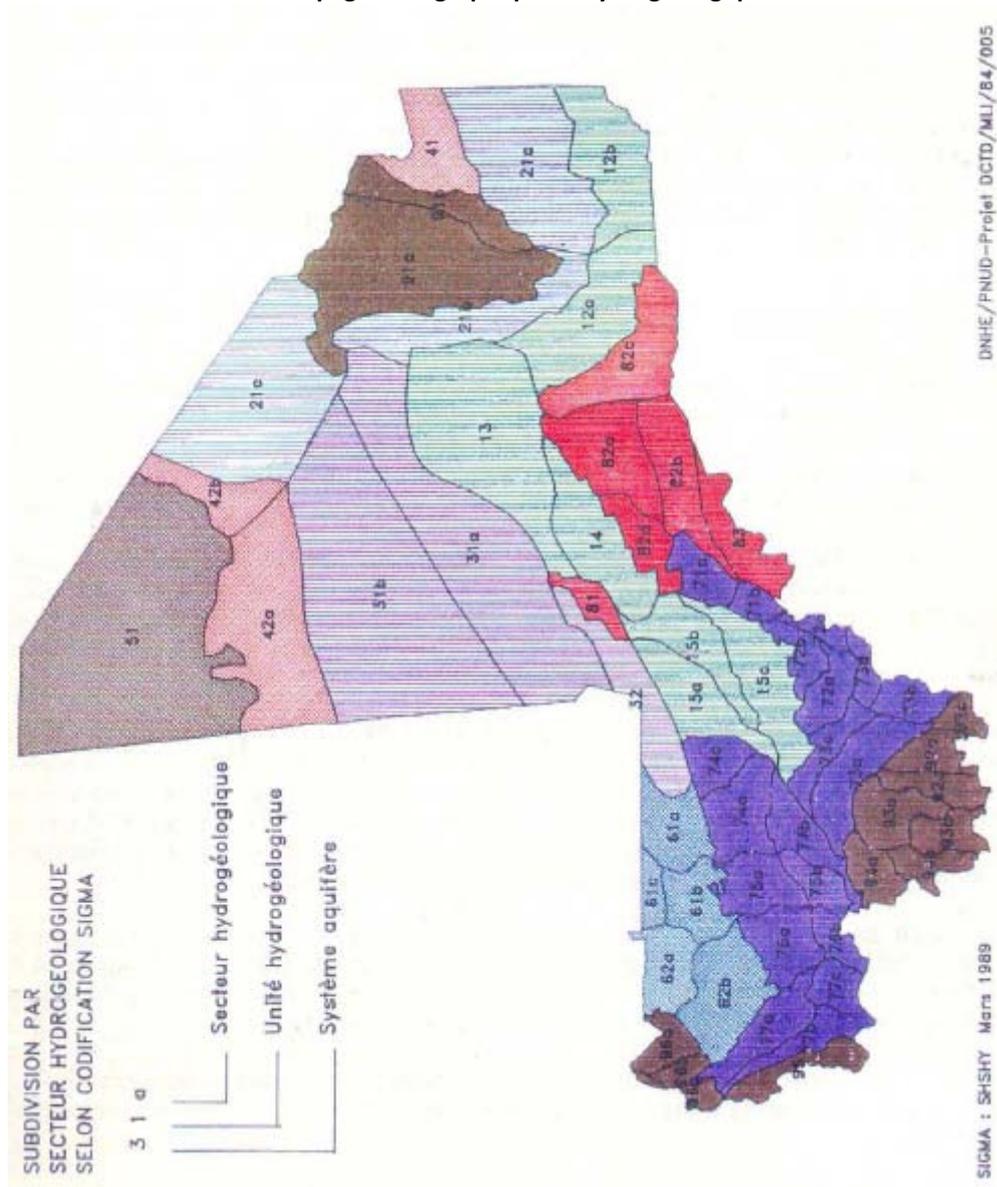
C'est un aquifère est mal connu à cause du nombre très limité des forages réalisés.

II.3. Aquifères du recouvrement ou aquifères superficiels

Des formations récentes, en général meubles ou peu consolidées, d'âge et d'origine variés, couvrent la majeure partie de la surface du Mali. Elles ont un rôle hydrogéologique important car elles constituent le premier réservoir interceptant les eaux d'infiltration générées par les précipitations et le ruissellement. L'épaisseur moyenne est de l'ordre de 10 m.

Cet aquifère se concentre sur les couches d'altérites superficielles (éluviales et colluviales) des autres formations et peuvent être plus ou moins épaisses et perméables selon la nature des roches d'origine et l'intensité de la fracturation. Parfois en voisinage des fleuves ils peuvent être plus importants, vu que souvent les fleuves mêmes s'installent et trouvent leur chemin dans les zones à substratum plus faible, mais aussi à cause des meilleures conditions d'alimentation.

