



# HAUT COMMISSARIAT

-----  
Direction des Infrastructures Régionales

## ETUDE POUR L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES CONNAISSANCES EN EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN DU FLEUVE SÉNÉGAL

Rapport Final

Dr Moustapha DIENE, Hydrogéologue

Juin 2023

1	Introduction.....	6
1.1	Contexte de l'étude .....	6
1.2	Rappel des objectifs .....	6
1.3	Rappel des TdR.....	6
1.4	Méthodologie de l'étude.....	7
1.4.1	Collecte et analyse des données/informations.....	7
1.4.2	Compléments de données/informations dans les pays riverains .....	7
2	Contexte général du Bassin du Fleuve Sénégal.....	8
2.1	Contexte climatique .....	8
2.2	Contexte hydrologique.....	9
2.2.1	Le Bassin du Fleuve Sénégal.....	9
2.2.2	Le régime hydrologique du Fleuve Sénégal.....	10
2.3	Les infrastructures communes dans le Bassin du Fleuve .....	13
2.3.1	Barrage de Diama .....	13
2.3.2	Barrage de Manantali .....	13
2.3.3	Barrage de Félou.....	13
2.3.4	Barrage de Gouina.....	13
2.3.5	Les projets d'ouvrages.....	14
3	Contexte hydrogéologique des pays de l'OMVS .....	14
3.1	Hydrogéologie de La Guinée .....	14
3.1.1	Contexte géologique de la Guinée .....	14
3.1.2	Les aquifères de la Guinée.....	15
3.2	Hydrogéologie du Mali .....	18
3.2.1	Contexte géologique du Mali .....	18
3.2.2	Les aquifères du Mali.....	19
3.3	Hydrogéologie de la Mauritanie.....	22
3.3.1	Contexte géologique de la Mauritanie.....	22
3.3.2	Les aquifères de la Mauritanie et leurs caractéristiques .....	23
3.4	Hydrogéologie du Sénégal.....	26
3.4.1	Contexte géologique du Sénégal.....	26
3.4.2	Les aquifères du Sénégal et leurs caractéristiques .....	28
4	Etat des connaissances de l'hydrogéologie du bassin.....	32
4.1	Les aquifères présents dans le Bassin du Fleuve Sénégal .....	32

4.1.1	L'aquifère du Maastrichtien .....	35
4.1.2	L'aquifère de l'Eocène .....	35
4.1.3	L'aquifère du Continental terminal (CT).....	35
4.1.4	L'aquifère alluvial ou Quaternaire.....	36
4.1.5	Les aquifères du Bassin de Taoudéni .....	36
4.1.6	Les aquifères de socle.....	37
4.2	Relation fleuve-nappes : Synthèse des données existantes .....	39
4.2.1	Les échanges avec les nappes superficielles .....	39
4.2.2	Les échanges avec les nappes profondes.....	41
4.2.3	Les impacts de la construction des barrages.....	42
5	Le suivi piézométrique, état des lieux.....	42
5.1	L'état des réseaux piézométriques dans les pays du bassin .....	42
5.1.1	Les structures détentrices de données dans les pays de l'OMVS .....	42
5.1.2	L'état du suivi piézométrique dans les pays de l'OMVS.....	44
5.2	Le suivi piézométrique dans le Bassin du Fleuve .....	47
5.2.1	Quelques rappels des actions de suivi de l'OMVS.....	47
5.2.2	La situation du réseau au Mali .....	48
5.2.3	La situation du réseau en Mauritanie .....	50
5.2.4	La situation du réseau au Sénégal.....	52
6	Schéma pour le suivi et l'amélioration des connaissances des aquifères du Bassin.....	56
6.1	Cartographie des zones lacunaires du Bassin .....	56
6.1.1	Les insuffisances sur la connaissance des systèmes aquifères de la vallée .....	56
6.1.2	Le gap de connaissance sur les liens aquifères du bassin de Taoudéni et le fleuve .....	57
6.1.3	Les insuffisances sur la connaissance des aquifères de socle .....	57
6.2	Problématiques de suivi des aquifères.....	58
6.2.1	Problématique des mécanismes d'échanges et la salinité dans le Delta.....	58
6.2.2	La problématique de l'impact des réservoirs des barrages sur les nappes .....	58
6.2.3	La problématique de pollution minière dans le bassin .....	59
6.3	Proposition de schéma de reprise du suivi piézométrique .....	60
6.3.1	Actualisation de l'étude diagnostique du réseau piézométrique .....	60
6.3.2	Renforcement du dispositif de suivi piézométrique .....	61
6.3.3	Mise en œuvre d'un cadre de partage et d'échange de données .....	61

