

Source : REVUE ANNUELLE CONJOINTE, PEPAM (2006, 2008, 2009, 2010)

Figure 2-1-1 Evolution mitigée des indicateurs d'accès aux services d'eau potable

Au PEPAM, les Quatre systèmes d'approvisionnement en eau sont montrés au tableau 2-1-1 et les nappes sont considérées comme de l'eau potable. ils sont classifiés en canalisations installées aux ouvrages hydrauliques en (AEMV, AEV) ou point de source de type ouvrage hydraulique (PMH, PM)

Tableau 2-1-1 Catégorisation par type de système d'approvisionnement en eau par le PEPAM

Système d'approvisionnement en eau			caractéristiques
Canalisation installée au niveau de l'ouvrage hydraulique	AEMV	: Adduction d'Eau Multi-Village : système d'adduction d'eau Multi-village	Fournir de l'eau au village centre et ses villages polarisés avec des réservoirs d'eau élevés.
	AEV	: Adduction d'Eau Villageoise : système d'adduction d'eau villageoise	Alternative de AEMV. Fournir de l'eau au village centre avec des réservoirs d'eau élevés.
Point de source de type ouvrage hydraulique	PMH	: Pompe à Motricité Humaine	D'utiliser des forages équipés de pompe manuelle comme source d'eau.
	PM	: Puits Moderne protégé	D'utiliser un puits dont la couverture est faite en béton comme source d'eau.

2.2 Les grandes lignes du secteur de l'assainissement

2.2.1 Organization administrative

Les organismes administratifs en charge de l'assainissement en milieu rural sont la DAR (Direction de l'Assainissement Rural) dans le Ministère de l'Urbanisme et de l'Assainissement (MUA) et le SNH (Service National de l'Hygiène), le Service Régional de l'Hygiène, la Sous-Brigade de l'Hygiène dans le Ministère de la Santé et de la Prévention (MSP).

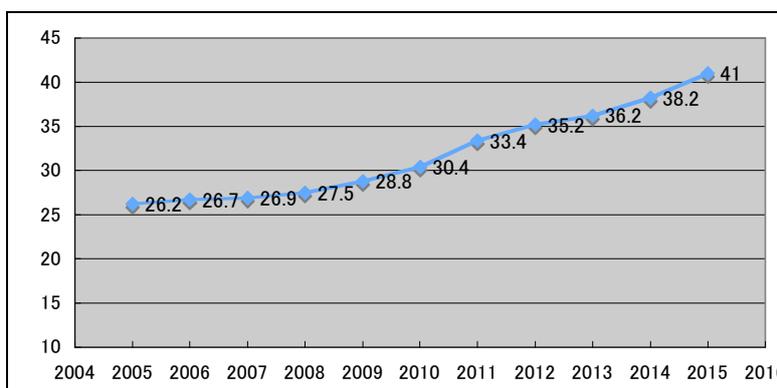
(1) DAR: Direction de l'Assainissement Rural

"Ministère de l'Assainissement") par décret de juin 2010. Son organigramme est indiqué ci-dessous.

La définition des installations d'assainissement dans le cadre du Joint Monitoring Programme (JMP) pour l'Approvisionnement en eau et l'Assainissement réalisé par l'UNICEF/OMS est la suivante.

Tableau2-2-1 Définition des installations d'assainissement dans le cadre du Joint Monitoring Programme (JMP) pour l'Approvisionnement en eau et l'Assainissement réalisé par l'UNICEF/OMS

Installations sanitaires améliorées	Installations sanitaires non améliorées
Définition : Installations hygiéniques empêchant tout contact humain avec les excréments.	Définition : Installations n'évitant pas tout contact avec les excréments par une évacuation
<ul style="list-style-type: none"> ● Chasse d'eau vers : <ul style="list-style-type: none"> - Un système d'égout avec canalisations - Une fosse septique - Une latrine à fosse ● Latrine améliorée à fosse ventilée (VIP) ● Latrine à fosse couverte par une dalle ● Latrine à compostage 	<ul style="list-style-type: none"> ● Chasse d'eau vers d'autres destinations ● Latrine à fosse non couverte ou fosse ouverte ● Seau ● Toilette suspendue ou latrine suspendue ● Pas d'installation ou brousse ou champ (défécation à l'air libre)



source : REVUE ANNUELLE CONJOINTE 2009, PEPAM

Figure2-2-3 Evolution du pourcentage d'accès

Le taux de 41% indiqué pour 2015, la dernière année des évolutions ci-dessus, n'atteint pas les 59% de l'objectif du PEPAM. Ceci indique qu'à l'étape actuelle, les projets des autres donateurs et les projets nationaux où les dispositions budgétaires sont assurées ne pourront pas atteindre l'objectif fixé et met en relief la nécessité d'obtenir des suppléments en matière de budget.

Toutefois, les modifications de la stratégie et l'assouplissement des spécifications ont entraîné des changements de direction dans la construction des installations d'assainissement (latrines). Cette approche, qui n'avait pas été introduite jusqu'à présent parce qu'elle ne correspondait pas à la fragilité des latrines construites en milieu rural au Sénégal et aux spécifications standard, a été lancée en vue de l'amélioration de l'Assainissement dans les villages et du taux d'accès, en tant qu'étape la plus basse dans l'aménagement des installations d'assainissement.

2.2.6 Objectifs chiffrés du Sénégal pour l'amélioration des conditions d'assainissement

(1) Evolution de taux d'accès à l'assainissement au niveau national

Le taux d'accès à l'assainissement en milieu rural du PEPAM conjecture les évolutions suivantes

Tableau 2-2-2 Taux d'accès à l'assainissement en milieu rural (inclus la conjecture)

2005	2009	2010	2015
26,2%	28,9%	30,1%	63,0%

Source : Rapport annuel du PEPAM 2009

La vitesse des améliorations dans le domaine de l'assainissement est relativement faible, et il faut remarquer que, dans les régions en particulier, la mise en place des latrines publiques et des latrines familiales ne progresse pas véritablement. Une raison citable est qu'il y a une tendance dans l'aide des bailleurs de fonds, et que des fonds moins importants sont donnés pour les projets d'assainissement que

Chapitre 3 Etude sur les ressources en eau

3.1 Méthodologie de l'étude sur les ressources en eau

L'étude sur les ressources en eau a été menée suivant le schéma présenté dans la Figure 3-1-1. Le présent chapitre traitera du processus qui a abouti à l'évaluation du potentiel des ressources en eau à partir des résultats de la collecte et de la classification des documents existants et, en ce qui concerne la simulation ayant porté sur les eaux souterraines (analyse prévisionnelle), elle sera indiquée au Chapitre 8 "Prévisions selon les modèles tridimensionnels des eaux souterraines".

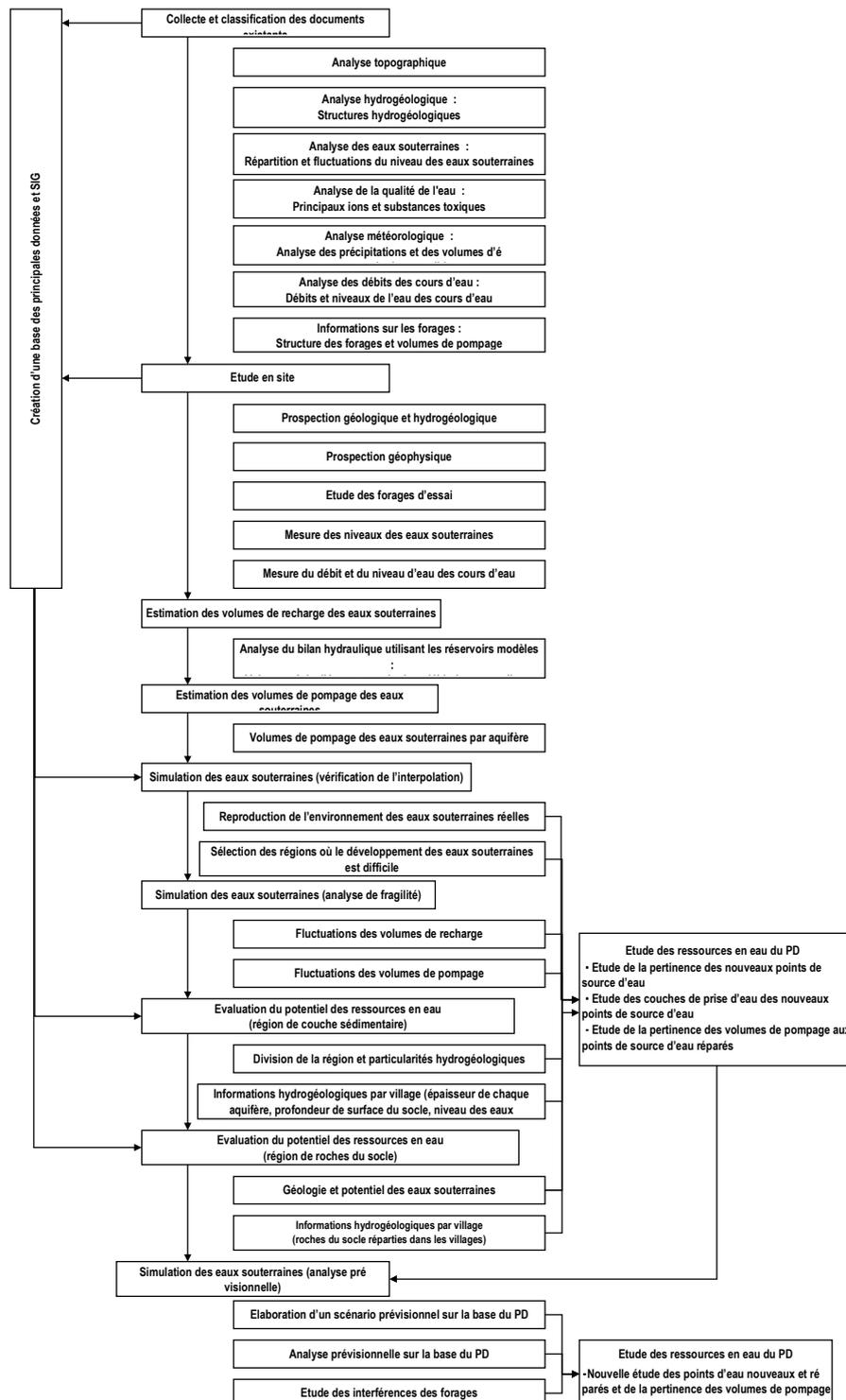


Figure 3-1-1 Schéma de l'étude sur les ressources en eau

3.2 Collecte, classification et analyse des documents existants

3.2.1 Documents existant collectés

Les rubriques des principaux rapports et données, etc. qui ont été collectés, classifiés et analysés dans le cadre du présent projet sont indiquées ci-après.

- Topographie, mesures (y compris données d'altitude)
- Cartes topographiques, cartes des structures géologiques, cartes hydrogéologiques, cartes géologiques et minières
- Rapports en relation avec la géologie, l'hydrogéologie et les eaux souterraines (y compris foration de puits, modélisation et qualité de l'eau)
- Prospection géophysique
- SIG/ Base de données
- Météorologie (précipitations journalières, températures mensuelles)
- Débits des cours d'eau

3.2.2 Analyse topographique

Une carte des caractéristiques géographiques fines et une coupe topographique de la zone d'étude sont établies sur la base des données d'élévation numériques de SRTM-90 pour saisir les particularités topographiques de la zone concernée et de ses environs. Ces cartes révèlent les particularités topographiques de la zone concernée, avec notamment:

- L'existence d'une falaise raide aux environs de la frontière guinéenne
- L'existence de collines où sont distribuées des roches basaltiques
- L'existence de pentes douces en direction sud-est - nord-ouest
- Les emplacements bas sur les pentes ci-dessus ont tendance à avoir une pente raide du côté nord-ouest et une pente douce du côté sud-est.
- Le relèvement de la rive ouest du fleuve Sénégal et pente douce vers le sud-ouest

3.2.3 Analyse géologique et hydrogéologique

(1) Généralités géologiques et hydrogéologiques

Le rapport d'étude élaboré en 2001 par la DGPRE (Consultant exécutant : COWI) présente l'étude qui sert actuellement de référence pour comprendre les ressources en eaux souterraines au Sénégal et il inclut les éléments suivants :

- Résumé de la situation hydrogéologique de l'ensemble du Sénégal centrée sur une couche du Maastrichtien et stratigraphie hydrogéologique principalement sur les couches du Maastrichtien.
- Identification de l'emplacement des puits et observation du niveau des eaux souterraines par GPS
- Modélisation et analyse du potentiel des eaux souterraines sur la base des résultats ci-dessus.

La stratigraphie hydrogéologique établie par l'étude ci-dessus est présentée dans le Tableau 3-2-1. Par ailleurs la Figure 3.2.1 montre une carte géologique élaborée dans le cadre du présent Projet. Il est possible de diviser les aquifères en 5 différentes couches ; en partant du bas, notamment avec (1) l'aquifère du Maastrichtien, (2) l'aquifère du Paléocène, (3) l'aquifère de l'Eocène, (4) l'aquifère du continental terminal/ Oligo-Miocène et (5) l'aquifère du Quaternaire. Une présentation générale de ces aquifères et des différentes roches du socle est donnée ci-après.

1) Roches du socle

Les principales roches réparties dans la zone de roches du socle, de la partie sud de la zone du projet sont les basaltes (basalte, dolérites, spilites, etc.) les roches carbonatées (calcaires, marnes indurées, etc.) les granites (granites, aplites, etc.), les schistes (schistes verts, micaschistes, amphibolites, etc.) les quartzites et les roches sableuses (grès, schistes silicieux, grauwacke). Par ailleurs, parmi les filons

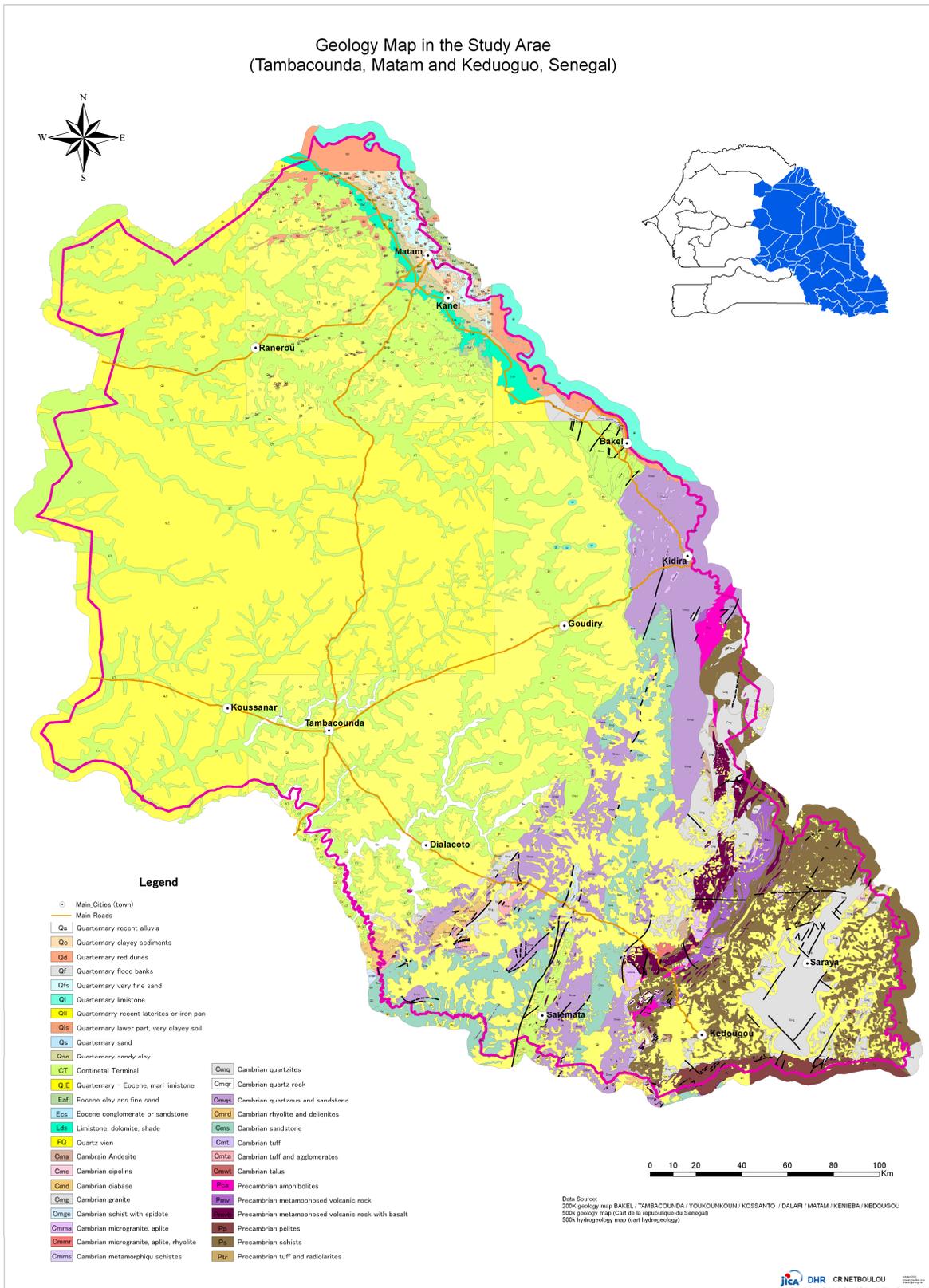


Figure 3-2-1 Carte géologique réalisée dans le cadre du Projet
 Veuillez vous référer à la page suivante pour la légende agrandie.

instrusifs, des veines de pegmatites et de quartz se trouvent dans les roches indiquées ci-dessus.

2) Couche du Maastrichtien

La couche du Maastrichtien, dont la partie supérieure est constituée du Crétacé, est largement répartie dans la zone du projet et sa base de support s'approfondit vers l'ouest. Cette couche est composée de sédiments marins tels que les grès, les couches de sable et les couches de sable boueux, et l'on peut supposer qu'une couche d'argile noire se trouve dans sa partie la plus basse. En outre, de nombreuses couches d'argile noire se retrouvent également en bordure avec la couche du Paléocène de la partie supérieure.

3) Aquifère du Paléocène

La couche du Paléocène est constituée de sédiments de transgression marine ultérieure au Crétacé, principalement composés de roches carbonatées. Des zones de marnes sont également largement disséminées, et la perméabilité de ces couches marneuses est faible.

4) Aquifère de l'Eocène (Couche Eo)

On suppose que la couche de l'Eocène est constituée de sédiments de transgression marine de l'époque Eocène faisant suite à la couche du Paléocène et des roches affleurent dans la partie nord-est du projet. On y trouve de nombreuses marnes indurées (sol) et des couches boueuses, avec partiellement des intrusions de roches calcaires et de couches de sable calcaire.

5) Aquifère du Continental terminal/ Oligo-Miocène (Couche Co)

Cette couche est généralement appelée couche du Continental terminal mais elle est aussi parfois dénommée couche de l'Oligo-Miocène. Elle est principalement constituée de couches de sable boueux allant jusqu'à des couches de sable fin, avec des intrusions partielles de calcaire. Par ailleurs, cette couche est répartie en épaisseur dans la partie Sud de la région de Tambacounda, et la couche du Maastrichtien étant également profonde ici, elle est exploitée en tant que principale aquifère. D'autre part, dans la région de Matam (et en particulier dans la région est), cette couche est peu profonde et elle ne convient par conséquent pas en tant qu'aquifère pour le développement des eaux souterraines.

6) Aquifère du Quaternaire (Couche Q)

La couche du Quaternaire est composée de couche de roches carbonatées marines comprenant des coquillages, de sédiments alluvionnaires, de sédiments lacustres et de sédiments éoliens, entre autres. Dans la région du présent projet, l'exploitation des eaux souterraines dans la couche alluvionnaire le long du fleuve Sénégal fait actuellement l'objet de discussions.