Découpage stratigraphique et hydrogéologique



Source : DNH Mali, 1990

II.4. Qualité de l'eau

En ce qui concerne les eaux souterraines, et du point de vue hydro-chimique, le territoire peut être divisé en trois zones :

- *la zone ouest et sud du pays* : elle regroupe les régions de Kayes, Koulikoro, Sikasso et Ségou. Les eaux dans cette zone sont généralement peu minéralisées. Du point de vue composition chimique, les eaux souterraines de cette zone ouest et sud sont bicarbonatés-calciques avec des teneurs en sodium, potassium et sulfates faibles. Elles sont plus souvent acides que neutres ou basiques ;
- *La zone centre du pays* : les eaux souterraines, contenues dans les formations du Continental Intercalaire et du Continental Terminal (aquifères généralisés) sont en général plus minéralisées que dans la zone sud et ouest. La partie centrale du delta actif du fleuve Niger constitue une exception, où les eaux souterraines sont beaucoup plus douces. La zone est caractérisée par des eaux bicarbonatées, calciques et magnésiennes avec un pH globalement neutre à légèrement basique ;
- *La zone est et nord du pays* : les eaux souterraines provenant des aquifères généralisés sont souvent des eaux fossiles et sont en général beaucoup plus minéralisées que dans le reste du pays. Les conductivités électriques dépassent le plus souvent 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dépassant localement 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et atteignant 50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les zones désertique au nord d'Araouane et dans la cuvette de Taoudenni. Les eaux de cette zone est et nord sont en général très chargées en chlorures, sulfates, sodium et magnésium. Elles sont basiques à légèrement acides en fonction de la décroissance de la minéralisation.

III. Couverture actuelle des besoins en eau potable

Le taux d'équipement en points d'eau modernes est l'indicateur de base utilisé par l'Administration de l'Eau pour suivre l'évolution de l'approvisionnement en eau potable des populations et pour programmer ses investissements dans le secteur de l'hydraulique. Il se réfère à une norme d'équipement de 1PEM pour 400 habitants. Cette norme est définie sur une disponibilité en eau de 20l/j/habitant avec un débit moyen de 8 m³/jour par ouvrage : forage, puits moderne et puits citerne.

En ce qui concerne les bornes fontaines, il est retenu qu'une borne fontaine fournit en moyenne le même débit journalier qu'un point d'eau moderne.

Séries Chronologiques du taux d'accès à l'eau potable au Mali

Niveau	Méthode	1989	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	source
Rural	Globale		46.40%	56.90%	60.60%	62.50%	64.30%	63.70%	67.60%	69.91%	CPS/MMEE
	Détaillée	37.70%				55.6%	54.4%	55.0%	58.0%	60.13%	SIGMA
Urbain	Globale		58.70%	57.10%	59%	66.30%	70.20%	76.70%	75.90%	76.34%	CPS/MMEE
	Détaillée	53.20%									SIGMA
National	Globale		49.90%	57%	60.10%	63.80%	66.10%	67.40%	70.10%	71.71%	CPS/MMEE
	Détaillée	41%				58.90%	59.20%	61.20%	63.40%	64.66%	SIGMA/CPS

Source : CDI/DNH Mali, 2009

IV. Considérations générales des zones favorables aux forages manuels

Les zones favorables aux forages manuels sont définies par des critères qui tiennent compte essentiellement de l'état des formations géologiques. En effet, les forages manuels doivent être réalisés dans des milieux meubles, perméables, faciles à forer avec un instrument de perforation non mécanisé. La profondeur du niveau de l'eau constitue un critère capital (<25 m). La qualité physico-chimique de l'eau constitue également un facteur non négligeable.

IV.1. Dans les aquifères généralisés

Au Mali quelques expériences de forages manuels sont connues dans l'aquifère du Continental terminal et Quartenaire : le delta intérieur du Niger (région du Mopti) et le fossé de Gao (région de Gao). Zones propices aux forages manuels :

Unité du delta intérieur du Niger (région du Mopti)

La recharge des nappes est faite par les périmètres d'irrigation de l'Office du Niger, ce qui rassure la disponibilité de l'eau dans ces formations.

Les plaines alluviales qui s'étendent entre Ségou et Mopti jusqu'à la bordure de plateaux gréseux de San et de Bandiagara semblent être propices aux forages manuels.

Les dépôts continentaux varient de 30 à 80 m et contiennent des couches argileuses, ce qui constitue une limite toujours à vérifier.

Les niveaux statistiques sont à moins de 10 m de profondeur dans la zone lacustre ainsi que dans les plaines d'inondation en bordure des fleuves Niger et Bani, à l'amont du delta, ce qui favorise aussi le forage manuel.