## Liste des tableaux

Tableau 1: Récapitulatif des structures visitées / contactées.....	8
Tableau 2: Litho stratigraphie des formations aquifères (source DNH).....	22
Tableau 3: Principales caractéristiques des aquifères du bassin sédimentaire de Taoudéni en Mauritanie .....	24
Tableau 4 : Quelques caractéristiques de la nappe du Trarza (source : CNRE).....	36
Tableau 5 : Caractéristiques des aquifères de l'Aïoun .....	37
Tableau 6 : Fluctuation annuelle du niveau de la nappe alluviale (source : OMVS) .....	39
Tableau 7 : Localisation et caractéristiques technique des piézomètres du réseau optimum de suivi	49
Tableau 8 : Résultats des mesures de conductivités aux environs du barrage de Manantali .....	50
Tableau 9 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère au niveau du delta du Sénégal .....	54
Tableau 10 : Caractéristiques de piézomètres suivis en décembre 2021 (source DGPRE).....	55

Figure 1: Carte des grandes zones climatiques du bassin du fleuve Sénégal (OMVS) .....	9
Figure 2: Bassin du Fleuve Sénégal.....	10
Figure 3 : Variation des débits annuels du fleuve Sénégal à la station de Bakel sur la période 1950-2014 (DH, 2020).....	11
Figure 4 : Evolution du niveau du fleuve Sénégal à Rosso avant et après la construction du barrage de Diama (in Mohamed, 2012).....	12
Figure 5 : Bassins hydrographiques de la sous-région avec les principaux ouvrages dans le bassin du fleuve Sénégal (DH, 2020) .....	12
Figure 6 : La nature des aquifères et leur productivité relative (Upton et al., 2016) .....	18
Figure 7 : Les types d'aquifères présents au Mali (source : DNH).....	21
Figure 8 : Carte piézométrique des bassins de Taoudeni-Tanezrouft et Iullemeden (OSS 2017).....	21
Figure 9 : Principales unités hydrogéologiques de la Mauritanie (source : CNRE) .....	24
Figure 10 : Carte géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Bassot 1987, Ledru et al., 1991 modifiée) .....	27
Figure 11 : Carte des unités aquifères du Sénégal (Source : DGPRE).....	29
Figure 12 : Coupe hydrogéologique schématisée (source : DGPRE) .....	31
Figure 13 : Carte des unités aquifères du bassin du fleuve Sénégal (crédit : Mall, I. et Diene, M.).....	33
Figure 14 : Carte de productivité des aquifères du BV du Fleuve Sénégal (crédit : Mall, I et Diene, M) .....	34
Figure 15 : Schéma conceptuel moderne d'un système aquifère de socle (Wyns, Lachassagne & al., 2005 in Mall, 2017).....	38
Figure 16 : Evolution du niveau de la nappe (dans un puits) et du fleuve à Rosso (in Mohamed, 2012) .....	40
Figure 17 : Carte piézométrique de la saison sèche 2011 (in Mohamed, 2012).....	41
Figure 18 : Localisation réseau optimum proposé en 2008 par l'OMVS.....	48
Figure 19 : Localisation des piézomètres aux alentours du barrage de Manantali.....	49
Figure 20 : Localisation des piézomètres dans le Delta mauritanien.....	51
Figure 21 : Etat des ouvrages suivi par le Parc National de Diawling (source : PND).....	52
Figure 22 : Localisation des piézomètres du réseau optimum au niveau du delta du fleuve Sénégal .	53
Figure 23 : Localisation des piézomètres OMVS suivis par la SAED (source SAED).....	54
Figure 24 : Localisation de piézomètres suivi par la DGPRE.....	55
Figure 25 : Régions aurifères du Sénégal, Mali et Guinée (source : Faty B. Mboj) .....	60