Tableau 3-2-1 Stratigraphie hydrogéologique au Sénégal (Source : COWI (Septembre 2001))

ERE	PERIODE GEOLOGIAUE			Regroupement Strati	Zond Nord		Système Aquifère	Zond Sud		
	Syst.	Série	Etage		Lithologie dominante	Aqui..		Lithologie dominante	Aqui..	
TERTIAIRE	QUATERNAIRE			Ensemble supérieur	Sables éoliens alluvions tufs volcaniques	Aauière	"Complexe Terminal"	Sables marins et éoliens	Aauière	
	NEOGENE	PLIOCENE	"CONTINENTAL TERMINAM"		Sables coquilliers sables +/- argileux	Aquitard		Sables ou grès argileux et argiles	Aauiard	
		MIOCENE			Marno calcaire	Aquitard		Sables avec bancs d'argile et calcaires	Aauière	
		OLIGOCENE			Marnes et agiles	Aquitard				
	PALEOGENE	EOCENE	moy	LUTETIEN SUP.	Calcaires marno-calcaires	Aquiclude	"Système Aquifère du Paléogène"	Calcaires karstifiés	Aauière	
				LUTETIEN INF.	Sables	Aauière		Marno calcaires passés sable	Aauiard	
		PALEOCENE	inf	YPRESIEN	Marnes et agiles	Aquiclude		Sables calcaires coquilliers ou karstifiés	Aauière	
				PALEOCENE sup. à moyen	Marno-calcaires calcaires karstifiés marnes	Aauière		Marno calcaires argiles	Aauiard	
				DANIEN	Marno calcaires	Aquitard				
	SECONDAIRE	CRETACE	CRETACES Supérieur	SENONIEN	MAASTRICHIEN	Sables grès, sables gréseux sables argileux	Aauière	"Système Maastrichtien"	Sableux avec passées d'argile	Aauière
					CAMPANIEN	Grès Sables argileux	Aauière		Sables argileux	Aauière
SENONIEN INF					Sables argileux et argiles sableuses	Aquitard	Argile sableuse		Aauiard	
TURONIEN				Argiles noires	Aquiclude	Argiles noires	Aquiclude			
CRETACES moyen			CENOMANIEN	Ensemble inférieur	Calcaires argiles sableuses	Aquiclude			Marno calcaire	Aquiclude
			ALBIEN		Calcaire, marno calcaire sables argileux				Marno-calcaires, argiles sableuses	
			APTIEN		Calcaire, marno calcaire argiles sableuses				Marno-calcaires, argiles sableuses	
CRETACES inférieur		NEOCOMIEN	Calcaire dolomitique							
		JURASSIQUE	Calcaires, calcaires dolomitiques	Aquiclude		Calcaires et bancs de dolomie	Aquiclude			
		TRIAS	Couche salifère	Aquiclude		Couche salifère	Aquiclude			
PRIMAIRE			-Socle-	Argiles siliceuses grès quarizites conglomérats	Aquiclude		Argiles siliceuses grès quarizites conglomérats	Aquiclude		
SOCLE CRISTALLIN				Granites, diorites, roches métamorphiques			Aquifère dans les zones superficielles fracturées et arénisées			

(Source : COWI, septembre 2001 ; Division de 3 couches <Aquifère, Aquitard, Aquiclude> par couleur réalisée dans le cadre du Projet)

(2) Elaboration de coupes géologiques

Les relevés de foration de chacun des forages ont été classifiés sous forme de colonnes lithostratigraphiques (se reporter au Recueil des données) et, parallèlement, les plans en coupe reportant ces colonnes ont été élaborés pour servir de documents de base dans l'étude des structures hydrogéologiques.

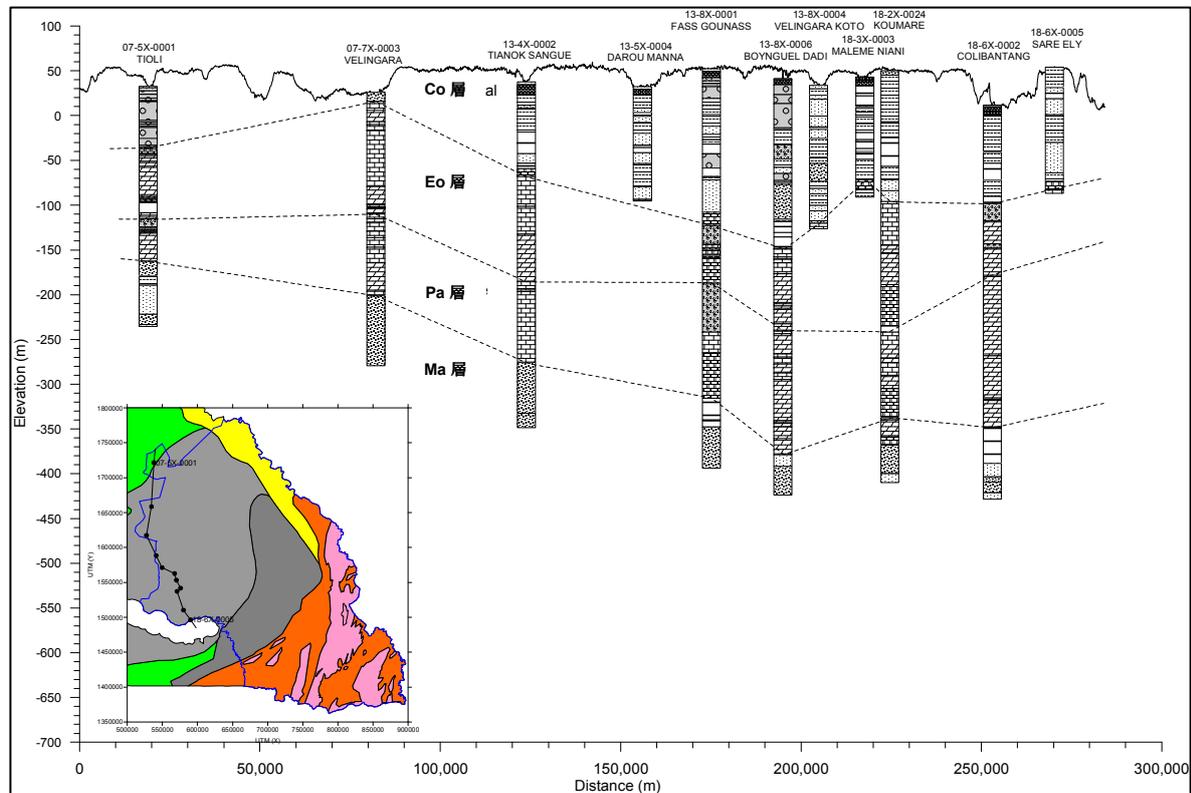
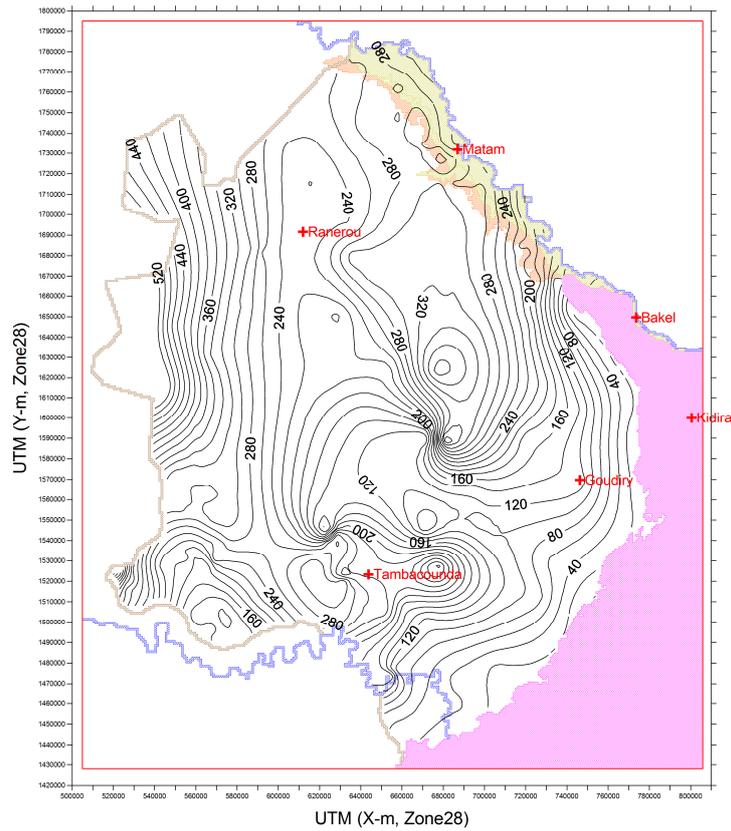


Figure 3-2-2 Coupe géologique

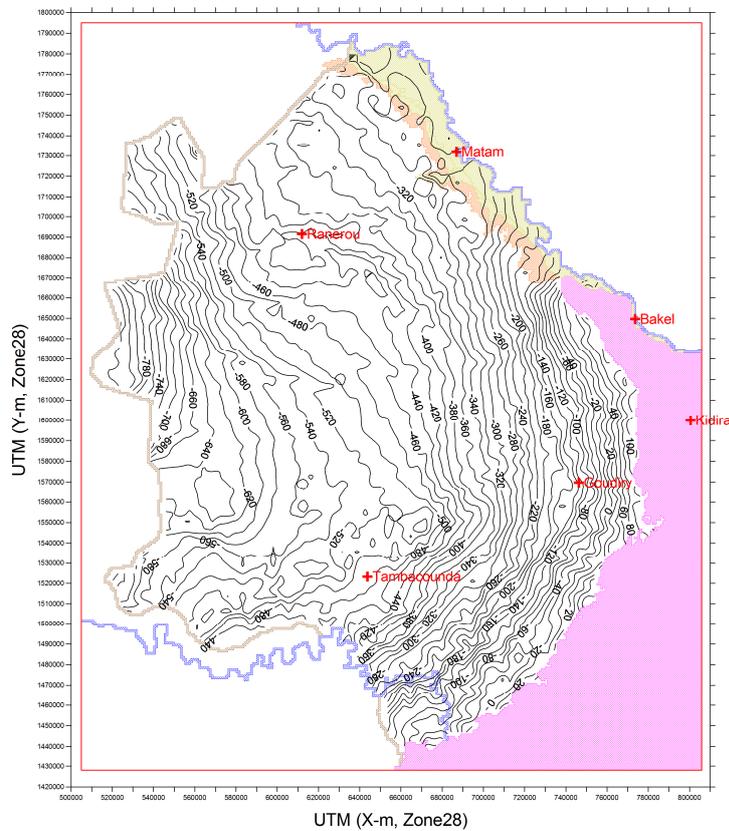
(3) Epaisseurs des aquifères et profondeurs de la surface du socle

Les profils stratigraphiques de 400 forages environ, ont été classifiés dans la zone de couche sédimentaire et dans la zone de roches du socle. Pour les profils stratigraphiques de la zone de couche sédimentaire en particulier, après avoir étudié les limites des aquifères pour chaque forage conformément au faciès, une carte des épaisseurs des couches (Figure 3-2-3) et une carte des profondeurs de la surface du socle (Figure 3-2-4), telles que présentées dans les pages suivantes, ont été élaborées afin non seulement de servir de données de saisie pour le modèle de simulation, mais également de données de base lors de l'étude des couches de prise d'eau pour les nouveaux forages du PD.



(Répartition de l'épaisseur de la Couche Ma)

Figure 3-2-3 Exemple de la répartition de l'épaisseur



(Répartition de la profondeur de la surface de base de la Couche Ma)

Figure 3-2-4 Exemple de la répartition de la profondeur de la surface de base

3.2.4 Niveau et mouvement du débit des eaux souterraines

(1) Fluctuation du niveau des eaux souterraines (Collecte et classification des données de surveillance de la DGPRE)

1) Objectif et méthode de l'étude

Les résultats du résumé ont été utilisés comme données de vérification lors de la simulation de l'écoulement des eaux souterraines.

2) Résultats de l'étude

Le Tableau 3-2-2 leurs caractéristiques. La Figure 3-2-5 indique les variations de niveau des eaux souterraines de chaque point d'eau de surveillance. Les résultats du résumé ont été utilisés en tant que données de vérification lors de la simulation de l'écoulement des eaux souterraines.

Tableau3-2-2 Caractéristiques des points d'eau de surveillance de la DGPRE

No_IRH	Village	Longitude	Latitude	Nappe phréatique	Points d'eau	Elévation repère (m)
20-1X-0001	BANTANANI	-12,9750	13,7222	Maast	Forage	56,88
13-2X-0002	BELEL TOUFFLE	-14,5347	14,8856	Maast	Forage	23,19
15-7X-0001	BOYNGUEL BAMBA	-12,9400	14,0942	Maast	Piézomètre	52,07
09-7X-0016	DIALLOUBE DIAMOUNGUEL	-12,9250	15,1111	Maast	Forage	54,42
18-6X-0007	FADIACOUNDA	-14,1611	13,6269	cpx,t	Forage	10,30
08-6X-0011	KANEL F4	-13,1811	15,4883	Maast	Piézomètre	(25,62)
14-1X-0002	KARE KABI	-13,8861	14,7514	Maast	Forage	53,46
13-1X-0005	KHOUMOUK	-14,8075	14,9917	Maast	Forage-puits	(49,48)
18-2X-0009	KOUNDIAO SOUARE	-14,5167	13,8000	Maast	Forage-puits	31,79
19-2X-0002	MAYEL DIBI	-13,6431	13,8861	cpx,t	Forage	21,37
08-8X-0001	NAMARY	-13,6456	15,0822	Maast	Forage-puits	39,62
18-5X-0004	PAKEBA	-14,3625	13,5556	cpx,t	Forage	15,74
08-7X-0001	RANEROU	-13,9569	15,3042	Maast	Forage	(40,74)
14-8X-0001	SINTHIOU BOCAR ALI	-13,5681	14,2319	Maast	Forage	42,01
15-7X-0002	FETE NIEBE	-12,6800	14,2200			(71,59)
19-4X-0006	SOUROUYEL SALIF	-13,8600	13,5900	cpx,t	Piézomètre	(32,03)
14-7X-0002	TINKOLY MANDINGUE	-13,9500	14,0400	cpx,t		(26,91)

*: Explication du Forage-puits; Composé d'un puits creusé à la main en haut et d'un forage en bas

** : Les chiffres indiqués entre parenthèse indiquent l'élévation estimée de SRTM-3.

(2) Répartition des eaux souterraines

Dans la région du projet, il n'existe pas de données d'observation correspondant à des mesures simultanées des niveaux d'eau. En outre, de nombreux forages actuellement en cours de fonctionnement sont équipés de pompes verticales et il est par conséquent difficile de procéder de nouveau à ces mesures simultanées des niveaux.

Par conséquent, un calcul non stationnaire à long terme (calcul quasi-stationnaire) a été effectué au début de l'analyse de simulation indiquée ci-après sur la base des données du niveau d'eau statique au moment de la foration (avant la vérification de l'interpolation), et la répartition des niveaux des eaux souterraines a pu être déterminée (Figure 3-2-6). Ces résultats ont été retenus comme niveaux d'eau initiaux pour la simulation des eaux souterraines.

(3) Ecoulement des eaux souterraines

L'étude actuellement considérée comme fondamentale pour l'explication des ressources en eaux souterraines au Sénégal, est l'étude du potentiel des eaux souterraines effectuée sur l'ensemble du pays entre 1994 et 2000 et résumée en 2001 par la DGPRE (Consultant chargé de l'exécution : COW1) et portant principalement sur la couche du Maastrichtien. Les résultats importants de l'étude de la DGPRE (2001) ont été d'identifier la direction de l'écoulement des eaux souterraines de la couche Ma, de présenter les possibilités de recharge des eaux souterraines à partir des cours d'eau et les jaillissements des eaux souterraines dans la partie intérieure (Figure 3-2-7).

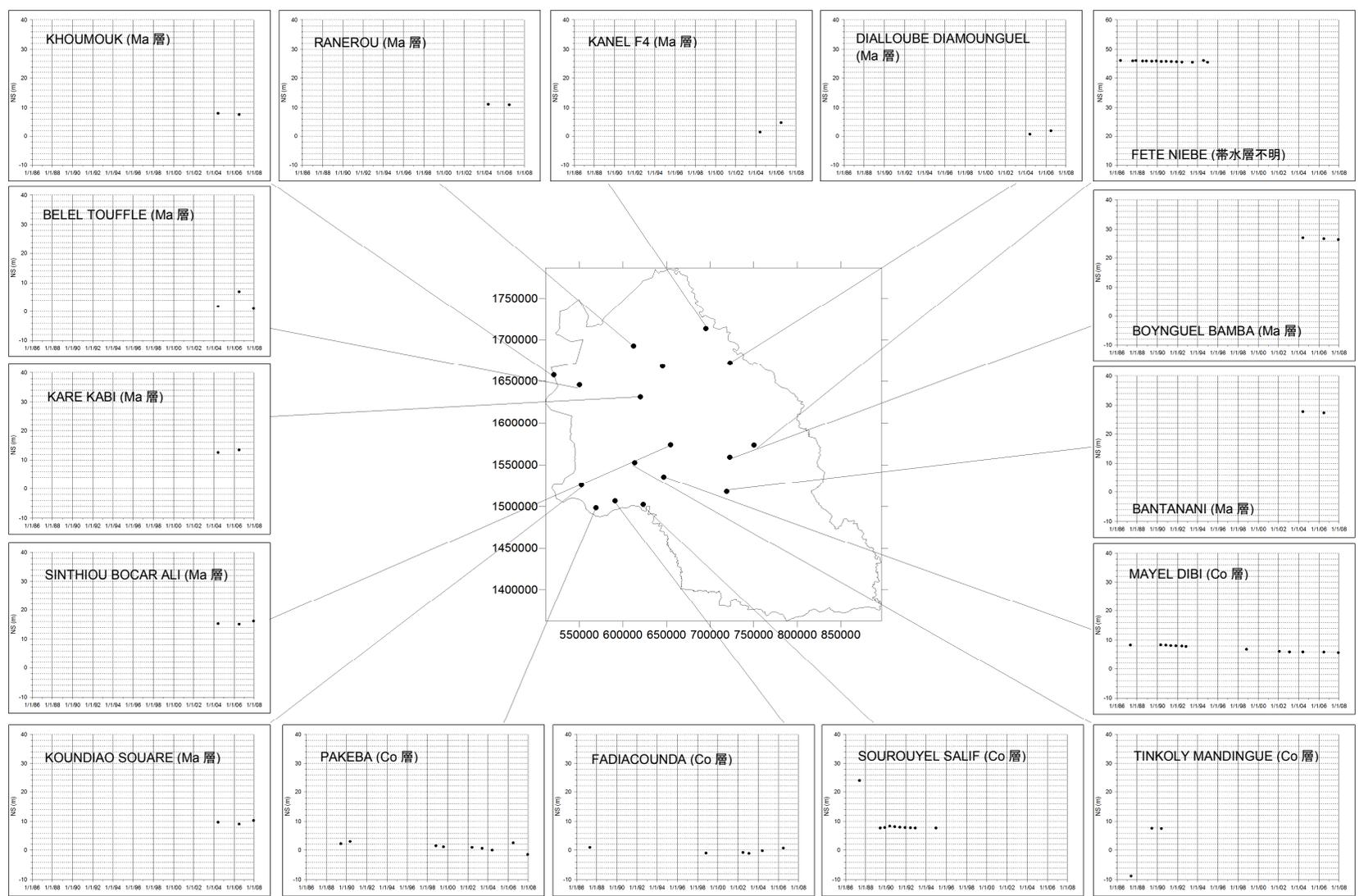
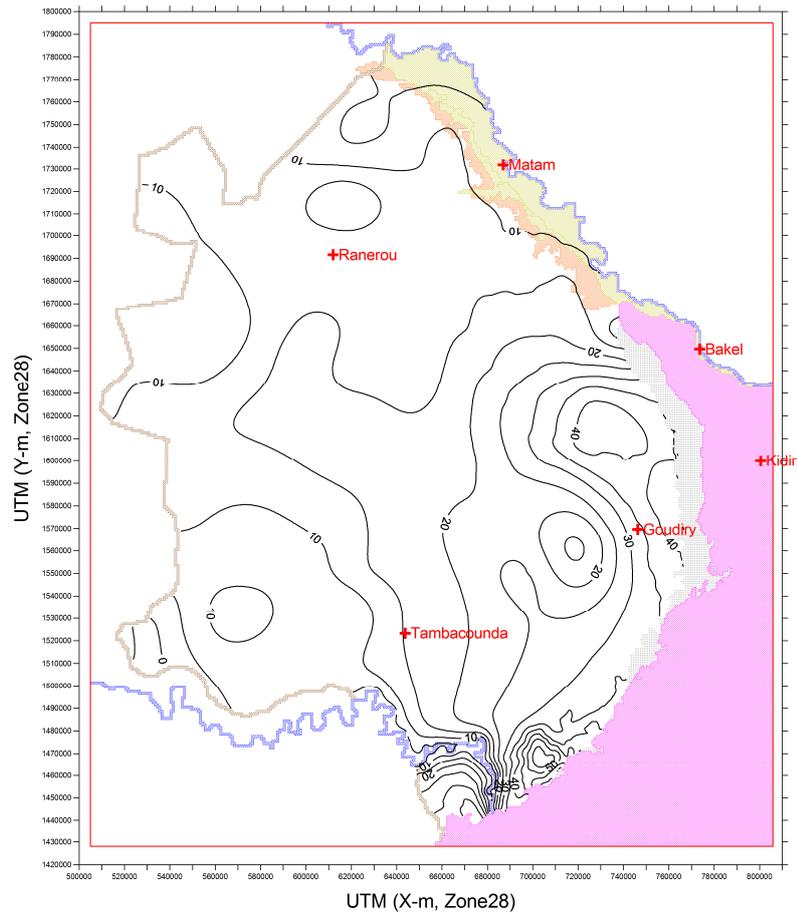