Unité du fossé de Gao (région de Gao).

Elle s'étend sur la majeure partie du détroit soudanais et sur le flanc sud-est de l'Adrar des Iforas.

Sur les flancs ouest et sud de l'Adrar, son épaisseur se réduit progressivement de 200 m à moins de 30 m et repose sur les couches de l'Éocène inférieur.

Les forages, dans leur majorité, ont été réalisés dans une bande d'une vingtaine de kilomètres de large le long du fleuve Niger où les conditions hydrogéologiques sont les plus favorables du fait de l'influence des eaux de surface. Cela explique la profondeur des niveaux statiques qui arrive à 28 m et les débits relativement élevés des forages qui sont de 8.8 m³/h

Les dépôts quaternaires : Les sédiments sont des argiles, des sables et des limons alluviaux dont l'épaisseur ne dépasse pas 10 m. De point de vue hydrogéologie, c'est l'aquifère le plus facilement accessible ; ses caractéristiques sont peut être les moins connues, par ce que la plupart des ouvrages qui le captent sont des puits pour lesquels on ne dispose pas de données précises (coupe lithologique, essai de débit, piézométrie, ...). Les débits sont souvent modestes et les eaux sont de bonne qualité. Au niveau de la zone, la recharge des aquifères par percolation des eaux du fleuve Niger est importante.

Cette unité est intéressante pour les forages manuels seulement en proximité du fleuve Niger et des oueds mineurs qui garantissent une bonne alimentation et des niveaux d'eau proches de la surface.

Unité de l'Azaouad Sud

Elle peut être très intéressante pour les forages manuels dans les terrasses alluviales bordant le Niger, représentées par des limons argileux et des lentilles sableuses dont leur épaisseur est estimée à une vingtaine de mètres.

Les débits les plus élevés sont rencontrés dans la plaine alluviale du Niger et dans les compartiments où l'épaisseur cumulée des horizons sableux aquifères est la plus forte.

Unité de Gourma nord-ouest

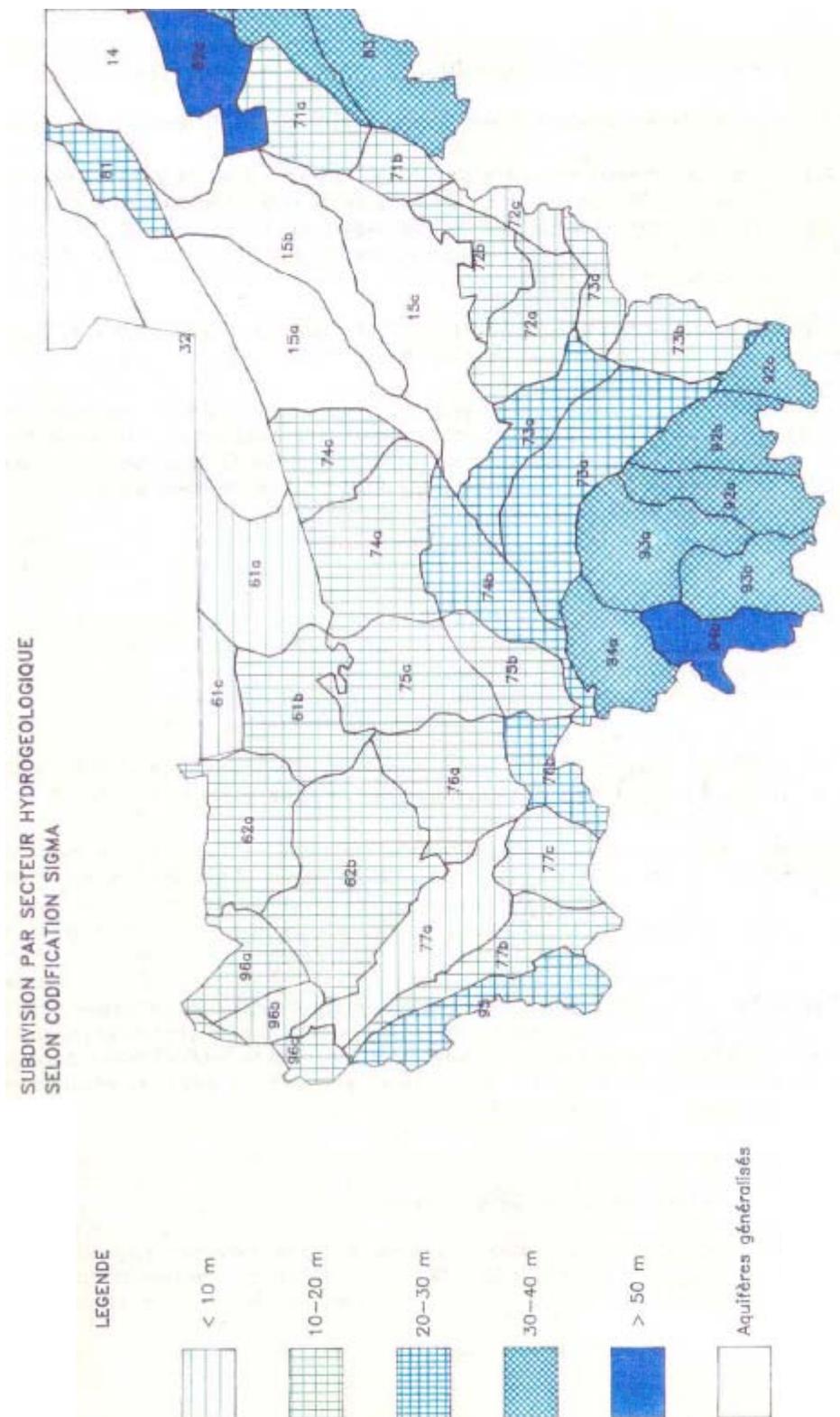
Les formations alluvionnaires anciennes sont dominantes et recouvertes par des systèmes dunaires, ce qui offre un aquifère peu profond de quelques dizaines de mètres seulement en raison de la remontée du substratum infracambrien, ce qui peut être suffisant pour l'utilisation des forages manuels, surtout si les dépôts ont une bonne perméabilité.