## Liste des abréviations

<b>AIEA</b>	<b>Agence internationale de l'énergie atomique</b>
<b>BASM</b>	<b>Bassin Aquifère Sénégal-Mauritanien</b>
<b>CNRE</b>	<b>Centre National des Ressources en Eau</b>
<b>CSS</b>	<b>Compagnie Sucrière Sénégalaise</b>
<b>DGPRE</b>	<b>Direction de Gestion et de Planification des Ressources en Eau</b>
<b>DH</b>	<b>Direction de l'Hydraulique</b>
<b>DNH</b>	<b>Direction Nationale de l'Hydraulique</b>
<b>CN/OMVS</b>	<b>Cellule Nationale OMVS</b>
<b>IRD</b>	<b>Institut de Recherche pour le Développement</b>
<b>OMS</b>	<b>Organisation mondiale de la santé</b>
<b>OMVS</b>	<b>Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal</b>
<b>OSS</b>	<b>Observatoire du Sahara et du Sahel</b>
<b>PAGIRE</b>	<b>Plan d'Action de Gestion Intégrée des Ressources en Eau</b>
<b>PASMI</b>	<b>Programme d'Appui au Secteur Minier</b>
<b>PNAEPA</b>	<b>Programme d'Alimentation en Eau potable et d'Assainissement en milieu rural</b>
<b>PNUD</b>	<b>Programme des Nations unies pour le développement</b>
<b>PRM</b>	<b>Projet Recasement de Manantali</b>
<b>SAED</b>	<b>Société d'Aménagement et d'Exploitation du Delta du Fleuve Sénégal</b>
<b>SEN'EAU</b>	<b>Société de gestion de l'exploitation et de la distribution de l'eau potable en zone urbaine et péri-urbaine</b>
<b>SNAPE</b>	<b>Service national des points d'eau de Guinée</b>
<b>SNDE</b>	<b>Société nationale de l'eau</b>
<b>TdR</b>	<b>Termes de Références</b>
<b>UCAD</b>	<b>Université Cheikh Anta Diop de Dakar</b>
<b>USAID</b>	<b>Agence des États-Unis pour le développement international</b>
<b>ZITC</b>	<b>Zone Inter Tropicale de Convergence</b>

# 1 INTRODUCTION

---

## 1.1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'hydrogéologie du bassin du fleuve Sénégal est caractérisée par la présence de plusieurs aquifères, sur lesquels plusieurs études ont été menées dans le passé. Cependant les connaissances sur le suivi et la mobilisation des eaux souterraines restent en général très lacunaires et très faibles dans le bassin du fleuve Sénégal, avec très peu de données d'observations.

Pour rappel, le réseau (OMVS) de la vallée du fleuve Sénégal, mis en place dans le cadre du Projet "Cellule des Eaux souterraines" de l'OMVS et de l'USAID entre janvier 1985 et juin 1990, avait été conçu essentiellement pour l'étude des impacts des aménagements hydroagricoles sur les eaux souterraines. Initialement composé de 589 piézomètres et de 562 puits traditionnels (situés sur les deux rives du fleuve Sénégal, dont 328 dans le territoire sénégalais), un suivi régulier mensuel a été effectué sur la piézométrie et les paramètres physico- chimiques de 1987 à 1991. Après rétrocession de l'ensemble de ces ouvrages aux Etats membres de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) à la fin du projet, leur suivi n'était plus opéré de façon systématique.

Ce manque de suivi est, entre autres, la cause de la non-disponibilité par l'OMVS d'un cadre référentiel permettant d'étudier (i) la dynamique des eaux souterraines et leurs relations avec les eaux de surface (ii) l'impact de la gestion des ouvrages sur les eaux souterraines (iii) l'effet des activités anthropiques sur la qualité des ressources en eau.

C'est dans ce cadre que pour donner suite à la recommandation de la Commission Permanente des Eaux relative à la mise en place d'un suivi effectif des ressources en eaux souterraines, le Haut-Commissariat de l'OMVS a recruté un consultant individuel pour réaliser un état des lieux des connaissances des aquifères et du réseau de suivi des eaux souterraines dans le bassin du fleuve Sénégal.

## 1.2 RAPPEL DES OBJECTIFS

Parmi les objectifs assignés au Consultant, on retiendra notamment :

- La collecte des informations disponibles sur la connaissance et le suivi des ressources en eaux souterraines du bassin du fleuve Sénégal, dans les quatre (04) Etats membres de l'OMVS ;
- L'analyse et la synthèse des données disponibles ;
- La cartographie des zones où les connaissances sur les eaux souterraines sont lacunaires ;
- Les préconisations pour la mise en place effective d'un suivi des ressources en eaux souterraines dans l'ensemble du bassin du Fleuve Sénégal.