Figure 3-2-5 Variations du niveau des eaux souterraines des points d'eau de surveillance de la DGPRES



(Hauteurs d'eau initiales calculées de la couche Ma)

Figure 3-2-6 Exemple de répartition des hauteurs d'eau initiales calculées (unité : altitude m)

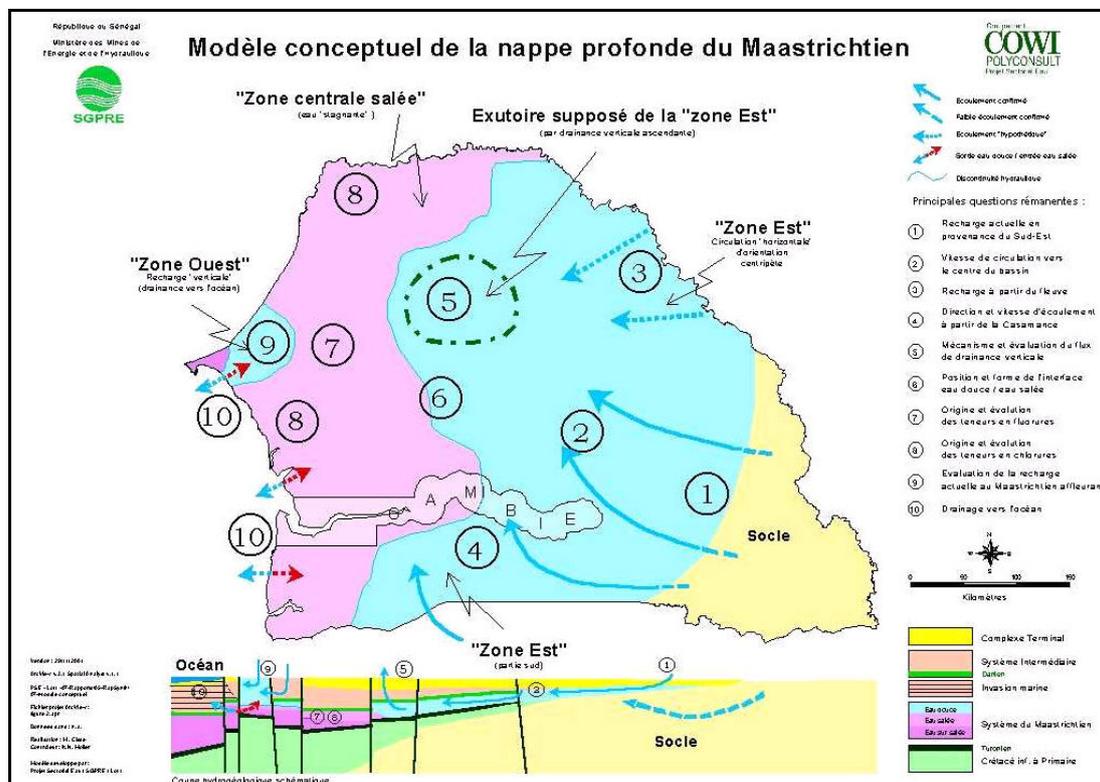


Figure 3-2-7 Orientation des eaux souterraines dans la couche du Maastrichtien (Source : Document DGPRE)

3.2.5 Qualité de l'eau

(1) Principaux ions

Le diagramme trinéaire présentant les principaux ions constituant un système de composants a été élaboré en utilisant les résultats des analyses de la qualité de l'eau archivés par la DGPRES. Les facteurs suivants peuvent être énoncés comme étant les caractéristiques de la qualité de l'eau des eaux souterraines dans la zone du projet.

- Couche Co : Les éléments relatifs à la qualité de l'eau, notamment les carbonates des sols alcalins sont nombreux. Il s'agit de types se trouvant en grande quantité dans les eaux des cours d'eau et dans les eaux souterraines en nappes peu profondes.
- Couche Ma : Les éléments classifiés non carbonates et carbonates des sols alcalins sont présents en grand nombre. Les premiers se trouvent souvent dans les eaux thermales alors que les seconds se trouvent en grande quantité dans les eaux des cours d'eau et dans les eaux souterraines en nappes peu profondes, comme indiqué ci-dessus.
- Roches du socle : Les éléments carbonates des sols alcalins et carbonates alcalins sont présents en grand nombre. Les premiers se trouvent souvent dans les eaux des cours d'eau et dans les eaux souterraines en nappes peu profondes, comme indiqué ci-dessus, alors que les seconds sont nombreux dans les eaux souterraines en nappes profondes.

3.2.6 Analyse des données météorologiques

(1) Données des précipitations

Les données des précipitations quotidiennes dans les stations de mesure climatique indiquées ci-dessous (Tableau 3-2-3) ont été utilisées afin d'élaborer un document de base destiné au calcul du bilan hydraulique ainsi qu'au calcul de réservoir modèle pour l'estimation de la recharge des eaux souterraines, indiqué dans le paragraphe 3.4.

Tableau 3-2-3 Caractéristiques de ces stations de mesure utilisées pour la division de Thiessen

Point de mesure	Pays	Longitude	Latitude	UTM (X)	UTM (Y)	Élévation (m)
Matam	Sénégal	15,650	-13,250	687 583	1 730 994	17
Semme	Sénégal	15,200	-12,950	720 225	1 681 480	40
Ranérou	Sénégal	15,300	-13,966	611 011	1 691 772	33
Bakel	Sénégal	14,900	-12,400	779 733	1 648 898	25
Kidira	Sénégal	14,300	-12,100	812 881	1 582 862	35
Goudiri	Sénégal	14,183	-12,716	746 512	1 569 203	59
Tambacounda	Sénégal	13,767	-13,683	642 377	1 522 347	50
Kédougou	Sénégal	12,567	-12,217	802 415	1 390 852	167
Linguere	Sénégal	15,383	-15,177	487 444	1 700 692	21
Dialakoto	Sénégal	13,317	-13,300	684 138	1 472 821	50
Kenieba	Mali	12,850	-11,233	909 010	1 423 541	132

La répartition régionale des précipitations a été classifiée selon la division de Thiessen comme la montre la figure ci-dessous (Figure 3-2-8).

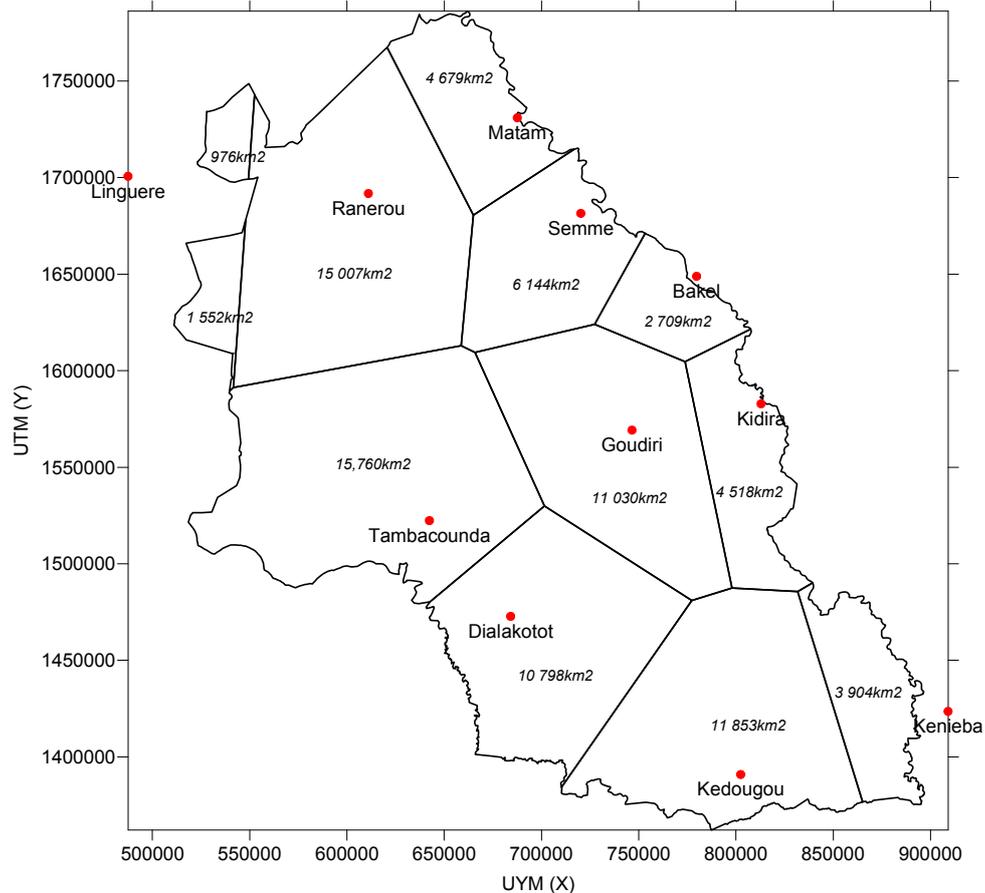


Figure3-2-8 Résultats de la division de Thiessen

(2) Estimation des volumes d'évapotranspiration possibles

Le calcul des volumes d'évapotranspiration possibles a été effectué dans le cadre du présent projet en appliquant la méthode Thornwaite. La méthode de calcul est indiquée dans le Rapport de soutien (paragraphe XX). En outre, ce calcul a été effectué dans les stations de mesure climatiques (à l'exception des 5 points de Semme, Kidira, Linguere, Dialakoto et Kenieba où les températures ne sont pas relevées) où la division de Thiessen mentionnée ci-dessus a été réalisée.

Tableau3-2-4 Exemple de calcul des volumes d'évapotranspiration possibles
(Station de mesure de Matam, Unité : cm/mois)

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
1988	5,84	13,08	17,58	18,62	20,50	19,63	19,39	17,16	16,21	17,48	14,76	7,65
1989	7,32	13,55	16,70	18,43	20,46	19,33	19,12	17,51	17,14	17,24	15,69	13,94
1990	6,04	14,14	18,06	18,77	20,50	19,75	19,39	18,14	17,14	17,90	15,10	9,20
1991	9,33	12,69	16,37	18,43	20,30	19,75	19,39	18,14	17,14	17,24	15,10	10,60
1992	8,83	13-55	16,01	18,23	20,18	19,75	19,39	18,14	17,66	18,08	14,41	13,10
1993	8,15	13-55	17,58	18,91	20,50	19,75	19,63	18,14	16,53	17,71	15,10	8,72
1994	4,87	13,08	17,30	17,18	20,39	19,63	19,12	16,78	16,53	17,24	15,40	9,65
1995	5,63	13,08	17,02	18,43	20,39	19,90	19,85	17,51	16,85	17,48	15,40	8,49
1996	13,94	14,46	17,02	18,43	20,50	19,75	19,39	17,51	17,41	17,71	15,10	8,83
1997	13,53	14,46	15,63	18,00	20,30	19,33	19,12	18,69	16,53	17,48	15,40	7,99
1998	7,70	14,75	17,30	19,10	20,46	19,90	19,39	17,51	16,53	17,48	14,76	9,04
1999	6,45	8,12	17,02	18,62	20,39	19,63	18,16	17,16	16,21	16,97	14,76	9,39
2000	10,64	12,69	17,83	19,02	20,39	19,14	18,16	16,38	16,53	16,05	14,04	9,23
2001	7,70	12,69	17,30	18,23	20,30	19,49	18,50	18,14	16,53	17,24	14,76	13,94
2002	7,41	13,08	16,70	17,75	20,39	19,49	19,39	18,14	17,14	17,48	14,76	13,10
2003	7,26	13-55	17,58	18,77	20,46	19,49	19,39	17,16	15,47	17,24	15,40	8,84
2004	7,36	13-55	16,70	18,77	20,39	19,63	18,82	17,51	16,53	17,48	15,40	13,10
2005	7,36	12,29	17,83	18,91	20,46	19,49	18,50	17,82	16,53	17,24	15,10	14,34

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
2006	6,82	12,69	17,30	18,91	20,30	19,75	19,85	17,51	16,85	18,08	15,10	7,65
2007	9,39	13,55	17,30	18,62	20,46	19,75	19,39	17,16	16,53	17,48	14,76	13,10

3.2.7 Collecte et classification des données de mesure des débits des cours d'eau

La compilation des résultats des observations de débit des cours d'eau exécutées par la DGPRE permettra de saisir les particularités des cours d'eau coulant dans la zone d'étude, et ils pourront être utilisés comme données de vérification du modèle réservoir plus loin pour la modification du débit des cours d'eau.

3.3 Résultats de l'étude sur site

3.3.1 Etude géologique et hydrogéologique

(1) Objectifs et méthodologie de l'étude

Le présent paragraphe a pour objectif de confirmer la topographie et les conditions géologiques dans la région concernée par l'étude et d'identifier leurs caractéristiques. Les affleurements de la couche sédimentaire étant extrêmement limités, les prospections topographiques et géologiques ont principalement porté sur la zone des roches du socle. La prospection sur site a été effectuée au niveau des installations existantes ayant les caractéristiques topographiques et géologiques suivantes.

- Partie inférieure des falaises proches de la frontière avec la Guinée
- Partie inférieure des collines avec roches basaltiques disséminées
- Zone avec schistes disséminés
- Zone avec schistes disséminés (aux environs de la faille avec quartzites)
- Zone avec quartzites disséminés (aux environs de la faille avec schistes)
- Aux environs de la faille dans les granites
- Zone des veines de quartz
- Zone de grès du Cambrien

Les grandes lignes des résultats de l'étude sont résumées dans le Tableau 3-3-1. Ces résultats ont été utilisés, en particulier, en tant que documents de base pour l'étude du potentiel des eaux souterraines dans chaque type de roches dans la zone des roches du socle.

Tableau 3-3-1 Ouvrages existants dans la zone des roches du socle et hydrogéologie

Villages	Relief	Carte géologique 1/200.000	Structure géologique	nappe phréatique	Caractéristiques des principaux points d'eau						
					Profondeur de foration	Profondeur du forage	Position de la crépine	Niveau d'eau statique	Volume d'exhaure	Rabatement	Qualité de l'eau
Segou	Bas de la falaise raide à la frontière guinéenne	Granites	—	Schistes (birrimiens), aggloméré (birrimien) Faille, couche fracturée	40,5m	40,5m	29,1~ 40,5m	16,1m	10m ³ /h	6,6m	
Dindéfello	Bas de la falaise raide à la frontière guinéenne	Granites	—	Granites Faille, couche fracture	58,4m	56,9m	32,3~ 56,9m	6,8m	10m ³ /h	35,6m	
Ibel	Pied des collines basaltiques	Roches granitiques etc.	—	Schistes Faille, couche fracture	37,6m	35,8m	11,2~ 35,8m	7,1m	30m ³ /h	9,6m	
Salemata	Entouré de petites collines	Schistes	—	Roches cristallines, digue de quartz	88,15m	70,15m	28,15~ 64,15m	6,15m	9m ³ /h	19,8m	
Ebarak	—	Limite entre schistes, quartzite et grès	Faille aux environs	Quartzite (paléozoïque), Faille, couche fracturée	49,0m	48,7m	14,6~ 48,7m	6,6m	4,3m ³ /h	6,1m	Fer (5,0mg/l)
Banfarato	—	Limite entre quartzite et schistes	Faille aux environs	Marnes Faille, couche fracture	45,0m	45,0m	27,9~ 45,0m	5,0m	1,4m ³ /h	12,6m	
Bandioula	—	Granites	Faille	Gabbro	45,1m	40,25m	—	7,28m	19,5m ³ /h	1m	
Kondokhou	—	Granites	Faille	Granites Faille, couche fracture	45,0m	45,0m	16,4~ 45,0m	11,1m	5,4m ³ /h	19,5m	Fer (5,0mg/l 以上)

Villages	Relief	Carte géologique 1/200.000	Structure géologique	nappe phréatique	Caractéristiques des principaux points d'eau						
					Profondeur de foration	de	Position de la crépine	Niveau d'eau statique	Volume d'exhaure	Rabatement	Qualité de l'eau
Daloto	—	Schistes, quartzite, graywacke, aggloméré etc.	Digue de quartz	Schistes (Birrimien) Faille, couche fracturée	45,1m	de	37,8~ 45,0m	22,6m	12m ³ /h	10,6m	Fer (3,5mg/l)
Bellé	Entre de petites collines	Grès quartziques	Faille aux environs	Quartzite (Cambrian) Faille, couche fracturée	58,6m	de	30,0~ 58,6m	23,1m	3,5m ³ /h	—	

3.3.2 Forages d'essai

Dans cette étude on vise principalement la confirmation du potentiel des ressources en eau. Mais les points de forage ont été choisis en considérant les objectifs secondaires.