IV.3. Dans les aquifères du recouvrement

Ils sont exclusivement localisés dans les régions bien arrosées de l'ouest et du sud du Mali ou ils sont associés aux aquifères fissurés du socle et des grès infracambriens. Les nappes superficielles constituent,

traditionnellement, la principale ressource en eau exploitée par les populations rurales, en raison de la faible profondeur de niveaux phréatiques et de la nature meuble des formations de recouvrement qui permettent un fonçage des puits de captage. Les aquifères superficiels sont constitués par les couvertures d'altération latéritique, en place ou remaniées, et par les dépôts alluviaux et colluviaux des fonds de plus de 50 m dans le même sens que le gradient pluviométrique.

Epaisseur moyenne du recouvrement sur les aquifères fissurés



V. Méthodologie pour l'identification des zones favorables:

Pour l'identification de zones favorables aux forages manuels au Mali, on a considéré principalement les conditions suivantes :

CONVENANCE GEOLOGIQUE - Les forages manuels ne peuvent être réalisés que dans les formations meubles, de dureté adaptée à un outil de perforation manuel non motorisé. Il s'agit des formations sédimentaires non ou peu consolidées et les recouvrements du socle (terre végétale, argile, altérites).

Plusieurs formations géologiques ainsi que leurs couches d'altération présentent des caractéristiques d'épaisseur, de dureté et de perméabilité, favorables à la réalisation des forages manuels.

Les couches d'altération ne sont pas cartographiées sur la carte géologique disponible, mais dans plusieurs parties du pays elles constituent des aquifères superficiels peu profonds et perméables de façon à permettre leur exploitation avec ce type de forages. Pour identifier ces zones on a estimé le niveau d'altération potentiel (épaisseurs et caractéristiques) de chaque formation géologique. La présence de puits à grand diamètre a été aussi considérée comme un important facteur positif : bien qu'il y ait des puits creusés dans la roche dure, l'existence d'un nombre élevé de puits creusés à la main indique potentiellement des conditions de dureté faible et perméabilité suffisante des couches superficielles.

La limite principale de l'analyse est que les fiches des points d'eau (puits et forages) ne disposent pas de logs stratigraphiques ni de données générales sur la lithologie, ce qui permet de s'appuyer seulement sur les informations générales concernant les formations géologiques et les aquifères.

La délimitation et la classification de ces zones a été faite en définitive sur une base de la Cartographie Géologique vectorielle de la Direction Nationale de l'Hydraulique et des rapports du géologue expert WASH Unicef, Mr. Dembélé.

Pour la délimitation des zones avec couches d'altération exploitable on a utilisé les données disponibles (profondeurs des puits à grand diamètre) pour vérifier et modifier l'interprétation faite sur la base de la carte géologique et les caractéristiques générales des différentes formations.

APTITUDE HYDROGEOLOGIQUE - Dans les bassins sédimentaires et alluvions, la piézométrie de la nappe phréatique devra se situer dans les 25 premiers mètres. En milieu cristallin, l'altération du socle devra être la plus épaisse possible, composée de matériaux perméables, et mouillés à la base sur une hauteur supérieure à 4 mètres. L'analyse générale de la distribution dans l'espace des points d'eau avec leurs niveaux statiques a permis aussi de considérer des zones homogènes où, pour raison de stérilité de la formation ou pour motivations topographiques, la nappe se trouve dans des conditions hors de la profondeur souhaitée pour les forages manuels.