## 1.3 RAPPEL DES TDR

Les Termes de Références (TDR) ont défini le contexte dans lequel cette étude a été initiée. Il porte essentiellement sur l'environnement hydrogéologique du bassin du fleuve Sénégal qui compte plusieurs formations aquifères, avec la présence de nappes d'eau souterraines en connection avec les eaux de surface tout au long du Fleuve Sénégal et de ses affluents ou défluent. Dans ce contexte, la dynamique des eaux souterraines, les relations entre eaux de surface et eaux souterraines, l'impact de

la gestion des ouvrages sur les aquifères et l'effet des activités anthropiques sur la qualité des ressources en eau demeurent des préoccupations majeures pour l'OMVS.

Les TdR, très explicites, ont bien défini les activités que le Consultant doit mener pour atteindre les objectifs fixés par l'OMVS tels que rappelés précédemment.

## 1.4 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Ainsi, dès après, la signature du contrat et prise de contact avec l'équipe chargée du Projet de l'OMVS, des échanges ont eu lieu afin de s'accorder sur un cadre de concertation opérationnel, en vue de la mise en œuvre optimale de la mission. A la suite de cette prise de contact, les voies et moyens ont été mis en place en parfaite harmonie avec l'équipe du projet afin d'optimiser les prestations assignées au Consultant, au regard des attentes décrites dans les TDR.

### 1.4.1 Collecte et analyse des données/informations

Cette étape correspond à la collecte, à la revue et à l'analyse de la documentation et des informations disponibles. Il a été pris en compte des documents de référence afférents à la mission notamment les documents publics collectés sur place ou disponibles sur les sites internet des institutions qui les éditent, les informations collectées à travers les rapports universitaires, de recherche ou d'études commanditées par l'OMVS dans les quatre pays riverains, notamment celui portant sur le diagnostic du réseau piézométrique dans le bassin du Fleuve Sénégal (Kane, 2008).

Dans cette phase, le Consultant a eu à consulter des documents de référence et outils régulièrement exploités dans le cadre d'études similaires ou relatifs à des aquifères transfrontaliers, notamment :

- Les rapports d'études de la Mise en place de la coopération transfrontière pour une gestion durable et résiliente du bassin aquifère sénégal-mauritanien (BASM), partagé par la Gambie, la Guinée-Bissau, la Mauritanie et le Sénégal
- Les documents sur l'Etat des lieux de l'évaluation des connaissances des eaux souterraines au Sahel, dans le cadre de l'initiative de la Banque Mondiale « Sahel Groundwater Initiative » (P175105) qui comprend 6 pays du Sahel (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad).

### 1.4.2 Compléments de données/informations dans les pays riverains

Pour compléter cette phase, des investigations plus approfondies ont été menées auprès de quelques structures sélectionnées des 4 pays membres de l'OMVS. Il s'agit de complément d'informations et de données disponibles dans les structures nationales ciblées. Dans ce cadre, en coordination avec l'équipe du Projet de l'OMVS, des contacts ont été établis avec des institutions ou des personnes-ressource potentiellement détentrices de données, et des visites effectuées. C'est ainsi que des compléments d'informations ont été obtenus au niveau des structures centrales impliquées dans la gestion des ressources en eau, ce qui a permis de compléter la partie relative à l'état de référence de la gestion des ressources en eaux souterraines au niveau des quatre pays riverains. Les différentes structures visitées pour communiquer sur les objectifs de l'étude et solliciter des compléments d'informations ou de données sont indiquées ci-dessous (Tableau 1) :

Tableau 1: Récapitulatif des structures visitées / contactées

Pays	Structures visitées / contactées	Dates
<b>Guinée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cellule Nationale OMVS (CN/OMVS),</li> <li>▪ Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH),</li> <li>▪ Service national des points d'eau de Guinée (SNAPE),</li> <li>▪ Office National des GéoServices</li> </ul>	Mission du 16 au 19 janvier 2022
<b>Mali</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH)</li> </ul>	Contacts téléphonique et par courriels
<b>Mauritanie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cellule Nationale OMVS (CN/OMVS),</li> <li>▪ Centre National des Ressources en Eau (CNRE),</li> <li>▪ Parc national du Diawling</li> </ul>	Mission du 23 au 26 janvier 2022
<b>Sénégal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE)</li> </ul>	Visite le 20 janvier 2022

## 2 CONTEXTE GENERAL DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

### 2.1 CONTEXTE CLIMATIQUE

Le bassin du Fleuve Sénégal est réparti, du sud au nord, sur trois domaines climatiques dont la répartition correspond à un gradient pluviométrique sud-nord très marqué. Le régime climatique est caractérisé par la circulation successive des Alizés et de la Mousson, se traduisant par l'alternance de deux grandes saisons liées au déplacement de la Zone Inter Tropicale de Convergence (ZITC). Il faut rappeler que les alizés peuvent être maritimes ou continentaux (harmattan). Ce dernier a des impacts très marqués sur le climat : chaleur, assèchement, évaporation, etc.