- 1) Modifications de la géologie dans les roches du socle.
- 2) Confirmation de la couche alluvionnaire au-dessus des roches du socle

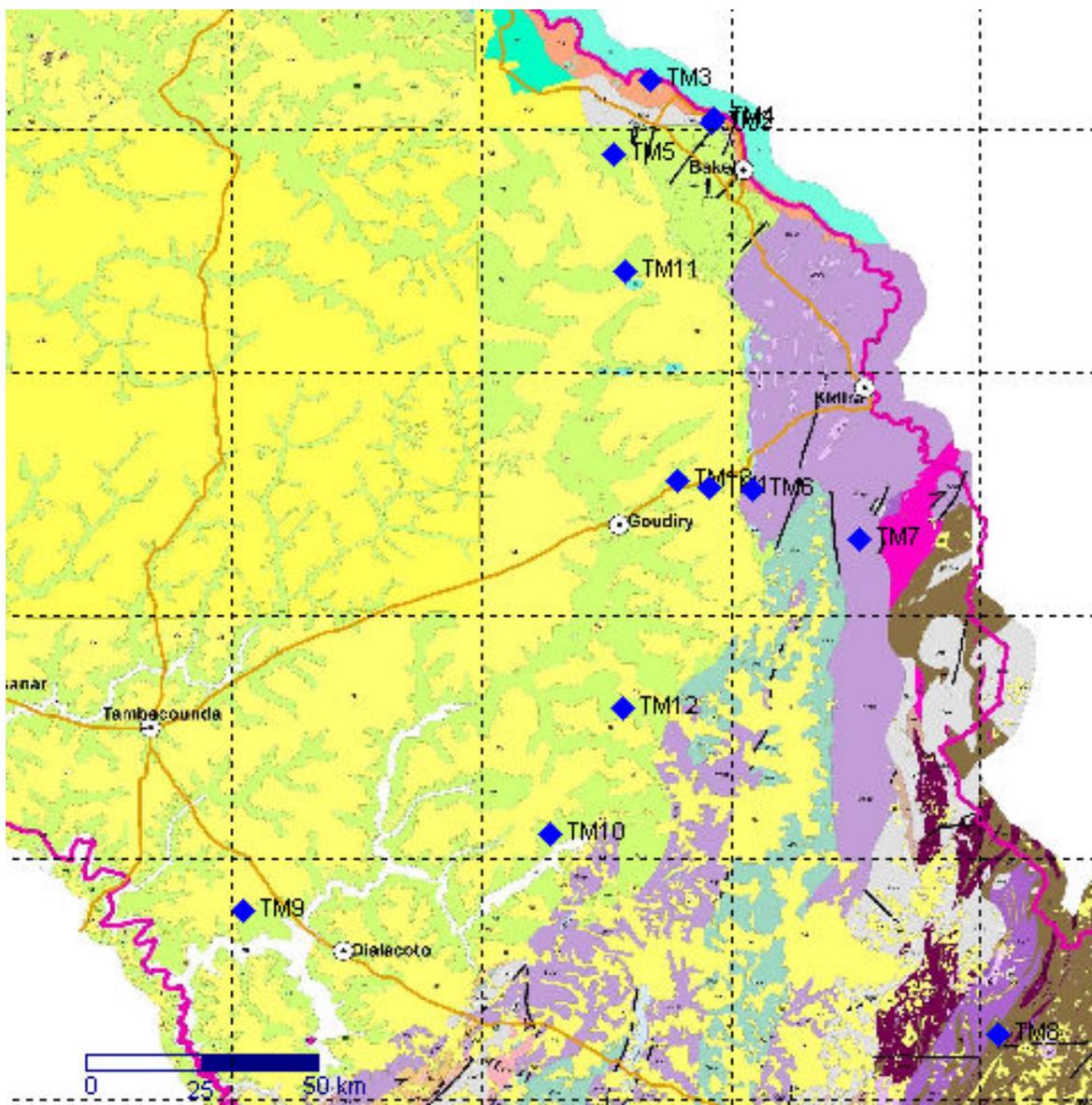


Figure 3-3-1 Points de forage à l'essai

Tableau 3-3-2 Spécification des forages

Cible	Méthode	Profondeur préconisée	Diamètre de forage	Diamètre Tubage
Fracture dans la roche Précambrienne	MTF	150m	8 pouces	6 pouces PVC
Roche sédimentaire	Rotary à boue	Vérification du socle (100-200m)	14 pouces	8 pouces PVC
		Vérification du socle 450m	Haut 14-3/4 pouces Bas 8-1/2 pouces	Haut 10 pouces PVC Bas 4 pouces SUS

(1) Résultats des forages d'essai

Les constantes hydrauliques obtenues par les résultats de l'étude des forages d'essai et les essais de pompage sont présentées respectivement dans les Tableau 3-3-3.

Tableau 3-3-3 Résultats des forages d'essai

Nombre	CR	Village	Nappe phréatique	Profondeur (m)	Profondeur du socle (m)	Tubage (m)	Niveau d'eau statique (m)	Essai de pompage continu 12H		
								Volume d'exhaure (m ³ /h)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)
TM1	Goudiry	AinouMahdi	Ma	72,0	64	70,8	49,3	44,0	53,4	4,1
TM2	Commune	Diawara1	Alluviale	25,0	12	22,3	2,9	3,4	14,9	13,0
TM3	Moudery	Gande	Alluviale	26,1	25	26,0	10,4	71,1	11,9	1,4
TM4	Commune	Diawara2	Alluviale	24,0	21,5	23,6	10,6	21,5	6,4	6,5
TM5	Bokiladji	GangelMaka	Socle	121,0	26	58,9	12,9	35,8	45,2	32,2
TM6	Sinthou Fissa	YariMale	Socle	151,0	18	86,6	46,7	1,5	82,6	36,0
TM7	Shinthou Fissa	Takoutara	Socle	98,0	5	82,1	9,84	13,3	3,4	3,6
TM8	Khossanto	Khossanto	Socle	150,0	9	92,2	8,1	8,1	71,0	62,8
TM9	Missirah	Medina Diakha	Ma	250,0	248	250,0	17,5	62,7	28,3	10,8
TM10	Bani Israel	Diana	Ma	91,0	60	81,6	18,4	15,5	44,7	26,3
TM11	Aoure	Tiendiel Demba Djibi	Ma	88,0	88	87,0	43,9	55,2	49,7	5,8
TM12	Dougue	Soutouta	Ma	61,0	61	60,2	13,7	66,0	10,8	10,8
TM13	Goudiry	Dinde Daka	Ma	84	84	81	34,5	62,8	36,1	1,6

3.3.3 Mesure du niveau des eaux souterraines

(1) Objectifs et méthodologie de l'étude

Les objectifs des mesures du niveau des eaux souterraines sont expliqués ci-après et la sélection des stations de mesure a été effectuée en août et en novembre 2008 en fonction de ces facteurs.

- Identification du niveau des eaux souterraines (en particulier l'aquifère Ma) dans l'ensemble de la zone de la couche sédimentaire dans la région de la présente étude en apportant un complément aux points de mesure du projet de la Banque Mondiale (Etude hydrogéologique à la limite de la couche sédimentaire dans la région est du Sénégal)
- Comparaison entre les niveaux des eaux souterraines des couches peu profondes et les niveaux des cours d'eau environnants
- Mesures continues du niveau des eaux souterraines aux points principaux

Des mesures ont été effectuées (1) une fois par semaine dans 11 puits avec des talimètres portables, (2) une fois par semaine dans 9 forages avec des talimètres portables et (3) en continu dans 3 forages avec des talimètres automatiques.

Les points de mesure sont présentés sur la figure ci-dessous. (Figure 3-3-2 et Tableau 3-3-4)

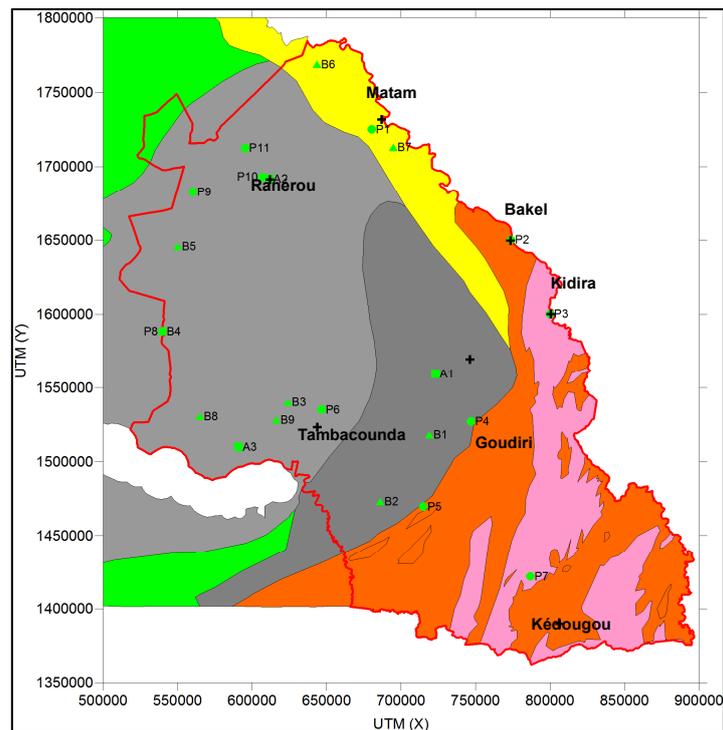


Figure 3-3-2 Carte de localisation des points de mesure du niveau des eaux souterraines

Tableau 3-3-4 Points des forages d'essai pour l'Étude hydrogéologique de la Bordure sédimentaire du Sénégal Oriental

No,	Village	ID_IRH	UTM (X)	UTM (Y)	Altitude (m)
Puits creusés à la main					
P1	OURO SOGUI		680 306	1 725 123	17,950
P2	BAKEL		773 636	1 650 199	24,744
P3	KIDIRA		799 937	1 600 202	31,180
P4	SOUTOUTA		746 897	1 527 139	85,030
P5	MANSADALLA		714 886	1 469 637	30,714
P6	MàYél DIBI		646 688	1 535 074	23,093
P7	MAKO		786 846	1 422 010	82,298
P8	DAROU MANA		539 832	1 588 413	28,141
P9	NAKAR		560 229	1 682 875	36,250
P10	BELE NDENDI		606 787	1 693 220	28,900
P11	VENDOU KATANE		595 269	1 712 572	48,410
Forage					
B1	BANTANANI	20-1X-0001	718 946	1 518 140	93,212
B2	DIALACOTO	19-9X-0001	685 975	1 473 132	41,364
B3	BOUDOR BORDOR		623 971	1 540 170	33,133
B4	DAROU MANA	13-5X-0004	539 832	1 588 413	59,138
B5	BELEL TOUFFLE	13-2X-0002	550 171	1 645 732	19,080
B6	AGNAM CIVOL	08-2X-0004	643 560	1 768 720	7,400
B7	KANEL F4	08-6X-0011	694 685	1 713 056	25,120
B8	DIAGLE SINE	18-2X-0005	564 878	1 530 462	77,229
B9	SINTHIOU MALEME	19-1X-0003	616 249	1 528 300	14,910
Puits avec talimètres automatiques					

No,	Village	ID_IRH	UTM (X)	UTM (Y)	Altitude (m)
A1	BOYNGUEL BAMBA	15-7X-0001	723 111	1 559 478	74,892
A2	RANEROU		611 650	1 691 821	29,610
A3	FADIA KOUNDA	18-6X-0007	590 878	1 509 973	37,960

(2) Résultats des mesures par talimètre portable

Le cas des mesures de B6 AGNAM CIVOL où des fluctuations saisonnières caractéristiques semblent apparaître en fonction des mesures du forage est présenté dans la Figure 3-3-3.

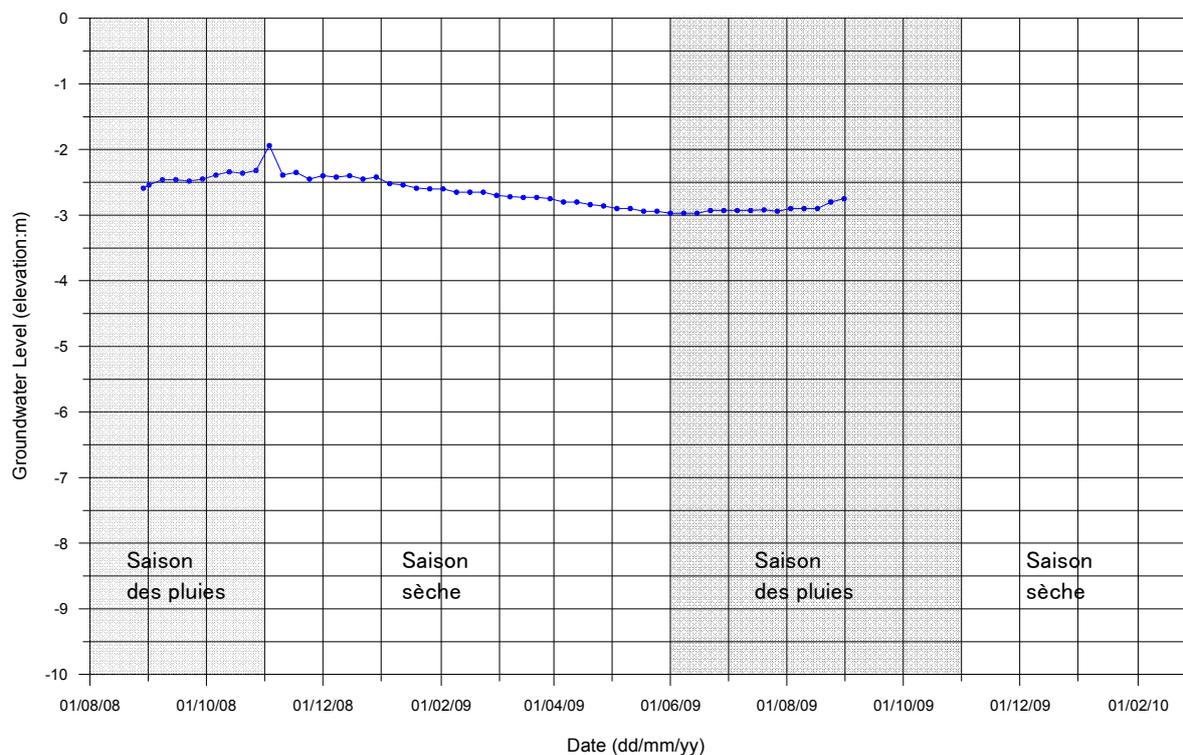


Figure 3-3-3 Exemple de fluctuations saisonnières du niveau des eaux souterraines (B6 AGNAM CIVOL)

3.3.4 Etude hydrologique (météorologie et débit des cours d'eau)

Les mesures du débit des cours d'eau ont été effectuées aux points indiqués dans la Figure 3-3-4 afin de compléter les données. Par ailleurs les détails des résultats de l'étude sont indiqués dans le Livret des données, mais les tendances générales des fluctuations du débit des cours d'eau peuvent se résumer de la manière suivante.

- Zone nord de la région de Matam : le niveau des eaux augmente brusquement puis baisse progressivement (Se reporter à R2 : Gourél Guéda).
- Zone ouest des régions de Matam et de Tambacounda : L'eau des cours d'eau apparaît de manière extrêmement provisoire (Se reporter à R11 : Mana).
- Zone sud-ouest de la région de Tambacounda : L'eau des cours d'eau apparaît de manière constante durant la saison des pluies. (Se reporter à R14 : Maka).
- Autour de la frontière entre roches du socle et couche de sédiments : Les fluctuations du niveau d'eau sont importantes. Le niveau d'eau augmente progressivement dans certains points puis baisse de façon relativement brusque. (Se reporter à R28 : Soutouta).

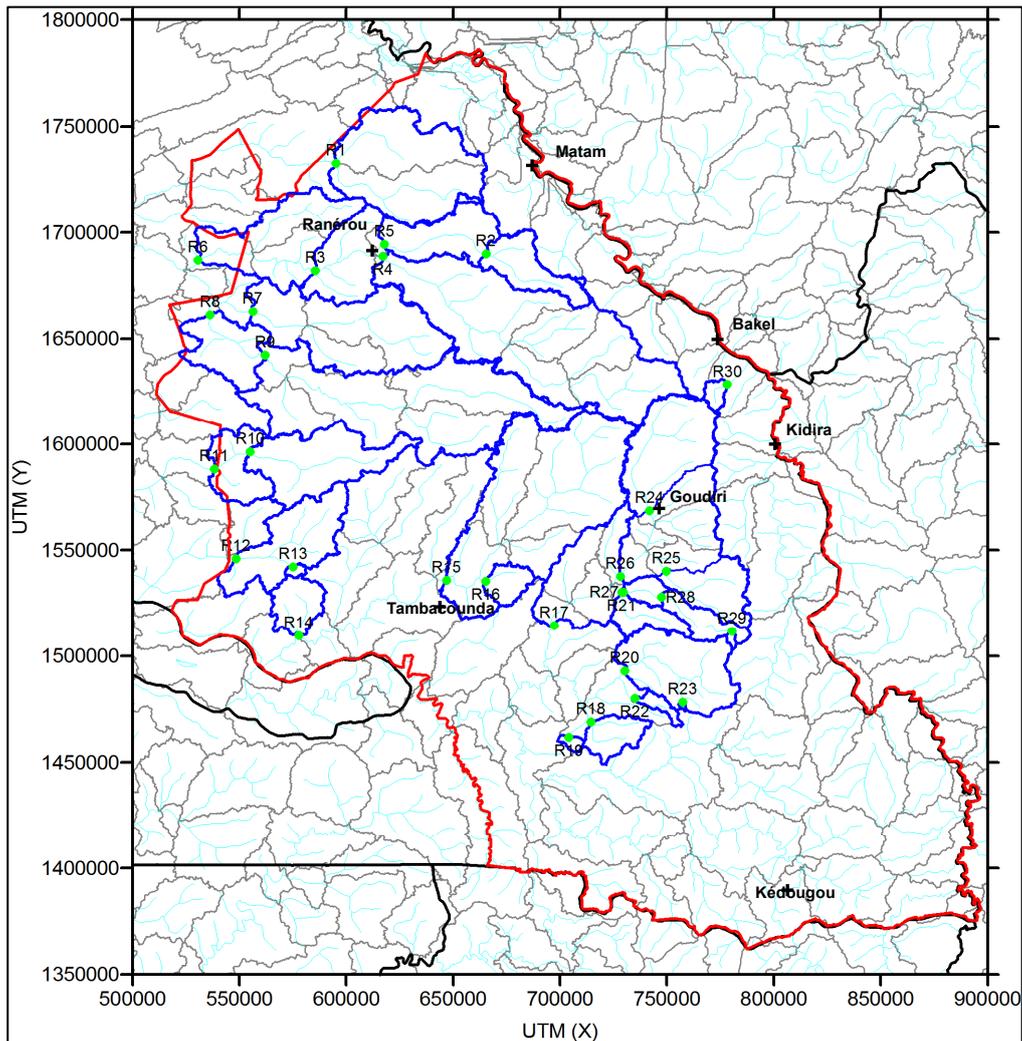


Figure 3-3-4 Carte de localisation des points de mesure du débit des cours d'eau

3.4 Evaluation du potentiel des ressources en eau

3.4.1 Contenu de l'évaluation du potentiel des ressources en eau

(1) Les Eaux de surface

Le potentiel des eaux de surface et les volumes d'eau exploitables seront estimés en tenant compte des résultats de l'étude de la situation réelle de l'utilisation des eaux, des mesures du débit et de l'analyse du bilan hydraulique.

(2) Eaux souterraines dans les zones de roches sédimentaires

En ce qui concerne les eaux souterraines dans les roches sédimentaires, la cuvette des eaux souterraines sera évaluée conformément aux résultats de l'analyse du bilan hydraulique et de l'analyse hydrogéologique. La méthode de simulation de l'écoulement des eaux souterraines sera utilisée pour analyser l'influence sur le développement des eaux souterraines.

(3) Eaux souterraines dans les zones de roches du socle

Une étude a été menée sur une carte géologique à l'échelle 1/200 000ème, en prenant pour base la répartition des failles et des fissures, l'épaisseur de la couche altérée et les relations entre la répartition des forages existants et leur volume d'exhaure, obtenus à partir de la documentation existante ainsi que des résultats de la prospection géophysique et des forages d'essai, afin d'évaluer les possibilités de

développement des eaux souterraines.