APTITUDE MORPHOLOGIQUE - Certaines zones, de par la morphologie, peuvent être le siège d'une épaisseur d'altération dans les formations cristallines et les dépôts d'alluvions, propices à l'implantation de forages manuels.

Une analyse morphologique a été effectuée pour identifier les zones où les couches d'altération peuvent être probablement plus épaisses, par exemple sur les dépôts alluviaux d'extension limitée et donc pas enregistrés dans la carte géologique; en plus, l'analyse de la morphologie peut être aussi utilisée pour estimer la profondeur des niveaux statiques.

La localisation géographique et l'environnement morphologique des formations ayant une distribution fragmentée ont aussi été considérés.

La classification des caractéristiques topographiques a été faite à partir du Modèle Digitale d'Élévation (SRTM) provenant de données radar et disponible sur Internet.

V.1-Classification selon l'aptitude géologique

V.1.1-Méthodologie d'estimation de l'aptitude géologique

La source d'information principale pour la délimitation de l'aptitude géologique dans les différentes zones du pays a été la Carte Géologique en format numérique vectoriel.

Il s'agit d'une carte géologique simplifiée comprenant 20 formations ou groupes de formations avec caractéristiques similaires.

Pour l'estimation de l'aptitude géologique les formations ou regroupement de formations ont été synthétisés en groupe de 10 et les paramètres suivants ont été considérés :

- la dureté de chaque formation (en relation avec l'aptitude au forage manuel). Pour le cas des roches dures, on tient compte de la présence et des caractéristiques de la couche d'altération),
- l'épaisseur des couches tendres.
- la perméabilité générale de l'aquifère et/ou de la couche d'altération quand elle existe.

A partir de ces paramètres on a pu évaluer une aptitude générale de chaque formation géologique (ou de sa couche d'altération) à développer un aquifère exploitable par les forages manuels.

La base de données des points d'eau du Mali (disponible avec plus de 10.110 puits et 18.954 forages), a fourni plusieurs informations :

- coordonnées géographiques des points d'eau (bonne qualité de « georeferencing »)
- unités administratives d'appartenance (village, commune, cercle, région),
- profondeur des puits/forages,
- aquifère capté et épaisseur (seulement pour les forages),
- plusieurs paramètres – physico-chimiques.

Le contrôle de qualité et validation de cette base de données a montré :

- coordonnées géographiques fiables (no filtrage SIG nécessaire)
- informations assez homogènes (chaque niveau d'information est présent moyennement entre 92-95% des fiches des points d'eau)

La limite de techniques manuelles de perforation est autour de 30-40 m et la profondeur du niveau statique ne doit pas dépasser 25m.

On estime alors que :

- l'existence de puits et de forages ayant un niveau statique comparable à celui attendu pour les forages manuels n'indiquent pas forcément des aquifères avec niveaux d'eau accessibles. En effet on doit vérifier qu'il ne s'agit pas de nappe en pression avec une venue d'eau profonde.
- L'existence de puits à grand diamètre pérenne et ayant une profondeur comparable à cela attendue pour les forages manuels peut indiquer des terrains favorables à la technique de forage manuel ;
- la concentration des puits par rapport aux forages indique les zones plus favorables au creusement manuel.

La distribution des puits estimée à partir de la base de données ne peut être exhaustive par rapport à la réalité sur le territoire car :

- beaucoup de puits ne sont pas enregistrés dans les informations officielles (par exemple, les informations sur les caractéristiques des puits traditionnels et puisards ne sont pas toujours disponibles dans la base de l'Administration de l'Eau)..
- la distribution des puits n'est pas seulement liée à la faisabilité technique, mais aussi à la distribution de la population et à la présence de sources d'eau alternatives.

C'est pour cela que dans l'interprétation on a considéré une grande présence de puits traditionnels comme un indicateur potentiel de l'existence des couches tendres et exploitables par les forages manuels, mais on n'a pas considéré automatiquement comme "non favorable" les zones où le nombre de puits est limité.

V.1.2-Resultat de la classification d'aptitude géologique

Le résultat de la classification des formations géologiques et de la comparaison avec les données de la base des puits et forages est la *carte d'aptitude géologique aux forages manuels*.

Ces premières classes d'aptitudes géologiques ont été définies par la manière suivante :

- Aptitude forte (FO): il s'agit des zones où les formations sédimentaires présentent des caractéristiques très favorables (faible dureté, perméabilité suffisante) donc aptes à la réalisation de forages manuels
- Aptitude moyenne (MO) : il s'agit des zones où les formations sont constituées de sédiments ou des couches d'altération avec des conditions de dureté, perméabilité et niveau statique et qui sont considérées partiellement favorables aux forages manuels ; ce type d'aptitude moyenne se concentre dans les zones où la couche d'altération est épaisse (souvent grâce à la présence d'une forte fracturation) et alimentée par le réseau hydrographique superficiel.