Il existe cependant un gradient ouest-est particulièrement prononcé à proximité de l'océan où la présence de masses d'air froid peut, par moment, favoriser des précipitations pluvieuses hors saison.

Le bassin du Sénégal traverse trois domaines climatiques (Figure 1) :

- Le domaine guinéen situé dans le haut bassin entre le Fouta Djallon et Dakka Saïdou est la partie la plus pluvieuse du bassin avec une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 1500 mm/an et une saison pluvieuse de huit mois.
- Le domaine soudanien qui se subdivise en sud soudanien et nord soudanien est moyennement pluvieux. Dans ce domaine, la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 1500 et 500 mm/an ; la durée de la saison pluvieuse varie de huit à six mois du sud au nord du domaine.
- Le domaine sahélien occupe près de 50% de la superficie du bassin depuis le nord de Bakel jusqu'à l'embouchure à Saint-Louis. Avec une pluviométrie généralement inférieure à 500 mm/an, il s'agit d'un domaine sec où l'humidité est très faible et la saison pluvieuse réduite à trois mois. Au cours de la grande sécheresse des années 1970, la faible pluviométrie qui y était enregistrée, parfois inférieure à 200 mm/an.

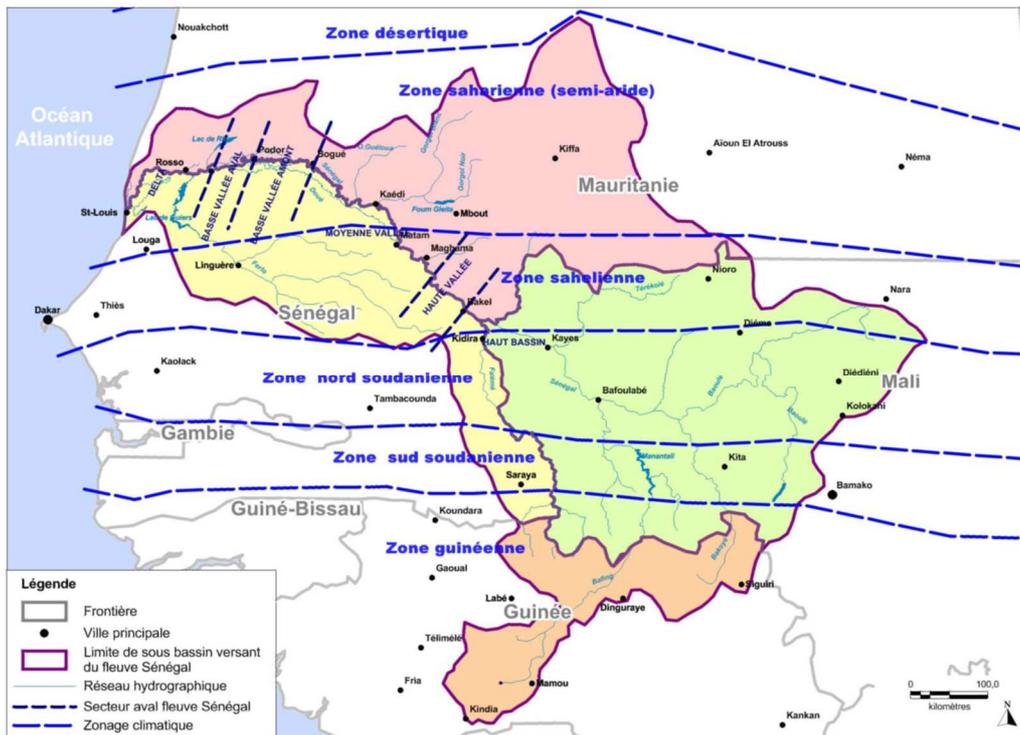


Figure 1: Carte des grandes zones climatiques du bassin du fleuve Sénégal (OMVS)

## 2.2 CONTEXTE HYDROLOGIQUE

### 2.2.1 Le Bassin du Fleuve Sénégal

La superficie de son bassin est estimée à un peu plus 300.000 km<sup>2</sup>, les limites réelles obtenues avec le Modèle Numérique de Terrain (Figure 2), donnent une valeur plus importante estimée à **557 789 km<sup>2</sup>**. Le bassin est partagé entre la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal, avec une répartition comme suit :