3.4.2 Estimation des volumes de recharge des eaux souterraines

(1) Modèles de réservoir

Comme procédé de calcul stochastique des volumes de recharge des eaux souterraines, nous avons appliqué la méthode d'analyse de l'écoulement par réservoir modèle ; celle-ci constitue une des données requise pour le calcul du modèle de simulation. Dans le présent projet, un modèle de type 4 x 4 auquel a été rajouté le modèle des structures des eaux du sol a été réalisé comme le montre la Figure 3-4-1. Estimation des volumes de recharge des eaux souterraines dans 15 zone se calcule sur la base de division de la saisie des volumes de recharge mensuels (Figure3-4-4).

Une station d'observation dont le bassin ne chevauche pas plusieurs zones est sélectionnée respectivement pour les zones de roches sédimentaires et les zones de roches du socle, en effectuant une comparaison entre la valeur mesurée réelle et la valeur calculée des débits. Comme le montre la figure ci-dessous, la station d'observation de Naioule Tanou (Figure 3-4-2) a été prise comme exemple pour les zones de roches sédimentaires et la station de Mako (Figure 3-4-3) comme exemple pour les zones dans les roches du socle.

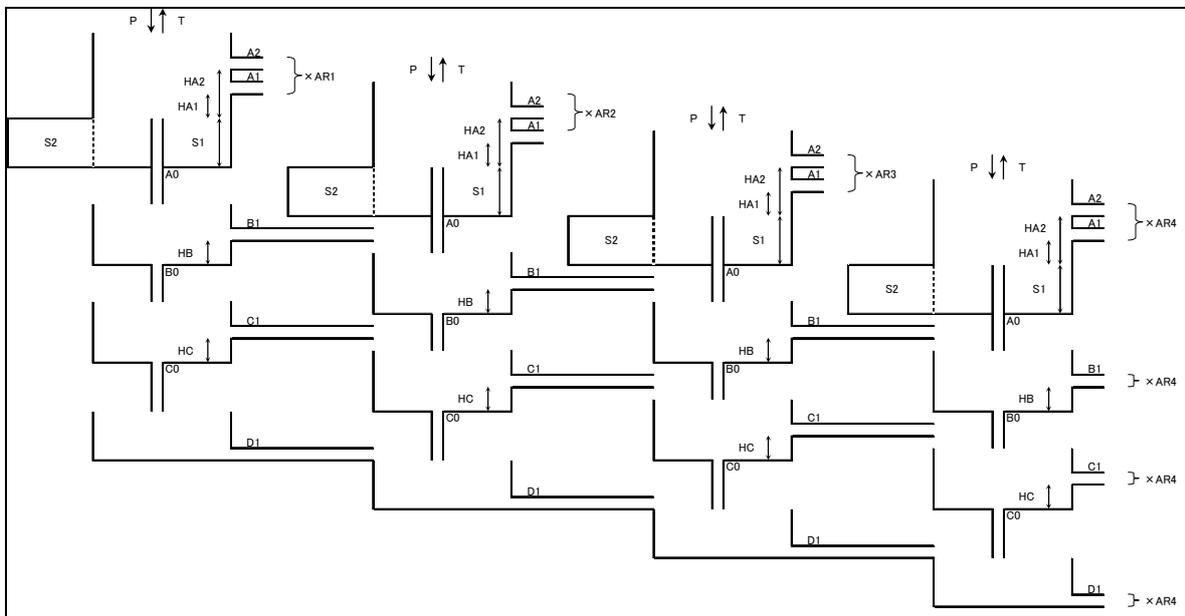


Figure 3-4-1 Plan conceptuel du modèle de réservoir appliqué dans la présente étude

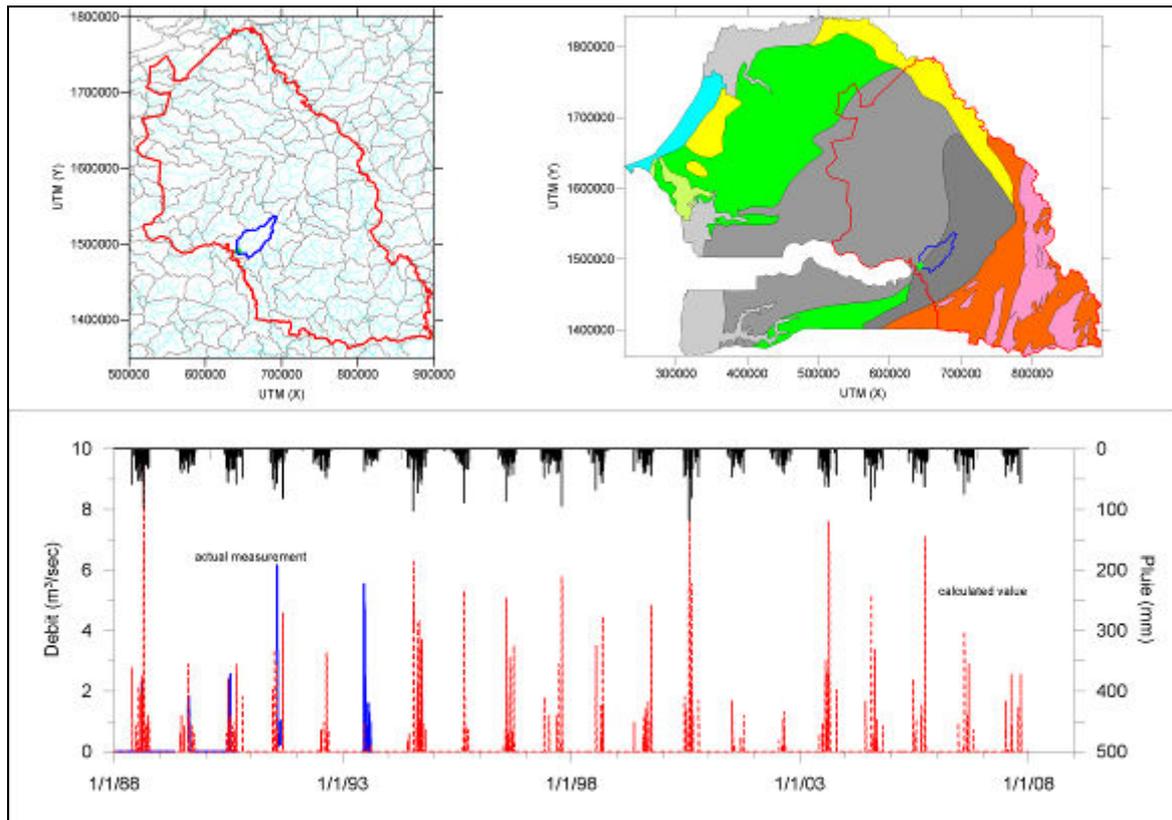


Figure 3-4-2 Analyse du modèle de réservoir dans les zones de roches sédimentaires (Station d'observation des débits de Naioule Tanou)

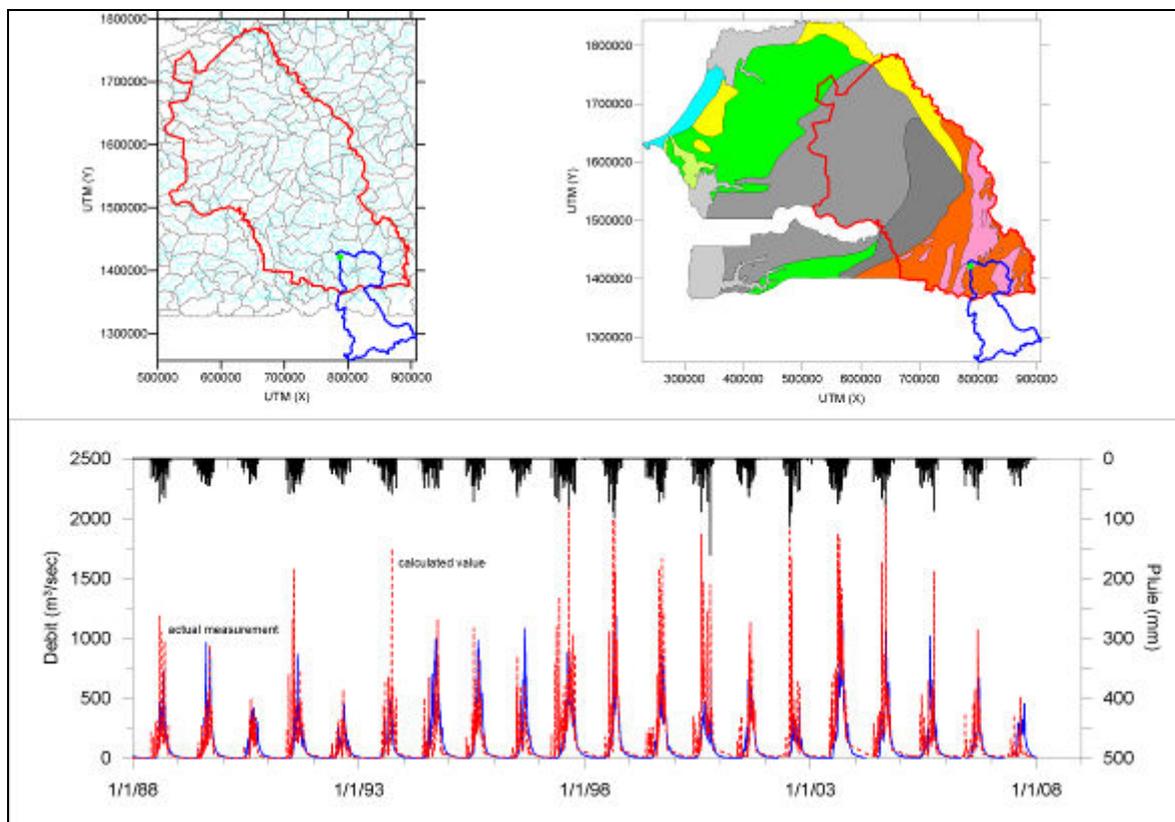


Figure 3-4-3 Analyse du modèle de réservoir dans les zones de roches sédimentaires (Station d'observation des débits de Mako)

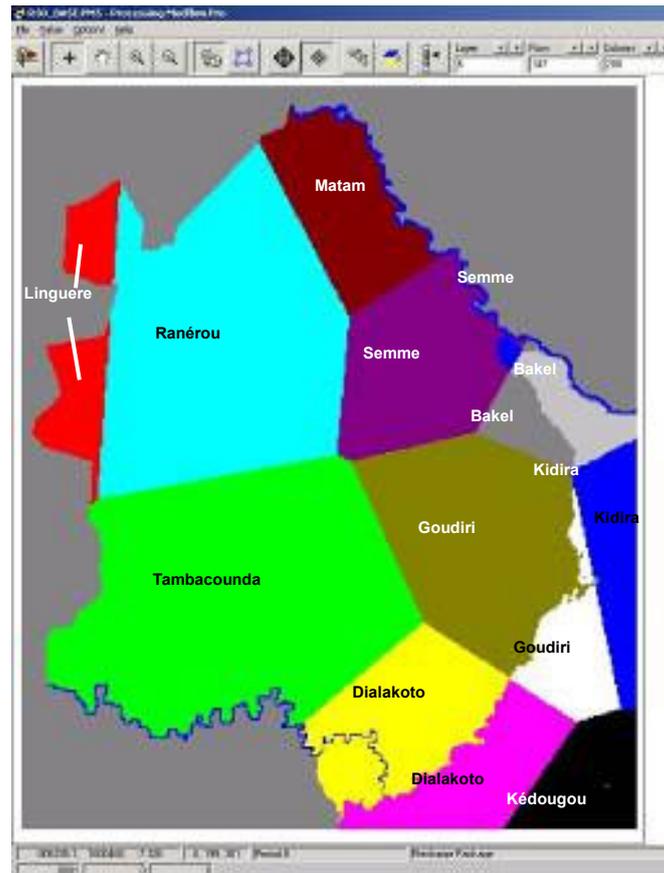


Figure 3-4-4 Division de la saisie des volumes de recharge mensuels

(2) Bilan hydraulique

Le calcul du bilan hydraulique a été effectué pour chacune des 15 zones. Les calculs sont des calculs journaliers et les résultats des analyses du bilan hydraulique par superficie unitaire, totalisés par année, sont présentés dans le Tableau 3-4-3. Par ailleurs, les valeurs moyennes entre 1988 et 2007 dans la région du présent projet par l'analyse de réservoir modèle présentent les caractéristiques suivantes.

- Précipitations : Les précipitations moyennes dans 10 stations d'observation climatiques de la région de l'étude sont comprises entre environ 450 et 1 050 mm.
- Volumes d'évapotranspiration réels dans la région de roches sédimentaires : entre 91,5% et 96,8% des précipitations.
- Volumes d'évapotranspiration réels dans la région de roches du socle : entre 72,0% et 96,4% des précipitations.
- Volumes d'écoulement des cours d'eau dans la région de roches sédimentaires : entre 0,0% et 0,9% des précipitations.
- Volumes d'écoulement des cours d'eau dans la région de roches du socle : entre 0,1% et 26,6% des précipitations.
- Volume de recharge des eaux souterraines dans la région de roches sédimentaires : entre 2,9% et 7,3% des précipitations.
- Volume de recharge des eaux souterraines dans la région de roches du socle : entre 0,6% et 3,3% des précipitations.

Tableau 3-4-1 Bilan hydraulique par surface unitaire selon l'analyse par réservoir modèle (moyenne de 20 ans entre 1988 et 2007)

Région	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle		Débit des cours d'eau		Volume de recharge	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Matam (Sédiment)	440,6	403,3	91,5	3,9	0,9	32,0	7,3
Semme (Sédiment)	498,1	463,2	93,0	1,5	0,3	32,8	6,6
Semme (Socle)	498,1	419,4	84,2	75,2	15,1	0,4	0,9
Ranérou (Sédiment)	393,7	376,2	95,6	0,3	0,1	15,9	4,0
Bakel (Sédiment)	501,1	477,4	95,3	0,1	0,0	22,3	4,3
Bakel (Socle)	501,1	342,6	86,3	64,1	12,8	3,8	0,8
Kidira (Sédiment)	521,6	492,0	94,3	1,3	0,3	26,9	5,2
Kidira (Socle)	521,6	451,4	86,5	65,7	12,6	4,1	0,8
Goudiri (Sédiment)	548,6	531,1	96,8	0,1	0,0	15,9	2,9
Goudiri (Socle)	548,6	486,5	88,7	58,4	10,6	3,5	0,6
Tambacounda (Sédiment)	682,2	632,9	92,8	0,3	0,0	46,9	6,9
Kédougou (Socle)	1 064,1	765,9	72,0	283,1	26,6	35,3	3,3
Linguere (Sédiment)	301,8	290,7	96,4	0,4	0,1	9,5	3,2
Dialakoto (Sédiment)	614,8	584,0	95,0	0,3	0,1	28,8	4,7
Dialakoto (Socle)	614,8	530,5	86,3	77,8	12,7	5,7	0,9

Comme indiqué ci-dessus, le pourcentage d'évapotranspiration réelle par rapport aux précipitations est élevé, allant d'environ 72% à 97%, et le volume d'évapotranspiration réelle estimé dans la région concernée est compris entre 290,7 mm et 765,9 mm (moyenne sur 20 ans, de 1988 à 2007). Ces valeurs de 290,7 mm et 765,9 mm correspondent à environ 15% à 43% du volume d'évapotranspiration possible (Tableau 3-4-2), elles ne sont pas excessives en comparaison avec les exemples d'estimation¹ sur le continent africain et montrent, en revanche, qu'en raison des faibles précipitations, il n'y a pas suffisamment d'eau pour l'évaporation ni pour la recharge.

Tableau 3-4-2 Comparaison des résultats des estimations des volumes d'évapotranspiration réelle et d'évapotranspiration possible par superficie unitaire selon l'analyse de réservoir modèle (moyenne sur 20 ans, de 1988 à 2007)

Région	Précipitations (mm)	Evapotranspiration possible (mm)	Evapotranspiration réelle		Evapotranspiration réelle / Evapotranspiration possible (%)
			(mm)	(%)	
Matam (Sédiment)	440,6	1 930,9	403,3	91,5	20,9
Semme (Sédiment)	498,1	1 930,9	463,2	93,0	24,0
Semme (Socle)	498,1	1 930,9	419,4	84,2	21,7
Ranérou (Sédiment)	393,7	1 913,8	376,2	95,6	19,7
Bakel (Sédiment)	501,1	1 927,8	477,4	95,3	24,8
Bakel (Socle)	501,1	1 927,8	342,6	86,3	22,4
Kidira (Sédiment)	521,6	1 927,8	492,0	94,3	25,5
Kidira (Socle)	521,6	1 927,8	451,4	86,5	23,4
Goudiri (Sédiment)	548,6	1 930,5	531,1	96,8	27,5
Goudiri (Socle)	548,6	1 930,5	486,5	88,7	25,2
Tambacounda (Sédiment)	682,2	1 915,9	632,9	92,8	33,0
Kédougou (Socle)	1 064,1	1 792,3	765,9	72,0	42,7
Linguere (Sédiment)	301,8	1 913,8	290,7	96,4	15,2

¹ Par exemple, Masami Sugawara qui a proposé les réservoirs modèles utilise le terme de volume d'évaporation mais il mentionne que "la valeur approximative pour le volume d'évaporation est d'environ de 700 mm par an pour le Japon, de 300 à 500 mm pour l'Europe, et de 1 300 à 1800 mm pour les régions tropicales". (Sugawara et al.) (1968 : Programme de réservoir modèle pour ordinateur personnel et méthode d'utilisation – Compte rendu d'étude du National Research Institute for Earth Sciences and Disaster Prevention)

Région	Précipitations (mm)	Evapotranspiration possible (mm)	Evapotranspiration réelle		Evapotranspiration réelle / Evapotranspiration possible (%)
			(mm)	(%)	
Dialakoto (Sédiment)	614,8	1 915,9	584,0	95,0	30,5
Dialakoto (Socle)	614,8	1 915,9	530,5	86,3	27,7

3.4.3 Calcul stochastique des volumes de pompage des eaux souterraines

(1) Méthode de calcul

L'estimation des volumes de pompage des eaux souterraines a été effectuée selon les orientations et les méthodes suivantes.

- 1) Les volumes d'exhaure des AEP prenant les eaux souterraines comme ressources correspondront aux volumes saisis dans les modèles de simulation.
- 2) La population desservie sera calculée en tant que "population du village + population du village x 2,57".
- 3) Les unités d'approvisionnement en eau sont au maximum de 35 L/personne
- 4) Les calculs seront effectués en prenant 0 comme pourcentage de croissance de la population des villages.

(2) Résultats du calcul stochastique

Les volumes de pompage de chaque installation d'adduction d'eau ont été calculés conformément aux orientations et méthodes ci-dessous mentionnées, les volumes de pompage mensuels ont été totalisés par aquifère et par quadrillage pour obtenir les valeurs de saisie du modèle de simulation.

La comparaison entre les valeurs estimées pour les volumes de pompage des eaux souterraines et les volumes de recharge des eaux souterraines recherchés dans le paragraphe précédent a été résumée dans le Tableau ci-dessous (Tableau 3-4-3). Par ailleurs, les caractéristiques des volumes de pompage des eaux souterraines dans la région du présent projet sont telles qu'indiquées ci-dessous.

- Des ouvrages hydrauliques ont été construits après les années 1990 mais de nombreuses installations sont à l'arrêt et aucune augmentation des volumes de pompage des eaux souterraines n'a été constatée.
- D'après la moyenne sur 20 ans, les volumes de pompage des eaux souterraines ne correspondent qu'à 0,6% des volumes de recharge.
- Les pourcentages des volumes de pompage des eaux souterraines par rapport aux volumes de recharge de ces eaux sont de 0,2% au minimum en 1988 et de 7,0% au maximum pour l'année 2002.