- Aptitude faible (FA) : il s'agit des zones où les couches d'altération sont peu épaisses et les réseaux de fracturation peu développés.

V.2 - Classification selon l'aptitude morphologique

Une grande partie du pays est formée par des unités géologiques qui ne sont pas favorables de par la nature de la roche mère, mais qui peuvent être couvertes par une importante couche d'altération exploitable par les forages manuels.

L'existence de couches superficielles perméables et de faible dureté peut être liée à l'épaisseur des couches d'altération (en relation avec les caractéristiques de la roche), mais aussi avec l'existence d'une morphologie superficielle qui peut dévoiler la présence de dépôts de sédiments non consolidés ou alluvionnaires, pas cartographiés.

Dans les informations cartographiques disponibles il n'y a pas une carte géologique géomorphologique. Pour cette raison, on a utilisé comme base cartographique une morphologie à partir du Modèle Digitale d'Élévation (SRTM) obtenu à partir des données radar et disponibles sur internet. Sur ce niveau d'information on a utilisé une procédure automatique basée sur un algorithme (Topographic Position Index) qui, à partir du modèle d'élévation du terrain, assigne à chaque zone une classe de position topographique donnée. Les domaines topographiques identifiés sont :

- Zone de bas-fond
- Zone à faible pente
- Zone à forte pente
- Zone de relief

L'algorithme fait une comparaison entre l'élévation de chaque pixel et l'élévation des pixels proches, jusqu'à une distance qui doit être définie par le technicien du SIG.

Dans ce cas les zones plus intéressantes à analyser étaient les zones déjà définies comme Moyenne sur couche d'altération (MO) pour les définir ultérieurement.

Cette analyse n'a pas pu aboutir parce que la presque totalité de ces zones présentent une pente inférieure à 5° et lorsque le relief est très faible, l'algorithme sélectionne un entrecroisement très subtil et intriqué influencé par le réseau hydrologique à échelle décimétrique, ce qui n'a pas de sens à l'échelle cartographique de travail.

Les zones montrant une pente majeure de 5° (autre facteur d'exclusion) sont concentrées dans des formations en principe déjà considérées de faible aptitude aux forages manuels.

V.3 - Classification selon l'aptitude hydrogéologique

L'observation d'une concentration de puits avec des niveaux statiques hors de la portée de la technique des forages manuels a emmené à une dé classification des zones à *faible potentialité* où pourtant les formations auraient une bonne aptitude géologique. En général les conditions de stérilité de la formation ou de la profondeur de la nappe par rapport à la topographie ou aux conditions hydrogéologiques sont un paramètre indépendant pour évaluer la faisabilité de cet outil.

V.4 - Analyse intégrée

En considérant les trois méthodes d'analyse de manière intégrée on aperçoit plusieurs facteurs à prendre en compte :

- Les formations, considérées à niveau cartographique, ne correspondent pas forcément aux aquifères : la formation « dunes et zones ensablées » couvre une bonne partie du centre et du nord du pays, mais il s'agit très souvent d'un recouvrement pas trop épais d'une formation aquifère plus importante, par exemple les zones ensablées immédiatement au nord de la boucle du Niger, couvrent un Continental Terminal bien alimenté par le fleuve, et de même dans le cercle de Nara où un bon nombre de puits montrent un niveau statique assez proche à la surface.
- Dans un pays à faible pluviométrie et à forte évapotranspiration, l'alimentation des nappes souterraines se fait surtout à travers le réseau hydrographique.

- Dans un territoire de si grande extension, les formations ne peuvent être classifiées sans considérer leur localisation géographique, que les poses sous différentes conditions climatiques, hydrogéologiques et d'alimentation. Par exemple il n'est pas possible d'assigner la même classification de dureté, perméabilité, épaisseur de la couche d'altération, aux effleurements du Précambrien C à Taoudenni, à Kidal et à Bougouni.
- Certaines formations présentent des caractéristiques lithologiques favorables, mais les niveaux statiques et/ou la profondeur des forages montrent que les aquifères se trouvent hors de la portée des forages manuels donc difficile à réaliser. A cause de cette contrainte certaines zones qui étaient considérées de Forte aptitude géologique ont été déclassifiées à Faible faisabilité. Par exemple certaines zones du Continental Terminale ou des Alluvions Anciennes peuvent être stérile ou avoir une nappe hors de la portée des forages manuels ou être un aquifère avec caractéristiques optimale pour ce type d'outil, selon la proximité aux plaines alluviales bien alimentées.
- De même, la situation morphologique met une formation dans différents conditions géolithologique et donc hydrogéologique. Par exemple la couche d'altération du Précambrien A Supérieur montre différentes caractéristiques dans conditions de haut plateau érodé (Bandiagara) ou de plaine (Banamba, Kolokani).