Segment du Bassin	Superficie en Km2	Pourcentage occupé
<b>Bassin du fleuve Sénégal</b>	557 788,88	100,0%
<b>Mauritanie</b>	270 971,26	48,6%
<b>Mali</b>	178 255,18	32,0%
<b>Sénégal</b>	76 650,14	13,7%
<b>Guinée</b>	31 488,94	5,6%

Le fleuve Sénégal fait un parcours long de 1790 km ; il est composé de trois parties distinctes : le haut bassin, qui est montagneux, la vallée (elle-même divisée en haute, moyenne et basse) et le delta, qui renferme de nombreux sites de diversité biologique et des zones humides. En termes d'environnement hydrogéologique, le bassin supérieur correspond au domaine des aquifères de socle, tandis que la vallée, ainsi que le delta, à celui des aquifères de type sédimentaire (Diene, 2015).

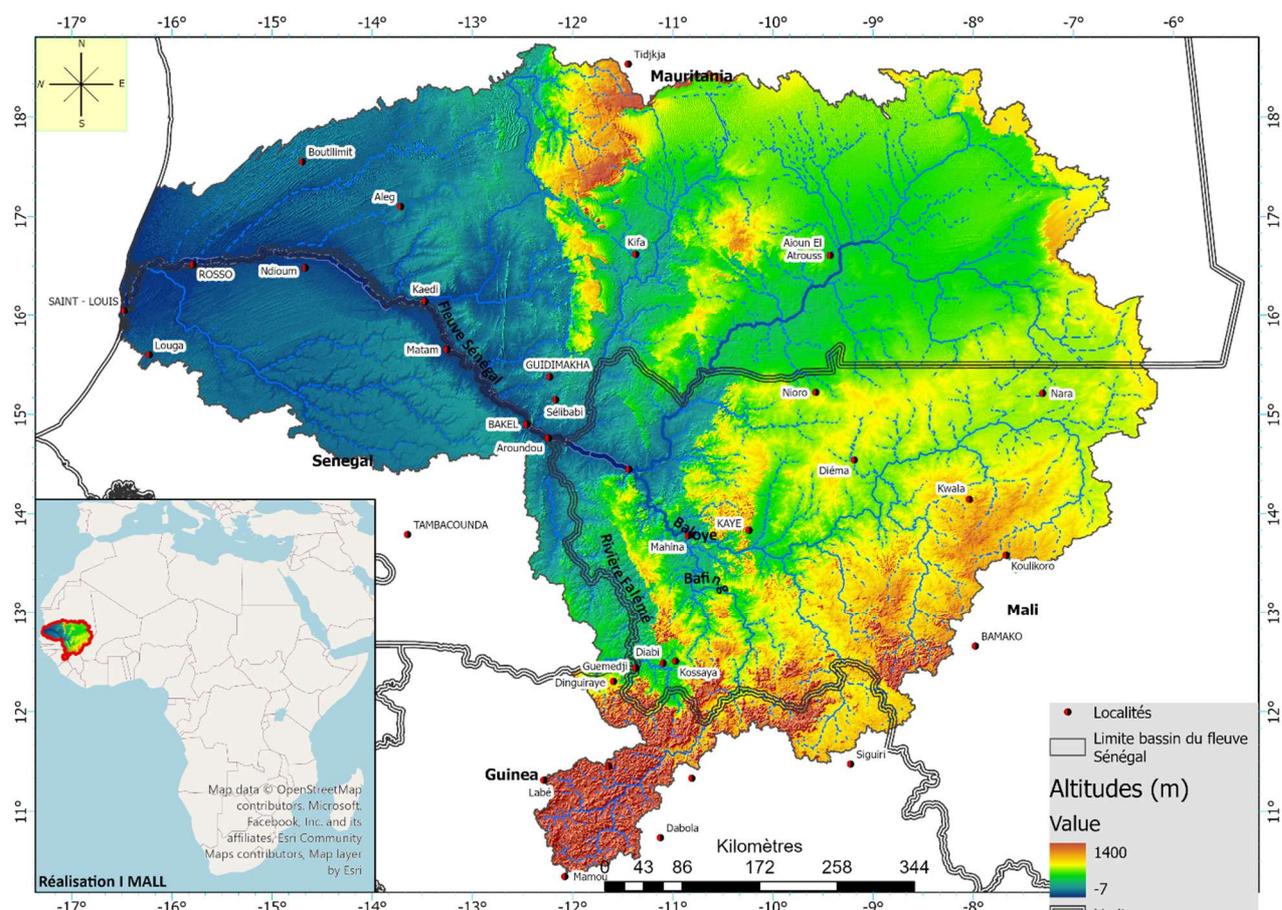


Figure 2: Bassin du Fleuve Sénégal

Le fleuve prend sa source dans le massif du Fouta-Djalon en République de Guinée, avec son affluent principal le Bafing qui traverse tout le massif guinéen du Fouta en direction du nord. Après avoir franchi plusieurs séries de rapides, il s'écoule ensuite au Mali sur le plateau Mandingue à l'ouest de Bamako. A Bafoulabe, le Bafing conflue avec le Bakoye qui prend sa source dans les monts granitiques Ménien (Guinée) en rive droite. A 50 km en amont de la ville de Bakel, le fleuve Sénégal reçoit sur sa rive gauche la Falémé, un affluent qui provient de la partie nord du Fouta-Djalon (Guinée).

La vallée du Fleuve à l'aval de Bakel est organisée en affluents, défluent et cuvettes d'inondation. Les affluents majeurs sont rares et l'on trouve essentiellement des affluents issus de petits bassins versants, dont les apports sont faibles en termes de volumes annuels. Les petits défluent sont le plus souvent temporaires et se mettent en eau lors de la montée des crues. Lors des fortes crues, ils créent un écoulement parallèle au bras principal du fleuve Sénégal, en revanche lorsque les crues sont plus faibles, ils ont un écoulement alternativement dans deux directions : du fleuve vers les zones d'inondation lors de la montée de crue, des zones d'inondation vers le fleuve lors de la décrue. Ces défluent sont pour l'essentiel d'anciens bras ou axes d'écoulement du fleuve qui se sont retrouvés isolés par des dépôts de sédiments.