Tableau 3-4-3 Volumes de recharge des eaux souterraines (précipitations)
et volumes de pompage des eaux souterraines

Année	Volume de recharge (m ³ /an)	Volume de pompage (m ³ /an)						Volume pompage/ volume recharge
		Couche du Quaternaire	Couche Continentale Terminal	Eocène	Paléocène	Couche du Maastrichtien	Total	
1988	4 072 657 154	164 453	2 041 843	273 536	0	5 540 639	8 020 471	0,2%
1989	813 702 210	180 231	2 034 886	288 191	0	5 536 472	8 039 780	1,0%
1990	472 688 770	180 231	2 034 886	288 191	0	5 934 207	8 437 515	1,8%
1991	762 081 202	271 933	2 034 886	288 191	0	6 453 678	9 048 688	1,2%
1992	681 920 090	311 573	2 075 480	318 360	59 193	6 574 195	9 338 801	1,4%
1993	413 665 640	289 037	2 089 423	315 738	84 566	6 456 712	9 235 476	2,2%
1994	3 584 843 220	310 582	2 095 003	322 124	101 888	6 684 812	9 514 409	0,3%
1995	1 001 058 900	310 582	2 095 003	322 124	101 888	6 684 812	9 514 409	1,0%
1996	1 999 556 230	311 573	2 114 672	323 152	102 213	6 764 243	9 615 853	0,5%
1997	587 334 260	310 582	2 116 813	322 124	101 888	6 767 409	9 618 816	1,6%
1998	1 368 170 370	310 582	2 114 643	322 124	98 261	6 745 957	9 591 567	0,7%
1999	1 085 298 130	310 582	2 116 813	322 124	101 888	6 767 409	9 618 816	0,9%
2000	1 777 965 022	311 573	2 110 755	323 152	102 213	6 782 473	9 630 166	0,5%
2001	224 862 720	310 582	2 148 820	322 124	101 888	6 795 177	9 678 591	4,3%
2002	138 958 880	310 582	2 158 307	322 124	101 888	6 785 274	9 678 175	7,0%
2003	3 315 577 072	310 582	2 039 429	322 124	101 888	6 937 508	9 711 531	0,3%
2004	4 138 338 950	311 573	2 037 291	323 152	102 213	6 978 623	9 752 852	0,2%
2005	1 200 346 080	310 582	2 001 405	322 124	101 888	6 992 174	9 728 173	0,8%
2006	526 235 720	310 582	1 923 210	322 124	101 888	7 084 733	9 742 537	1,9%
2007	964 811 500	310 582	1 840 401	322 124	101 888	7 179 475	9 754 470	1,0%
Moyenne	1 456 503 606	287 429	2 061 198	314 251	78 377	6 622 299	9 363 555	0,6%

3.4.4 Modèle de simulation

(1) Procédure de modélisation des eaux souterraines

La modélisation des eaux souterraines s'est faite selon la procédure suivante. Dans le présent projet, nous avons présenté les processus. L'évaluation de la modélisation après la fin du projet se fait généralement environ tous les dix ans pour une révision du modèle. (Figure 3-4-5)

Dans les objectifs des analyses par simulation réalisées dans le présent projet, sont inclus (1) la sélection des régions où le développement des eaux souterraines est possible (soustraction des régions où le développement des eaux souterraines est difficile) et (2) la sélection des aquifères permettant le développement des eaux souterraines. Dans le présent projet des analyses de simulation ont été effectuées, en menant parallèlement l'étude de la pertinence de l'emplacement des sources d'eau prévues dans le PD et des couches permettant la prise d'eau.

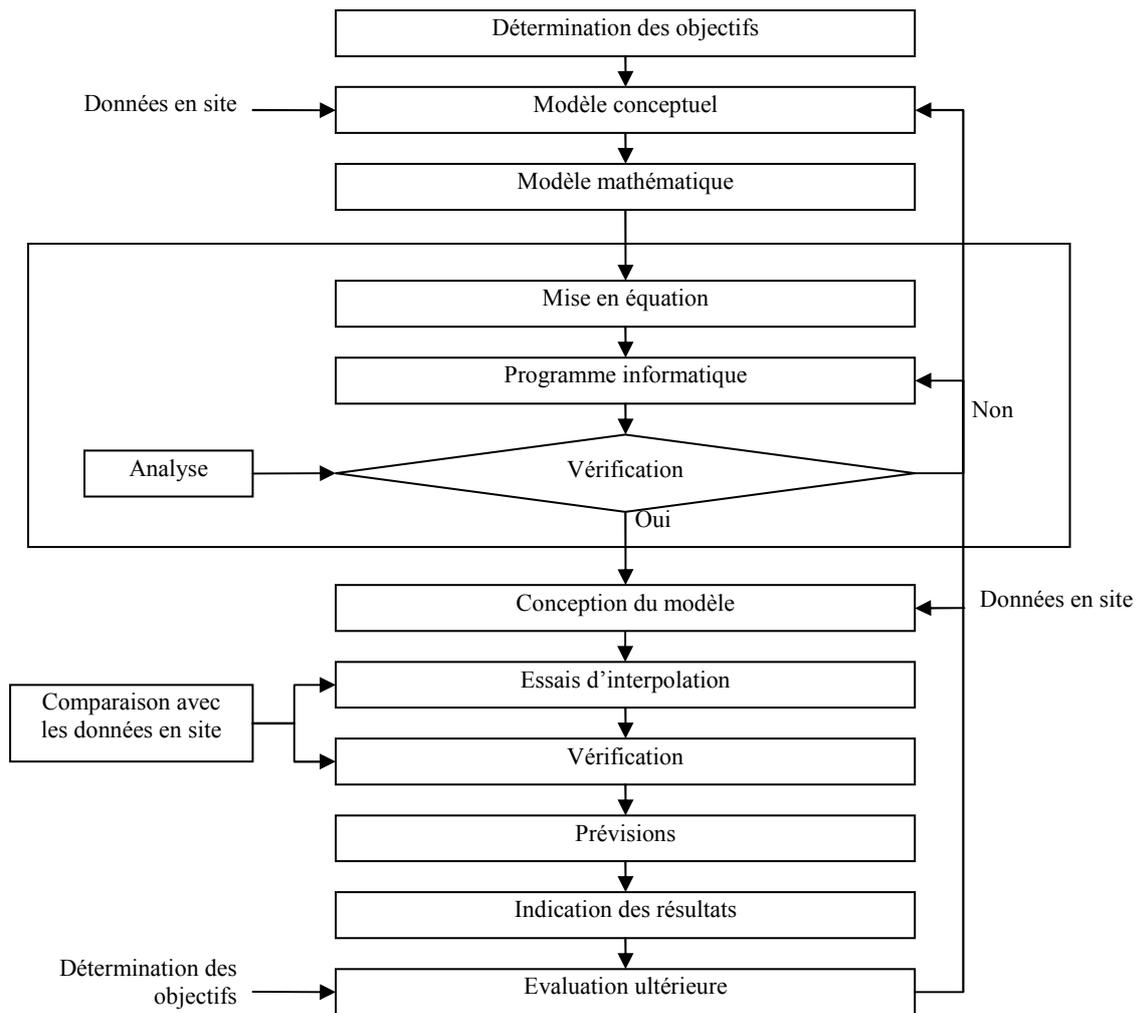


Figure 3-4-5 Procédure de modélisation
(Source : Modèles des eaux souterraines (Traduit par Kan Fujinawa, 1984))

(2) Code utilisé

Le code MODFLOW a été utilisé pour l'analyse de simulation de l'écoulement des eaux souterraines. Le code MODFLOW est un modèle d'analyse largement utilisé dans le monde et de nombreux logiciels de sortie et de saisie ont été développés. Dans le présent projet, le logiciel intégral "Processing Modflow Pro" a été appliqué pour l'analyse.

MODFLOW est un code d'analyse de l'écoulement tridimensionnel des eaux souterraines mis au point par un laboratoire de recherche géologique des Etats-Unis, dans lequel l'écoulement tridimensionnel des eaux souterraines obtenu par une équation différentielle partielle est résolu selon le calcul des différences.

(3) Données utilisées

Les rubriques nécessaires à la construction du modèle des eaux souterraines ainsi que les données utilisées par le présent projet sont indiquées dans le Tableau 3-4-7.

Tableau 3-4-4 Données utilisées pour le modèle des eaux souterraines

Rubriques	Données d'application
Structures hydrogéologiques	Les profils stratigraphiques des forages élaborés sur la base des relevés d'excavation conservés par la DHR et la DGPRE ont été classifiés (Voir Document en annexe 1) et une analyse des structures hydrogéologiques a été effectuée en utilisant les rapports géologiques et de prospection géophysique existants. En outre, le modèle a été révisé en fonction des résultats de la prospection géophysique et des forages d'essai.
Constantes hydrogéologiques	La répartition des coefficients des volumes transmissibles (coefficient de transmissibilité) a été estimée sur la base des relevés d'excavation conservés par la DHR et la DGPRE. Pour les valeurs initiales du coefficient d'emménagement, de la porosité effective et du volume de suintement, une valeur normale estimée à partir du faciès de l'aquifère a été utilisée.
Volume de recharge des eaux souterraines	Un modèle de réservoir de type zone sèche (de type non humide) a été réalisé et les volumes de recharge des eaux souterraines pendant 20 ans, de 1988 à 2007, ont été estimés. Les données utilisées pour le modèle de réservoir sont les suivantes. (Voir le paragraphe 3.4.2)
Météorologie (précipitations et températures)	Les données d'observation de la Météorologie Nationale sur 20 ans de 1988 à 2007 ont été utilisées.
Données de vérification	Les données de mesure du débit des cours d'eau de la DGPRE ont été utilisées comme données de vérification.
Volumes de pompage des eaux souterraines	Les volumes de pompage des eaux souterraines ont été estimés sur la base de l'état de fonctionnement des ouvrages hydrauliques existants et sur les données statistiques de la population de 2002. (Voir le paragraphe 3.4.3)
Hauteur d'eau initiale	Un calcul d'instabilité à long terme (calcul de semi-stabilité) a été effectué avant la période de vérification (de janvier 1988 à décembre 2007) et ces valeurs ont été utilisées pour la hauteur d'eau initiale au moment du début du calcul d'instabilité de la vérification.
Conditions limites	Les conditions limites ont été déterminées sur la base des résultats des observations du débit des cours d'eau ainsi que sur les résultats des observations du niveau des eaux souterraines à proximité des cours d'eau.
Données de vérification du modèle	Les données d'observation des eaux souterraines de la DGPRE ont été utilisées comme données de vérification.

(4) Structure du Modèle

Le modèle 3D de grande étendue, qui concerne la totalité des zones de roches sédimentaires dans la région de l'étude, a été réalisé afin d'analyser l'écoulement tridimensionnel des eaux souterraines sur une grande étendue. Le quadrillage plane du modèle 3D de grande étendue a été déterminé afin de couvrir l'ensemble de la zone de roches sédimentaires de la région de l'étude, comme le montre la Figure 3-4-6. Le quadrillage modèle a pris pour critères la bande 28 du système de coordonnées UTM de WGS84 de mesures terrestres, et les dimensions planes de chaque quadrillage sont de 1 km x 1 km.

La structure en coupe du modèle 3D de grande étendue permet de couvrir en relief l'ensemble de la cuvette des eaux souterraines à l'intérieur de la région de Tambacounda et de Matam en direction de la profondeur.

La classification hydrologique et chronostratigraphique du Sénégal est telle qu'indiquée dans le tableau ci-dessous et un modèle reflétant les conditions hydrogéologiques jusqu'à la base de la cuvette des eaux souterraines (fond de l'aquifère du Maastrichtien) sera élaboré. Une division en 5 strates d'aquifère est possible comme indiqué ci-dessous, et un modèle ayant une structure à six strates, incluant les roches du socle englobant ces 5 strates, sera adopté.

- Aquifères du quaternaire
- Aquifères du continental terminal, oligocène miocène
- Aquifères de l'éocène
- Aquifères du paléocène
- Aquifères du Maastrichtien
- Roches du socle

D'autre part, il sera nécessaire de déterminer les conditions limites en tenant compte des conditions

hydrogéologiques dans le modèle de simulation. Les limites de clôture et les limites de hauteur d'eau ordinaire ont été déterminées dans le présent projet.

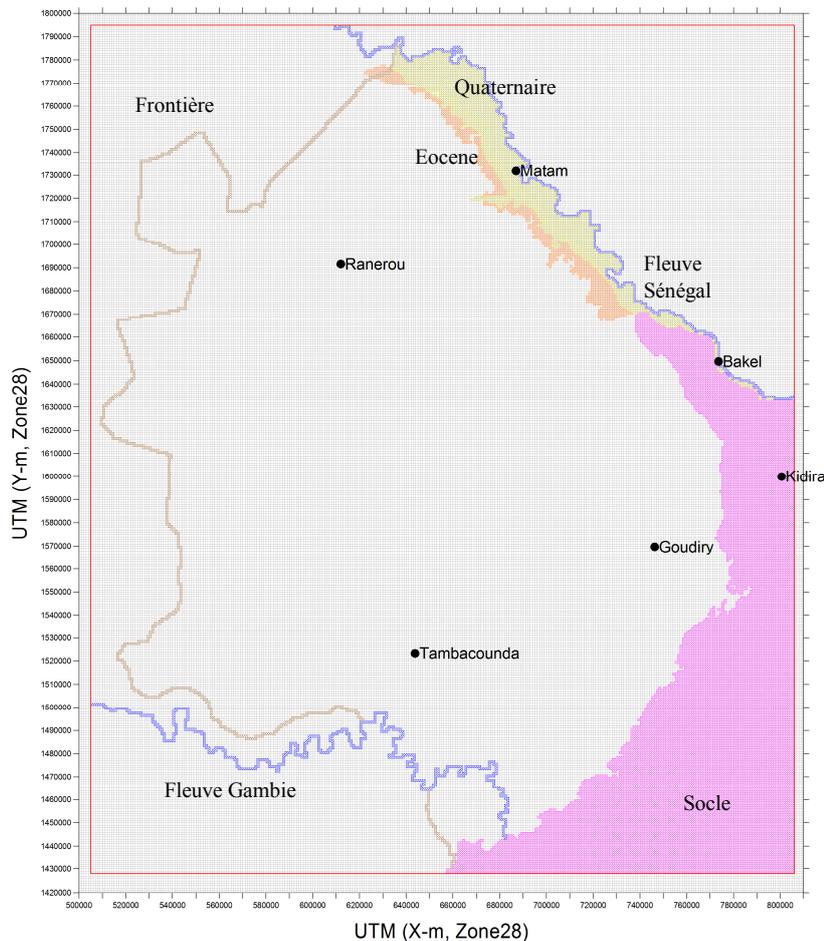


Figure 3-4-6 Envergure de l'analyse par le modelé

(5) Résultats des essais d'interpolation

La vérification du modèle 3D de grande étendue a été effectuée par calcul irrégulier en saisissant des données mensuelles et temporaires allant de janvier 1988 à décembre 2007. Un calcul irrégulier à long terme (calcul semi-régulier) a été effectué avant le calcul irrégulier de la période de vérification et il a été considéré comme hauteur d'eau initiale au moment du début du calcul irrégulier pour la vérification (Voir page suivante).

Les résultats du calcul de l'interaction entre les eaux du fleuve Sénégal et les eaux souterraines durant la période de vérification sont indiqués dans la figure ci-dessous (la couleur rouge correspond aux volumes de pénétration du fleuve dans les eaux souterraines et la couleur bleu aux volumes de sortie des eaux souterraines vers le fleuve.). L'interaction entre les deux types d'eau se fait comme indiqué ci-dessous.

- Dans la couche du Quaternaire et la couche du Maastrichtien, les eaux du fleuve Sénégal pénètrent dans les eaux souterraines durant la saison des pluies (en particulier à la fin de cette saison) et les eaux souterraines s'écoulent dans le fleuve Sénégal pendant la saison sèche.
- Avec la moyenne sur 20 ans, les volumes de sortie de la couche du Quaternaire vers les eaux du fleuve sont estimés à 30 000 000 m³/an environ, la pénétration des eaux du fleuve dans la couche du Maastrichtien étant estimée à 13 500 000 m³/an environ.
- Dans la couche du Quaternaire, des écoulements des eaux souterraines maximum de 52 000 000 m³/an (2004) et minimum de 6 750 000 m³/an (1994) ont été estimés.
- Dans la couche du Maastrichtien, des écoulements des eaux souterraines de 30 000 000 m³/an ont

été estimés pour l'année 2004, d'une part, et une pénétration de 100 millions m³/an vers les eaux souterraines a été estimée pour l'année 1994 d'autre part.

(6) Analyse de fragilité

Les deux scénarios suivants ont été élaborés afin d'évaluer la fragilité hydrogéologique de la région de l'étude et les différences concernant les baisses de hauteurs d'eau calculées ont été mises à l'étude.

- 1) Fluctuations des volumes de recharge
- 2) Fluctuations des volumes d'exhaure

Par ailleurs, ces résultats a servi de base de documentation pour l'étude des aquifères déterminés pour chacune des installations d'alimentation en eau, pour les calculs de prévisions conformément au Plan directeur, indiqués au paragraphe suivant.