Dans le territoire du Mali, chaque formation a été donc classifiée de façon différenciée par zone, en tenant compte de ces principes, dans les suivantes catégories de faisabilité d'emploi des forages manuels.

Catégorie de faisabilité:

1. **Forte (FO)** - Cette zone a été classifiée avec forte potentialité sur la base de la présence de couches de sédiments granulaires avec une bonne perméabilité, un niveau statique assez proche de la surface du sol, et une bonne possibilité d'être creusée avec les techniques de forages manuels. Des études devraient être menées pour vérifier la qualité des eaux. La classification concerne la plupart des alluvions récentes.

2. **Moyenne sur altération/fracturation (MOa)** - Cette zone a été classifiée avec moyenne potentialité sur la base de la présence d'une couche d'altération assez épaisse et avec une moyenne perméabilité (mais aussi variable localement). En général le niveau statique devrait être assez proche de la surface, et les terrains concernés présentant une bonne potentialité pour la réalisation de forages manuels. Ces zones sont constituées par certaines formations gréseuses ou schisteuses Précambriens que forment les plaines de la partie centre sud du pays.

3. **Moyenne sur alluvions (MOal)** - Cette zone a été classifiée avec moyenne potentialité sur la base de la présence de zones alluviales non cartographiables, avec une sédimentation granulaire et une perméabilité moyenne. En général le niveau statique devrait être assez proche de la surface du sol, et les terrains concernés présentent une moyenne potentialité pour la réalisation de forages manuels ; ces conditions doivent être donc vérifiées au niveau local. Ces zones sont constituées par certaines formations granitiques Précambriens de l'Adrar des Ifoghas et du sud du pays, mais aussi des schistes et calcaires Cambriens à l'Ouest.

4. **Moyenne par niveau statique (MON)** - Moyenne potentialité sur la base de la présence, dans certains zones, d'un niveau statique assez proche de la surface, souvent du au voisinage à certains sources d'alimentation, parfois aléatoires, d'origine fluviale. Présentent sédimentation granulaire avec une moyenne perméabilité aussi une moyenne potentialité d'être creusées avec les techniques de forage manuel ; ces conditions doivent être donc vérifiées au niveau local.

5. **Faible (FA)** – Zones ayant des conditions de dureté, de perméabilité et de niveau statique élevés. Ces zones ne présentent pas les caractéristiques de faisabilité des forages manuels. On a tout de même distinguer, à l'intérieur, la présence de zones restreintes avec caractéristiques proche a MOa, MOal et MON :

- **Faible sur altération/fracturation (FAa)** - Certains zones présentent une potentialité sur la base de la présence d'une couche d'altération localement assez épaisse et avec une moyenne perméabilité (elle aussi variable localement). Les conditions à vérifier au niveau local sont sûrement l'épaisseur de la couche, le niveau statique assez proche de la surface, et la potentialité d'être creusées avec les techniques de forages manuels (terrains caillouteuses). Ces zones sont constituées par certaines formations gréseuses Précambriens que forment les plaines de la partie centre ouest du pays (par exemple Cercles de Banamba et Kolokani, mais aussi la zone de Bandiagara présente des puits dans ces conditions).
- **Faible sur alluvions (FAal)** - Certains zones présentent une potentialité sur la base de la présence de zones alluviales non cartographiables, avec une sédimentation granulaire et une perméabilité moyenne. Les

conditions à vérifier à niveau local sont sûrement l'extension et la profondeur par rapport à la roche mère, le niveau statique, assez proche de la surface, et la potentialité d'être creusées avec les techniques de forage manuel (terrains caillouteuses). Ces zones sont constituées par certaines formations gréseuses et schisteuses Précambriens, mais aussi les dolérites présentent des puits dans ces conditions.

- **Faible par niveau statique (FAn)** - Potentialité sur la base de la présence, dans certaines zones, d'un niveau statique assez proche de la surface, souvent du au voisinage à certains sources d'alimentation, parfois aléatoires, d'origine fluviale. Présentent sédimentation granulaire avec une moyenne perméabilité aussi une moyenne potentialité d'être creusées avec les techniques de forage manuel ; conditions qui doivent être vérifiées au niveau local. Par exemple, les Continental Terminal et Alluvions Anciennes ont généralement un niveau statique profond sauf en proximité des alluvions du fleuve Niger et aussi dans la zone de l'Office du Niger (delta mort).

Informations supplémentaires

Vu l'absence de logs de forages, dans certaines formations des contraintes particuliers peuvent signalés tels que la présence de couches argileuses superficielles qui peuvent déterminer des nappes captives. Cette contrainte peut provoquer une mauvaise interprétation du niveau statique.