### 2.2.2 Le régime hydrologique du Fleuve Sénégal

La majeure partie de l'écoulement du Sénégal provient de son bassin amont drainé par le Bafing (entre 40 et 60% des apports), le Bakoye et la Falémé qui prennent leur source dans le massif bien arrosé du Fouta Djallon (2000 mm/an). A partir de Bakel situé à 794 km de l'embouchure, le fleuve qui ne reçoit plus que des apports sporadiques s'écoule dans une vallée très plate (pente moyenne de ligne d'eau

en étiage : 0,001 %), où la crue amortie peut inonder le lit majeur sur plusieurs centaines de milliers d'hectares.

La station hydrométrique de Bakel est considérée comme la station de référence du fleuve Sénégal car étant située à la limite entre le haut bassin et la vallée. Elle contrôle ainsi l'ensemble des apports à la basse vallée sur une superficie de 218.000 km<sup>2</sup>. Le débit moyen interannuel à Bakel, sur la période 1950-2014, s'élève à 600 m<sup>3</sup>/s. L'écoulement est caractérisé par une importante irrégularité interannuelle (Figure 3). En effet depuis les années 1970, les pays ouest africains ont été sévèrement frappé par la sécheresse ; celle-ci a entraîné une baisse de 23,4% des pluies (Bodian, 2014). Cependant, cette dernière décennie est caractérisée par un retour à des conditions beaucoup plus humides et par une variabilité interannuelle plus forte des précipitations (Figure 3).

Afin d'atténuer cette irrégularité, l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) a construit le barrage anti-sel de Diama sur le fleuve Sénégal et le barrage de Manantali sur le Bafing afin de sécuriser les ressources en eau des principales secteurs d'activités (irrigation, énergie hydroélectrique, navigation).

Avant la construction du barrage de Diama, le niveau du fleuve variait entre 0 et 300 cm (cote IGN) à Rosso à 120 km de l'embouchure (Mohamed, 2012) ; depuis la construction de Diama, le niveau est maintenu à une cote supérieure à 200 cm (IGN) entre Rosso et Diama (Figure 4). Cette stabilité du niveau des eaux de surface est souvent en position plus haute que la nappe en toutes saisons ; ce qui suppose une recharge continue de la nappe par l'infiltration latérale des eaux du fleuve, qui a été confirmée par différents auteurs (Mohamed, 2012 ; Diaw, 2008).