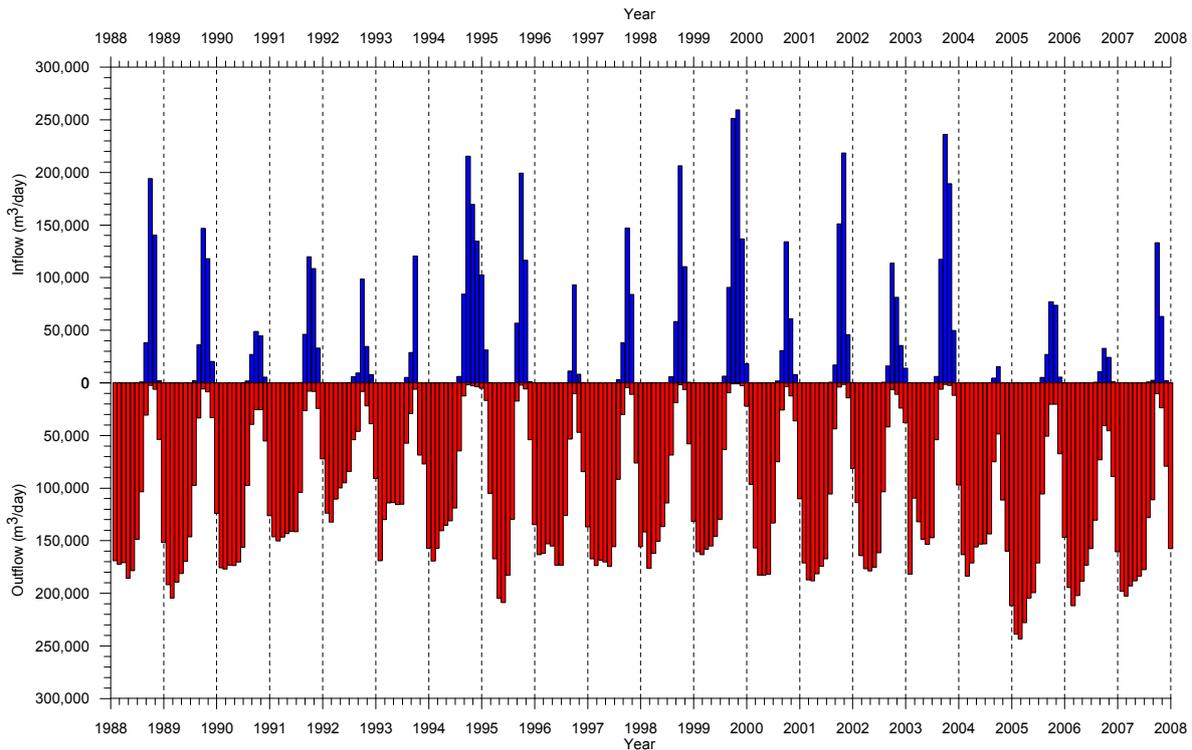


Figure 3-4-7 Ecoulements des eaux du fleuve Sénégal et des eaux souterraines (Quatenaire)

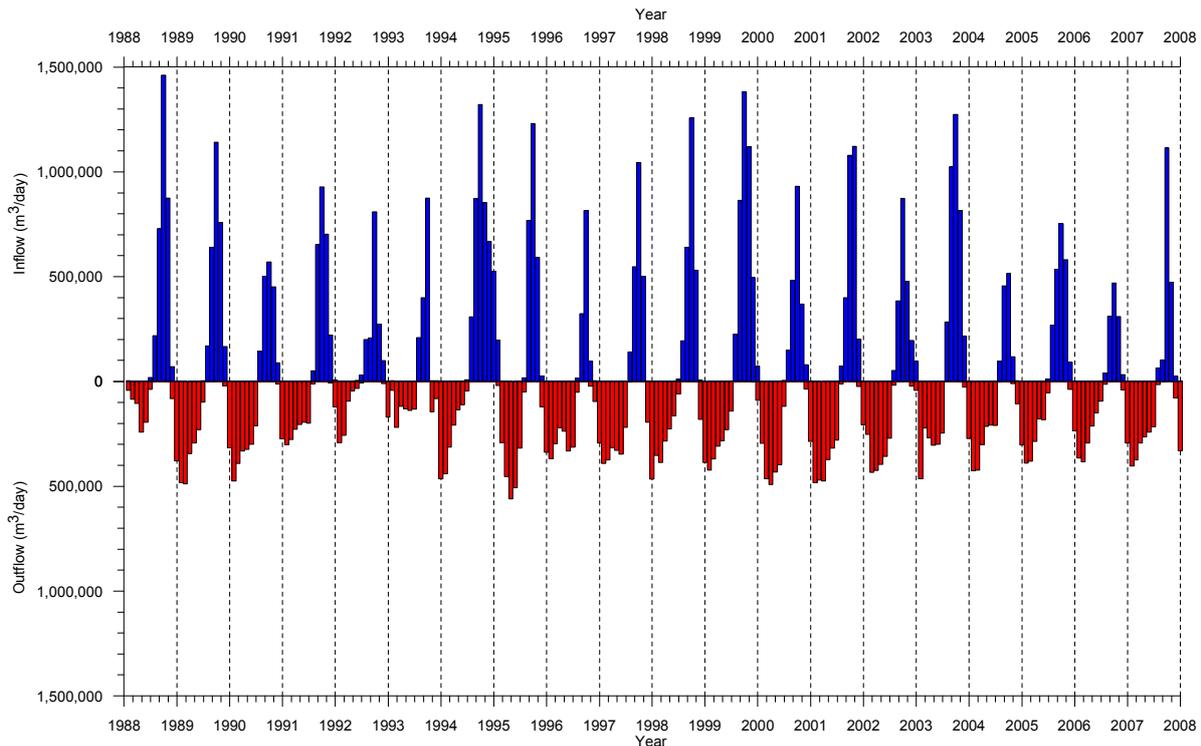


Figure 3-4-8 Exoulements des eaux du fleuve Sénégal et des eaux souterraines (Maastrichtien)

3.4.5 Evaluation du potentiel des ressources en eau dans les zones de roches sédimentaires

A partir des caractéristiques hydrogéologiques, notamment , les structures hydrogéologiques, les niveaux des eaux souterraines et le degré de fragilité, entre autres, la division de la zone de roches sédimentaires se fera dans le projet en considérant les caractéristiques hydrogéologiques et les capacités d'Aquifère. Cela est indiqué dans la Figure 3-4-9.

Les caractéristiques hydrogéologiques et les capacités d'Aquifère de chacune des régions sont résumées dans le tableau ci-dessous (Tableau 3-4-5) . Les résultats de l'analyse d'ensemble utilisant les principaux ions (Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO₃, SO₄) des eaux souterraines du Maastrichtien propres comme suivants qui supportent la division en zone.

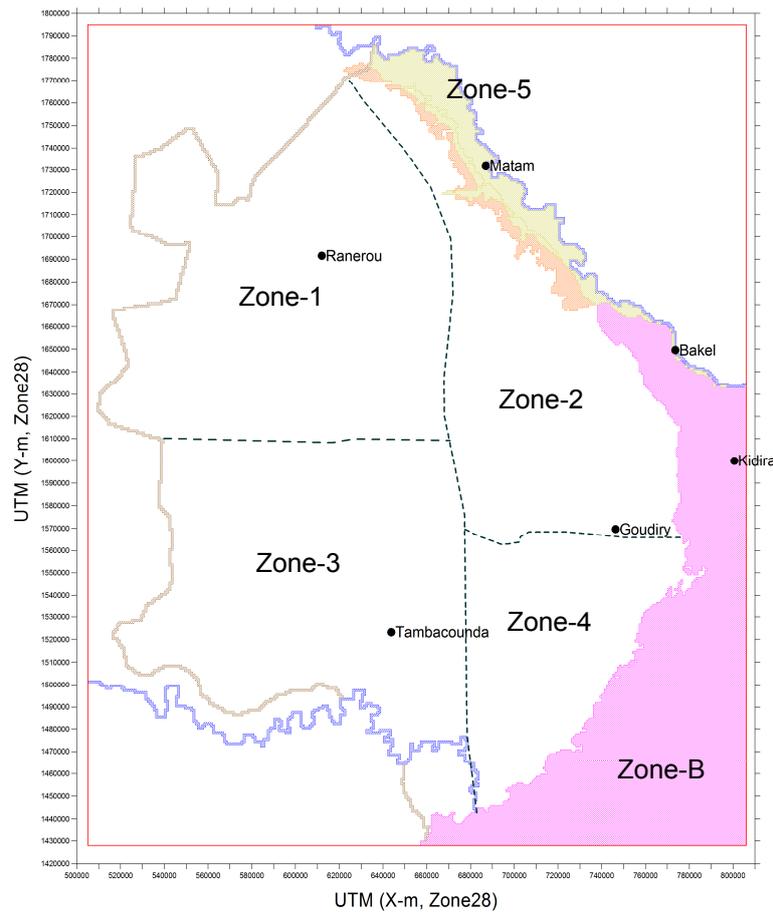


Figure 3-4-9 Division de la zone des roches sédimentaires

Tableau 3-4-5 Division en zone et caractéristiques hydrogéologiques

	Zone-1	Zone-2	Zone-3	Zone-4	Zone-5
Quaternaire (Sédiments des cours d'eau)	—	—	—	—	Fluctuations des niveaux des eaux souterraines relativement importantes en raison de la réception d'une recharge par le fleuve Sénégal pendant la saison des pluies. Importance de l'identification des fluctuations des épaisseurs et des faciès.
Continental terminal (y compris une partie de sédiments du Quaternaire)	Existence de zones où la prise d'eau est possible. Ne convient pas toutefois à un développement de grande envergure car très influencée par les volumes de recharge et les volumes d'exhaure.	Peu d'épaisseur des strates et grandes possibilités de puits secs. Possibilité de développement partiel des eaux souterraines de forme lenticulaire.	Présente le potentiel le plus élevé en tant que strate du CT.	Existence de zone où la prise d'eau est possible dans les vallées de la base. Toutefois, les zones possibles sont limitées par rapport à la Zone 3.	—

	Zone-1	Zone-2	Zone-3	Zone-4	Zone-5
Eocène	Existence d'eaux souterraines dans certains endroits selon les faciès. Toutefois, possibilités élevées de ne pas obtenir de prise d'eau stable.	Peu d'épaisseur des strates et grandes possibilités de puits secs. Possibilité de développement partiel des eaux souterraines de forme lenticulaire.	Prise d'eau possible dans les parties du faciès présentant une grande perméabilité et les sites de collecte des eaux souterraines.	Prise d'eau possible dans les parties du faciès présentant une grande perméabilité et les sites de collecte des eaux souterraines. Toutefois, limitée par rapport à la Zone 3.	—
Paléocène	Existence d'eaux souterraines dans certains endroits selon les faciès. Toutefois, possibilités élevées de ne pas obtenir de prise d'eau stable.	Existence d'eaux souterraines mais possibilités élevées de ne pas obtenir de prise d'eau stable.	Prise d'eau possible dans les parties du faciès présentant une grande perméabilité et les sites de collecte des eaux souterraines.	Prise d'eau possible dans les parties du faciès présentant une grande perméabilité et les sites de collecte des eaux souterraines. Toutefois, limitée par rapport à la Zone 3.	—
Maastrichtien	Principale aquifère mais capacités inférieures par rapport à la Zone 3. Toutefois les forages sont moins profonds que ceux de la Zone 3.	Très influencée par les fluctuations des volumes de recharge et des volumes d'exhaure par rapport aux autres zones.	Présente le potentiel le plus élevé. Toutefois, la profondeur d'exploitation augmente.	Influencée par les fluctuations des volumes de recharge et des volumes d'exhaure à proximité des roches du socle et nécessité de confirmer si l'épaisseur de la strate est suffisante.	Plus grande épaisseur en direction de l'aval. Petite épaisseur de la strate à proximité de Kidira-Bakel et pas de possibilité de strate de prise d'eau.

3.4.6 Evaluation du potentiel des ressources en eau dans les zones de roches du socle

Il est en général important, pour le développement des eaux souterraines dans les roches du socle, de déterminer (1) les structures hydrogéologiques des failles et des zones de broyage tectonique (2) les zones altérées de grande épaisseur et (3) les zones des groupes de filons.

Pour la zone de roches du socle, il est possible de classifier le potentiel des eaux souterraines comme indiqué dans le Tableau 3-4-9 à partir des relations entre géologie et structures géologiques et le volume de pompage des forages existants. La zone où cette couche Q est répartie en profondeur présente les mêmes caractéristiques hydrogéologiques que celles de la zone 5 (Figure 3-4-6) de la région de la couche sédimentaire, et elle constitue un excellent aquifère dans la zone où la couche présente une bonne épaisseur.

Assainissement

4.7 Descriptions générales du Plan directeur de l'Assainissement

4.7.1 Etendue du Plan directeur de l'Assainissement

Le présent Plan directeur a pour principes de chercher à améliorer le taux d'accès à l'assainissement autonome amélioré recommandé dans le paquet technologique d'assainissement rural dans le cadre du PEPAM.

Les options techniques améliorées pour les ouvrages d'eau et d'assainissement dans le PEPAM sont réparties comme ci-dessous. Quant aux règles du taux d'accès aux ouvrages d'assainissement, il s'agit du nombre d'habitants qui peuvent accéder à l'assainissement amélioré.

Tableau 4-7-1 Spécifications des améliorations et des non améliorations pour l'eau potable et l'assainissement¹

	Type amélioré	Type non amélioré
Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> • Branchement privé • Bornes fontaines publiques • Forage avec pompe manuelle • Puits protégé (amélioré) • Source protégée • Système de collecte des eaux de pluies 	<ul style="list-style-type: none"> • Puits non protégé • Source non protégée • Vente d'eau par un vendeur d'eau • Eau en bouteilles (sans protection ou traitement)* • Eau non traitée directement fournie à partir d'un camion-citerne
	Type amélioré	Type non amélioré
Assainissement	<ul style="list-style-type: none"> • Raccordement au tout-à-l'égout • Raccordement à une fosse septique • Toilettes à chasse d'eau • Toilettes sèches • Toilettes VIP ventilée 	<ul style="list-style-type: none"> • Toilette à seau ** • Latrine à trou ouvert sans protection • Latrines publiques comme ci-dessus

* Considéré comme non-amélioré du fait de la faible qualité et quantité.

** Utilisation d'une bassine ou d'un seau pour collecter les excréta, qui sont évacués manuellement

Ce même programme établit des distinctions² dans les spécifications des ouvrages d'assainissement améliorées dans le Tableau 4-7-2 ci-dessous.

Tableau 4-7-2 Spécifications des ouvrages d'assainissement selon le PEPAM

1. Assainissement Collectif Branchements domiciliaires à l'égout, réseau d'évacuation des eaux usées, dispositifs d'évacuation et d'épuration des eaux usées
2. Assainissement autonome / sur site i. Assainissement Individuel Latrines familiales, dispositif de traitement des eaux de pluies et des eaux usées <ul style="list-style-type: none"> • Installations souhaitées pour l'assainissement individuel en milieu urbain : fosses septiques toutes eaux, latrines à fosses ventilées, latrines à chasse d'eau, raccordement à une fosse septique, latrines toutes eaux par raccordement à une fosse septique • Installations souhaitées pour l'assainissement individuel en milieu rural : latrines améliorées ventilées ou à chasse d'eau, promotion de l'aménagement de dispositif de traitement des eaux usées (fosse septique)

¹Source : "Elaboration d'un document de stratégie pour la réalisation à l'horizon 2015 des objectifs du millénaire pour le développement, Volume 1: ETAT DES LIEUX Rapport définitif" p46)

Document obtenu en octobre 2008 et cité dans le rapport d'avancement-2, mais la terminologie a été modifiée dans la nouvelle version (l'expression « traditionnelle » devient: « non-amélioré » et « non protégé »)

² Source : "Elaboration d'un document de stratégie pour la réalisation à l'horizon 2015 des objectifs du millénaire pour le développement, Volume 1: ETAT DES LIEUX Rapport définitif"

*Dounde a actuellement une population réduite, mais de 300-400 personnes pour l'ouvrage en fonctionnement, qui est aussi utilisé par les villages voisins. Après l'arrêt, la population s'est dispersée, mais la BPF a expliqué que les habitants reviendraient si l'ouvrage était remis en fonctionnement, et a insisté pour l'inclusion du village sur la liste. L'explication selon laquelle les habitants reviendraient si l'ouvrage est remis en fonctionnement a aussi été donnée pour d'autres villages, qui ont donc aussi été laissés sur la liste. La décision finale sera prise lors de l'étude avant la construction.

Tableau6-2-7 Sites des équipements de pompage à réhabiliter sous la tutelle de la BPF de la région de Matam

VILLAGE_PR	Année de réhabilitation	pop RGPH 2002	Pop 2015	Communauté rurale	Coût direct des travaux de cas antérieurs	Coût direct des travaux par personne	Coût direct des travaux de réhabilitation d'urgence
					Million CFA	Mille CFA	Million CFA
Dialloubé	2011*	2 602	4 430	Aoure	66	15	46
Dounoubel	2011*	379	645	Oudalaye	56	88	46
Ranerou Orient	2011*	186	317	Wourou Sidy	56	176	46
Hombo Fresbe	2012	1 508	2 567	OGO	61	24	46
Dendoudy (Ndendoudy Travaux)	2012	769	1 309	OGO	58	44	46
Mbem Mbem	2012	196	334	VELINGARA	56	167	46
Velingara Ouolof I	2013	189	322	VELINGARA	56	173	46
Total		5 829	9 923		409	41	320

Tableau6-2-8 Sites des équipements de pompage à réhabiliter sous la tutelle de la BPF de Kédougou

VILLAGE_PR	Année de réhabilitation	pop RGPH 2002	Pop 2015	Communauté rurale	Coût direct des travaux de cas antérieurs	Coût direct des travaux par personne	Coût direct des travaux de réhabilitation d'urgence
					Million CFA	Mille CFA	Million CFA
Daloto	2012	808	1 376	MISSIRAH SIRIMANA	58	42	46
Pelel Kindissa	2012	809	1 377	BANDAFASSI	58	42	46
Niagalancome	2012	540	919	FONGOLEMBI	57	62	46
Dioulafoundou	2013	299	509	SARAYA	56	110	46
Bransan	2013	744	1267	KHOSSANTO	56	175	46
Total		3 387	5766		344	60	275

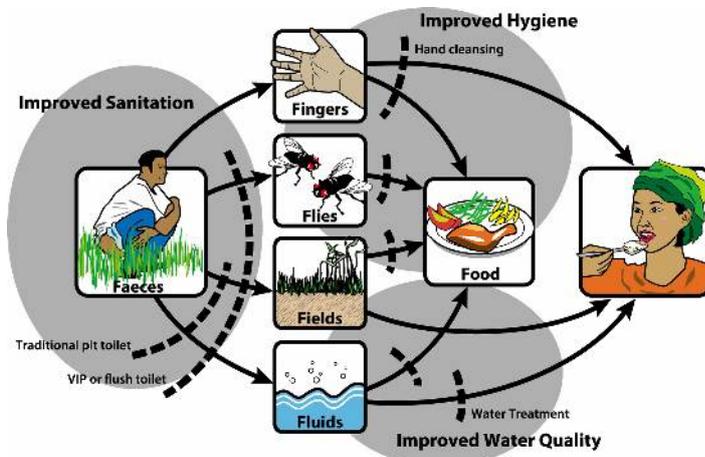
6.3 Réhabilitations à partir du projet à moyen terme

(1) Généralités

Les demandes d'agrandissement des ouvrages, comme celles mentionnées ci-dessous, sont faites même pour les AEV actuellement en fonctionnement.

- Pose de canalisations jusqu'aux villages polarisés, et installation de bornes fontaines pour réduire le travail de transport de l'eau jusqu'au village .
- Prolongation des canalisations de distribution à une zone élargie, installation de bornes fontaines, et augmentation du nombre de bornes fontaines dans la zone actuellement desservie pour réduire la distance de transport de l'eau.
- Augmentation des canalisations de distribution pour renforcer la densité du réseau de distribution car les canalisations de distribution doivent arriver jusque devant les habitations pour l'approvisionnement par branchements particuliers.
- Remplacement des équipements de pompage pour augmenter le volume d'eau pompé du forage.
- Remplacement des canalisations de distribution par des tuyaux plus gros et mise en place de canalisations de distribution de dérivation pour augmenter le volume d'eau fourni.
- Travaux d'électrification pour réduire le coût d'exploitation.

- habitudes comme la défécation sauvage et les bains dans l'eau des marigots, etc.
4. Elimination des agents pathogènes communs à toutes les familles, destruction des foyers de contamination. En d'autres termes, mesures pour une amélioration des conditions d'hygiène du village, etc.



Par ailleurs, la figure de gauche présente le Schéma F de l'itinéraire de contamination des maladies d'origine fécale transmissibles par voie orale ainsi que les mesures de prévention, auquel ont été ajoutées les relations de l'eau, de l'hygiène et de l'environnement.

Légende

Lignes noires : Itinéraire de contamination des maladies

Lignes pointillées noires : Barrière contre la contamination des maladies

Zones en gris : Etendue de la barrière contre la contamination

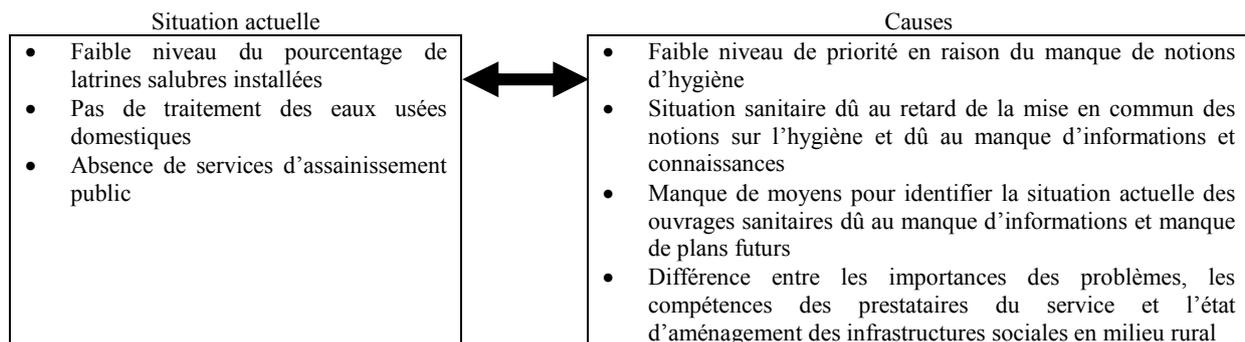
Figure 8-1-1 Schéma de l'itinéraire de contamination des maladies d'origine fécale et mesures de prévention, et des relations avec l'eau, les installations sanitaires et les notions d'hygiène ³

Les projets d'aménagement des installations d'approvisionnement en eau et les projets d'aménagement des installations d'assainissement constituent les deux piliers essentiels à la promotion de l'amélioration des conditions de vie dans les villages du milieu rural. Les activités de diffusion sur la salubrité de l'eau, destinées à améliorer les notions de santé et d'hygiène, sont l'axe principal servant à soutenir ces deux piliers. Dans le présent Plan directeur, les 4 mesures énoncées ci-dessus seront appliquées en vue de résoudre les problèmes dans la région concernée par le projet

8.2 Problèmes de l'amélioration des conditions d'assainissement

(1) Problèmes

Les difficultés devant être surmontées dans la situation actuelle de l'assainissement de la région concernée peuvent se diviser dans les grandes catégories suivantes.