Afin d'améliorer la desserte en eau potable des populations du Mali, on peut remarquer que le meilleur avantage pourrait être obtenu en croisant les informations concernant, au niveau de chaque Cercle, le nombre d'habitants et son taux de croissance par rapport aux derniers recensements, le taux de desserte (information pas disponible) et les zones à meilleure faisabilité des forages manuels. On aura probablement les meilleurs résultats en termes d'efficacité, dans les Cercles dont le nombre d'habitants et taux de croissance sont plus élevés et situés dans des régions à faible taux de desserte, et dans les territoires plus favorables en termes d'aptitude à ce type d'outil.

Ces conditions se vérifient principalement en zone rurale et périurbaine (mais sans tenir compte du taux de desserte en eau potable) dans les Cercles de Mopti et San ; en deuxième rangement aussi Kati et Kayes.

Conclusions

L'étude de faisabilité des forages manuels au Mali, effectué sur base géographique (SIG), à travers la collecte des informations et des données géologiques, intègre les données collectées sur les eaux souterraines auprès de la Direction Nationale de l'Hydraulique. Elle permet d'avoir une vision assez large sur le contexte géologique et hydrogéologique du Mali et une identification générale des zones favorables à ce type d'outil, avec toutes les limitations d'un traitement massif des données.

Les expériences de forages manuels réalisés au Mali ont facilité l'interprétation des données et des informations collectées.

C'est ainsi qu'on retient les zones suivantes comme zones propices aux forages manuels :

Dans les aquifères généralisés

- ❖ L'aquifère Continental Terminal/Quartenaire, caractérisée par des sables, argiles, alluvions, latérites concerne :
 - L'unité du delta intérieur du Niger (région du Mopti), couvre toute les plaines alluviales du fleuve Niger de la région de Ségou jusqu'à Bandiagara (région de Mopti)
 - L'unité du fossé de Gao (région de Gao), couvre toute la bande riveraine d'une vingtaine de kilomètres de large le long du fleuve Niger
 - L'unité de l'Azaouad Sud couvre toute la bande riveraine d'une vingtaine de kilomètres de large le long du fleuve Niger
 - L'unité de Gourma nord-ouest, couvre la partie du Gourma jusqu'au substratum infracambrien.

Dans les aquifères de recouvrement

- ❖ Recouvrement sur socle - Les altérites sur les unités du socle de Bougouni et de Kéniéba sont épaisses de 20 à plus de 50 m et en grande partie saturées, les niveaux phréatiques sont en général situés à moins de 10 m, même en fin de saison sèche.

- ❖ Recouvrement sur grès infracambrien - Les formations d'altération qui recouvrent les plateaux gréseux soudano-sahéliens sont moins épaisses, 10 à 20 m en moyenne, que sur le socle. Elles sont aussi plus perméables du fait d'une fraction sableuse résiduelle importante et d'une perméabilité secondaire liée à l'activité biologique développée sur toute la hauteur des profils d'altération.

Dans les aquifères fissurés

- ❖ L'aquifère du Cambrien (à travers l'oued Faka), caractérisé par les alluvions des vallées de la zone de Niore du Sahel
- ❖ L'aquifère du socle (à travers l'unité de l'Adrar des Iforas), caractérisé par des alluvions des fonds d'oued

L'ensemble du territoire a été classifié selon différentes catégories de faisabilité qui doivent être considérées avec une certaine souplesse, d'un point de vue :

- géographique - l'extension peut être étendue ou restreinte par considération des caractéristiques en échelle locale,
- géologique - aussi de façon locales peuvent être considérés particuliers conditions de fracturation, perméabilité, proximité de zone d'alimentation en eaux souterraines par le réseau hydrologique superficielle.

Dans les zones les plus favorables (FO), les limitations et les contraintes indiquées seront considérées comme facteurs à approfondir localement, pour améliorer les possibilités de succès pour la réalisation des forages manuels..

Dans les zones à potentialité Moyenne (MO), les conditions d'épaisseur des couches d'altération, de perméabilité et des conditions des ressources en eau souterraines, pourront être considérées localement par les géologues selon leur expérience et à travers des études particulières de reconnaissance géo-lithologique et géophysique que pourront être effectué dans une deuxième phase.

|

Références des documents et sites consultés

DNH, Synthèse hydrogéologique du Mali, Exploitation, évaluation et gestion des ressources en eau souterraine, Septembre 1990

OXFAM/GB-DRHE-Gao, Etudes hydrogéologiques dans la commune de Bamba, cercle de Bourem, région de Gao, Octobre 2008

OXFAM/GB-DRHE-Gao, Etudes hydrogéologiques dans la commune de Bamba, cercle de Bourem, région de Gao, Février 2009

FAO, <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/counprof/Mali/maliFR.htm#fig5fr>