(2) Amélioration graduelle des conditions d'assainissement

La division⁴ par étape des problèmes de l'assainissement, en tenant compte des résultats des enquêtes ci-dessus effectuées dans la région concernée, se présente comme suit.

Première étape : Aménagement de l'environnement de l'hygiène de base

³Source : Elaboration par la mission d'étude d'après révision du diagramme de Windbland U. & Daddly, 1997

⁴Les concepts de création d'un environnement sanitaire et d'amélioration du cadre de vie sont souvent indiqués par un escalier qu'on monte marche après marche (échelle sanitaire). Sur la base de ces concepts, il était prévu de classer la situation actuelle par étape pour la saisir dans cette étude du Plan directeur.

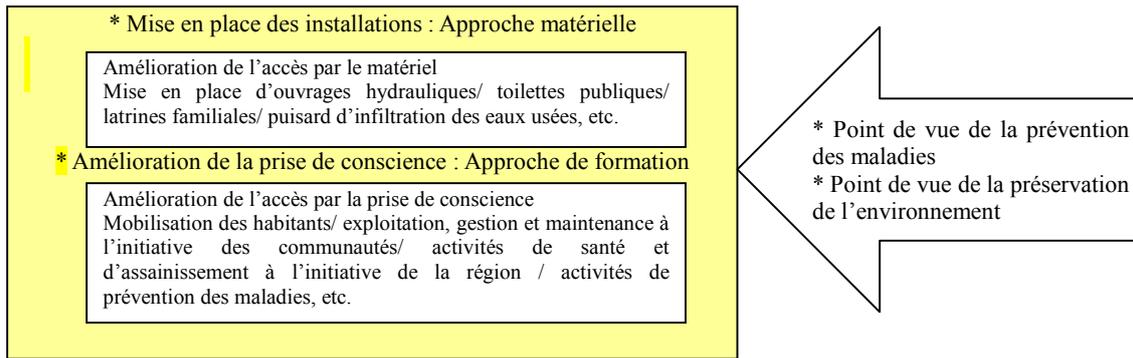


Figure 8-3-1 Schéma conceptuel de la préservation durable de l'environnement

Les points à prendre en considération lors de l'étude des orientations sont les suivants.

- Pour l'augmentation du nombre de latrines familiales, il est indispensable de bien faire assimiler les notions d'hygiène ainsi que la volonté d'amélioration de l'environnement par l'appropriation des installations. La Direction de l'Assainissement (DAS) a également démarré une approche dénommée Assainissement Total Porté par les Communautés (ATPC) soulignant particulièrement l'importance de l'amélioration des notions d'hygiène, et en particulier la prise de conscience par rapport aux maladies d'origine fécale, en vue d'isoler les villages par rapport aux excréments. L'étude de la mise en place de ces activités est mentionnée ci-après en 8.3.4 (4).
- Pour une éducation totale sur l'assainissement dans les villages et à l'échelle de la région, il est souhaitable, d'une part, de procéder à la formation des relais féminins, qui sont les principales exécutantes des activités de sensibilisation à l'intérieur des villages, de fournir un soutien aux activités de sensibilisation sur l'hygiène dans les villages, de procéder à la formation de techniciens pour la construction des installations sanitaires dans le village (maçons)⁵ et de fournir un soutien pour l'établissement de micro crédits, entre autres et, d'autre part, d'associer à ces composantes la création de mesures d'exécution où la participation à l'initiative des habitants est indispensable.
- Un soutien en vue d'améliorer les fonctions de gestion des informations au niveau des communautés rurales (CR) qui sont les responsables de l'établissement du Plan Local Hydraulique et Assainissement (PLHA⁶) est également nécessaire.
- Afin que le sentiment de propriété s'accompagne d'une utilisation correcte et d'une gestion et maintenance adéquates, une prise en charge de la construction des latrines sera demandée aux habitants (10% environ⁷) des coûts de construction. Par ailleurs, pour les personnes défavorisées des villages pouvant difficilement prendre en charge ces 10%, nous proposons la mise en place de micro-crédits, utilisant les fonds ou l'épargne des associations communautaires comme les ASUFOR par exemple.

8.3.2 Mesures du Plan Directeur relatives aux installations d'assainissement

L'état de mise en place des installations sanitaires publiques et ménagères ainsi que les mesures proposées par le présent projet sont présentés ci-dessous.

⁵ Les maçons indiquent au Sénégal les techniciens de construction des installations sanitaires individuelles.

⁶ Plan Local d'Hydraulique et d'Assainissement : PLHA, établi dans les CR avec le soutien de la Banque Mondiale. (Voir 2.2.2 du Chapitre 2)

⁷ Dans les résultats des enquêtes par visites des familles (enquêtes qualitatives), 100% des familles ont indiqué leurs intentions de paiement de la prise en charge. D'autre part, si le nombre de familles ayant approuvé le paiement en espèces pour la prise en charge est resté faible, la plupart des foyers ont répondu qu'ils pourraient prendre en charge environ 10% des coûts en fournissant du travail ou des matériaux disponibles localement.

Tableau8-3-1 Etat actuel des installations sanitaires publiques et mesures proposées par le présent projet

Spécifications	Proportion du nombre d'installations	Mesures du présent projet
Latrines VIP à simple fosse	90% environ	Confirmer le nombre d'années depuis l'installation et création indispensable d'un système de gestion et maintenance. [Points à considérer] Les latrines existantes dans les écoles et les centres sanitaires de la région concernée sont en majeure partie des latrines VIP à une seule fosse. Par conséquent, la durée de service des latrines est limitée à la capacité de la fosse dans la plupart des cas. Des débordements ont déjà lieu en certains endroits et il est donc difficile de continuer à les utiliser. Par ailleurs, il n'existe pas de latrines dotées de lave-mains. Cette situation se retrouve dans la plupart des sites de la région concernée. Nous proposons par conséquent de construire de nouvelles latrines conformément au niveau de priorité.
Latrines VIP à double fosse	10% environ	
TCM	Très petit nombre	

Remarque : Pour la proportion des ménages, les résultats de l'enquête de ligne de base de sélection des sites prioritaires de 2009 et les résultats de l'enquête qualitative de référence de la mission d'étude ont été pris en compte.

Tableau8-3-2 Etat actuel des installations sanitaires des ménagères et mesures proposées par le présent projet

Spécifications	Proportion du nombre de ménages	Mesures du présent projet
Simple trou traditionnel	Environ 80%	Ne correspondent pas aux standards des installations d'assainissement et ne sont pas considérées comme installations existantes. Mesures par la construction de nouvelles installations. [Points à considérer] Prendre garde au fait que, si leur utilisation pourra se poursuivre jusqu'à l'achèvement des nouvelles installations, elles devront ensuite être enterrées et ne plus être utilisées.
Simple trou avec dalle	Environ 20%	Nécessité de vérifier visuellement s'ils correspondent aux standards. [Points à considérer] Si elles continuent à être utilisées, sensibiliser sur le fait qu'elles se situent tout bas de l'échelle sanitaire et promouvoir l'objectif de la mise en place de latrines améliorées (latrines VIP).
VIP/TCM et DLV	Très petit nombre	Donner des directives sur les méthodes d'utilisation correctes et sur la gestion et maintenance.

Remarque : Pour la proportion des ménages, les résultats de l'enquête de ligne de base de sélection des sites prioritaires de 2009 et les résultats de l'enquête qualitative de référence de la mission d'étude ont été rajoutés.

8.3.3 Unités pour l'exécution du projet

D'après les résultats de l'étude, la plus petite unité objet de la mise en place par le plan de base sera le village.

Les propositions de mesures ont été étudiées pour des groupes de grande étendue dans la région concernée, en s'efforçant de prendre des mesures par rapport à ces niveaux. Toutefois, en tenant compte du fait que des différences n'ont pas pu être relevées dans les relations mutuelles entre les unités administratives comme les régions, les départements et les arrondissements, etc., et l'envergure de la population, entre autres, il a été difficile de spécifier des paramètres permettant de procéder à une division en groupes. Par conséquent, la plus petite unité dans le présent plan de base sera le village.

8.3.4 Examen du contenu du Plan Directeur d'assainissement

Les systèmes d'assainissement sont composés des trois volets suivants, à savoir 1) les installations sanitaires, 2) l'application correcte des notions d'hygiène et des connaissances sur la santé et l'assainissement et 3) un système d'exécution durable dans les villages. Leurs éléments sont les six composantes énoncées ci-dessous.

- Composante 1 : Construction d'installations d'assainissement familiales et publiques
- Composante 2 : Etat des lieux des ressources locales (Humaines, Budgétaires, Méthodologies actuelles...)
- Composante 3 : Activités de renforcement des capacités des ressources humaines

- Composante 4 : Mise en place d'activités d'amélioration des notions d'hygiène dans le village
- Composante 5 : Etablissement d'un système d'exécution durable (y compris surveillance et évaluation)
- Composante 6 : Autres activités (activités pour interdire la défécation sauvage)

L'étude du contenu a été effectuée conformément aux résultats de l'étude relative aux composantes pour la formation du système d'assainissement, aux indicateurs de suivi du PEPAM⁸ et aux assouplissements des spécifications dans le PEPAM déjà mentionnés en 2.2.2 au Chapitre 2.

(1) Etendue du plan

L'étendue du Plan directeur sera celle des installations d'assainissement individuel (assainissement autonome/ sur site) en milieu rural.

(2) Sélection des régions pour la mise en place des systèmes d'assainissement

Les régions dans lesquelles la prise d'eau est possible quotidiennement seront considérées comme prioritaires pour la mise en place des systèmes d'assainissement. En outre, en ce qui concerne la conception pour la construction des ouvrages hydrauliques, on peut considérer que la forme la plus souhaitable à adopter pour les projets serait de prévoir la mise en place simultanée d'un système d'assainissement, afin non seulement de faire progresser l'accès à l'eau potable et à l'assainissement mais également d'améliorer l'environnement de vie des villageois.

La procédure de sélection des régions est indiquée dans le Tableau 4-8-2, au paragraphe 4-8-2 du Chapitre 4.

(3) Réalisation des installations d'assainissement (Composante 1)

La composante de l'aménagement des installations d'assainissement se présente comme indiqué ci-après. En ce qui concerne l'étude des spécifications, les critères utilisés dans le PEPAM ainsi que les spécifications des latrines familiales dont la construction est encouragée dans la région concernée par le projet, ont été pris pour référence. Les résultats de l'étude sont présentés dans "Options techniques des installations d'assainissement" dans le Rapport de soutien.

Tableau 8-3-3 Composantes 1 Système d'assainissement en milieu rural
(mise en place des installations d'assainissement)

No	Composantes	Définitions
1-1	Installations d'assainissement familial	(i) Latrines VIP à double fosse (2 fosses septiques) (ii) Lavoirs-puisards ; installation pour les activités ménagères nécessitant l'évacuation des eaux, telles que la lessive, le lavage de la vaisselle et le nettoyage, etc.) Lave-mains (Construction et vente possibles)
1-2	Installations d'assainissement public	(iii) Mise en place de latrines VIP à double fosse (2 fosses septiques) avec lave-mains, lavoir avec caniveau d'évacuation pour usage collectif du village.

1) Caractéristiques des installations sanitaires familiales

- Type : Latrines VIP à double fosse (2 fosses septiques), simples lave-mains, lavoir avec caniveau d'évacuation
- Critères de mise en place : Plan d'installation de 1 latrine par ménage, avec 1 ménage = 10 personnes dans les villages de plus de 500 habitants.
- La concession⁹ n'entre pas dans l'étude.
- Conditions : Prise en charge de 10% des coûts de mise en place des installations d'assainissement par le ménage

⁸ Appui à la mise en place du système de suivi-évaluation du Programme d'eau potable et d'assainissement du Millénaire, Rapport N°2 ; Définition des indicateurs de suivi du PEPAM Version finale Septembre 2006,

⁹ Une concession correspond à une unité de zone résidentielle où plusieurs ménages, de la même famille ou autres, sont rassemblés et 10 personnes ou plus habitent dans cette concession.

2) Etude de la conception des latrines

- Points à prendre en compte pour l'étude

Nous avons étudié avec la DAR (organisme d'exécution), concernant les 4 ouvrages d'assainissement ci-dessous ayant fait l'objet de l'étude, non seulement sur le plan technique, à savoir les rapports coûts/bénéfices, la robustesse des installations, et le niveau de sécurité, mais également sur le plan de la facilité de gestion et de maintenance lors de l'utilisation, sur les possibilités de mise en pratique définitive des méthodes correctes d'utilisation et sur leur adaptation appropriée aux communautés locales.

Tableau 8-3-4 Installations d'assainissement conformes aux critères du PEPAM et les latrines familiales dont la construction promue

Latrines amélioré conformément aux critères du PEPAM	(1) VIP Double fossés (2) Toilettes Chasse Manuelle: TCM
Latrines actuellement construites dans la région concernée en plus des latrines ci-dessous	(3) Toilettes ECOSAN (4) Double Latrine Ventilée: DLV

Les résultats détaillés de l'étude sont présentés au paragraphe 3.1 du Chapitre 3 "3.1 Etude de la conception des ouvrages d'assainissement" dans le Rapport de soutien.

a) Résultats de considération sur DLV et VIP

En particulier, voici ci-dessous un abrégé de la comparaison des VIP et DLV positivement introduits après la modération des spécifications du PEPAM de 2009. Les résultats de la de l'étude montrant que les puits sont largement utilisés, que l'élévation est faible, que des wadis apparaissent pendant la saison des pluies, et que la fouille dans les zones rocheuses n'est pas facile, l'introduction de VIP Doubles Fossés a été jugée réaliste dans la zone concernée.

b) Région de Kédougou

Etant donné que la région de Kédougou comporte une zone étendue de sols durs, il serait préférable, sur le plan du rapport coût-efficacité, de mettre en place des fosses de toilettes ayant une durabilité élevée et pouvant être utilisées pendant longtemps, une fois que le sous-sol a été creusé. Du fait que la mise en place de toilettes ECOSAN, qui ne nécessitent pas de grands forages, est plutôt souhaitable dans les régions ayant l'agriculture comme principale activité, et dans lesquelles le cycle d'utilisation des excréta peut être poursuivi, on a jugé que les toilettes VIP étaient, à l'étape actuelle, mieux adaptées aux conditions sociales dans la région de Kédougou.

3) Etude des lavoirs puisards

En ce qui concerne les installations d'assainissement du présent projet, la mise en place de lavoirs puisards a été recommandée dans le cadre du PEPAM et les résultats de leur mise en place dans les familles recommandé la mise en place d'un lavoir collectif avec puisard dans les villages. Ces résultats respectifs n'ont pas été obtenus dans la région concernée mais d'après les réponses aux enquêtes de la mission d'étude, les familles possédant ce type d'installations ont déclaré qu'elles contribuaient à l'amélioration des conditions d'hygiène. En outre, au cas où la construction des installations sanitaires est prévue comme package avec le projet d'aménagement des installations d'approvisionnement en eau et étant donné que les possibilités d'assurer un soutien technique pour la mise en place du parcours de distribution des matériaux de construction et pour la construction des installations sont élevées, la mise en place des lavoirs puisards sera intégrée en tant que composante dans le présent Plan directeur.

4) Caractéristiques des installations d'assainissement publiques

Type : 1 bâtiment comprend les 4 cabinets (une latrine VIP à double fosse) avec les lave-mains, 1 caniveau d'évacuation avec lavoir

Critères d'installation: comme indiqué ci-dessous

10.5.1 Méthode de l'analyse

(1) Conditions d'analyse (conformes aux conditions de l'étude de faisabilité)

Les conditions de l'analyse économique sont les suivantes.

- Le taux de change correspondant à la moyenne des taux entre décembre 2009 et mai 2010 a été utilisé (1 FCFA = 0,193 Yens).
- L'indice d'augmentation annuelle du prix de la vie a été estimé au taux de 2,2% indiqué officiellement par le FMI, la période d'évaluation du projet s'étendant sur 20 ans, de 2011 à 2030.
- La durée de la conception est d'un an (2011), celle des travaux de construction d'un an (2012), avec un pourcentage annuel pour les investissements initiaux de 5% de l'ensemble pour la première année et de 95% pour la seconde. Pour le système 5 uniquement, la durée de la conception est d'un an, celle des travaux de construction de 2 ans, avec un pourcentage annuel de 5% de l'ensemble pour la première année, de 50% pour la deuxième année et de 45% pour la troisième.
- Pour les coûts de construction, les coûts du projet calculés lors de l'étude de faisabilité seront appliqués.
- La durée d'utilisation des installations au Sénégal est de 50 ans (pour les châteaux d'eau), de 30 ans (canalisations, forages et bornes fontaines) et de moins de 10 ans (pour les équipements comme les pompes et les générateurs, etc.), et ces chiffres seront appliqués dans la présente analyse.

(2) Coûts

Les rubriques suivantes ont été calculées en tant que coûts économiques.

- 1) Coûts de construction : Valeurs calculées par l'étude de faisabilité
 - 2) Coûts de fonctionnement : Coûts de fonctionnement et de gestion 5% des coûts de construction des installations, à l'exception des forages et des réservoirs
 - 3) Coûts de maintenance (coûts de gestion et de maintenance) : 1% des coûts de construction des installations, à l'exception des forages et des réservoirs, 2% à partir de la 6^{ème} année
- Coûts de rénovation : 10% des équipements électriques

(3) Bénéfices

Deux types de bénéfices sont utilisés dans l'analyse économique. Le premier est la réduction des heures de travail nécessaires au puisage de l'eau et le second est la diminution des frais de transport de l'eau par les chevaux et les ânes du point d'eau jusqu'aux ménages. Le total de ces bénéfices est calculé en multipliant le bénéfice unitaire par les volumes d'approvisionnement en eau.

(4) Analyse de sensibilité

L'analyse économique est effectuée en prenant le cas 1 comme cas de base, et l'analyse a été menée dans les 2 cas ci-dessous en faisant varier les conditions des coûts.

- Variation de conditions 1 : avec pour condition une réduction de 50% des coûts de gestion et maintenance et des coûts de rénovation par rapport aux conditions de la période initiale.
- Variation de conditions 2 : avec pour condition une réduction de 20% des coûts de fonctionnement et de gestion, en addition à la condition 1.

Par ailleurs, en tant que cas 2, les coûts de fonctionnement et de gestion sont convertis en montants calculés dans l'étude de faisabilité. En outre, dans des conditions identiques, la sensibilité est analysée en ajoutant les conditions de variations 1 et de variations 2 ci-dessus.