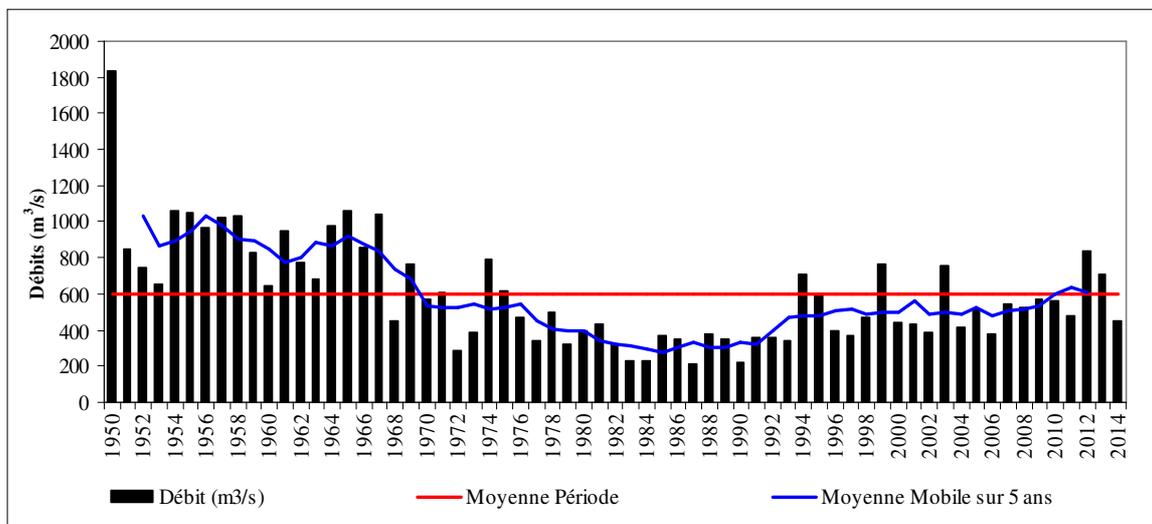


Figure 3 : Variation des débits annuels du fleuve Sénégal à la station de Bakel sur la période 1950-2014 (DH, 2020)

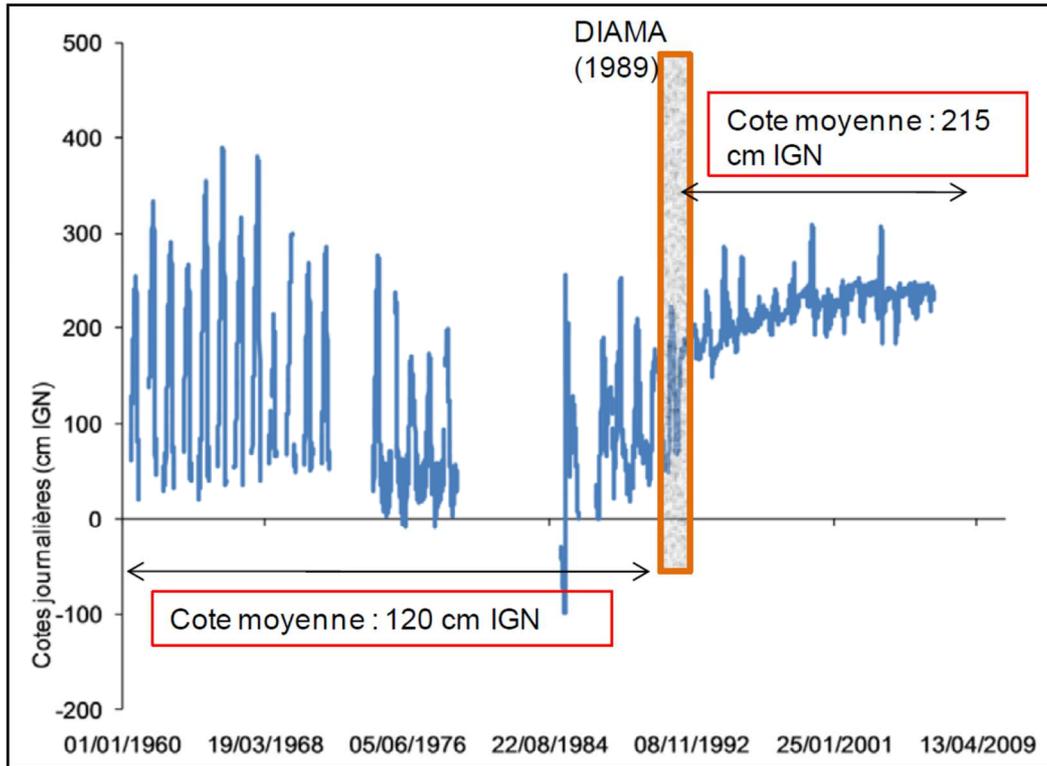


Figure 4 : Evolution du niveau du fleuve Sénégal à Rosso avant et après la construction du barrage de Diama (in Mohamed, 2012)

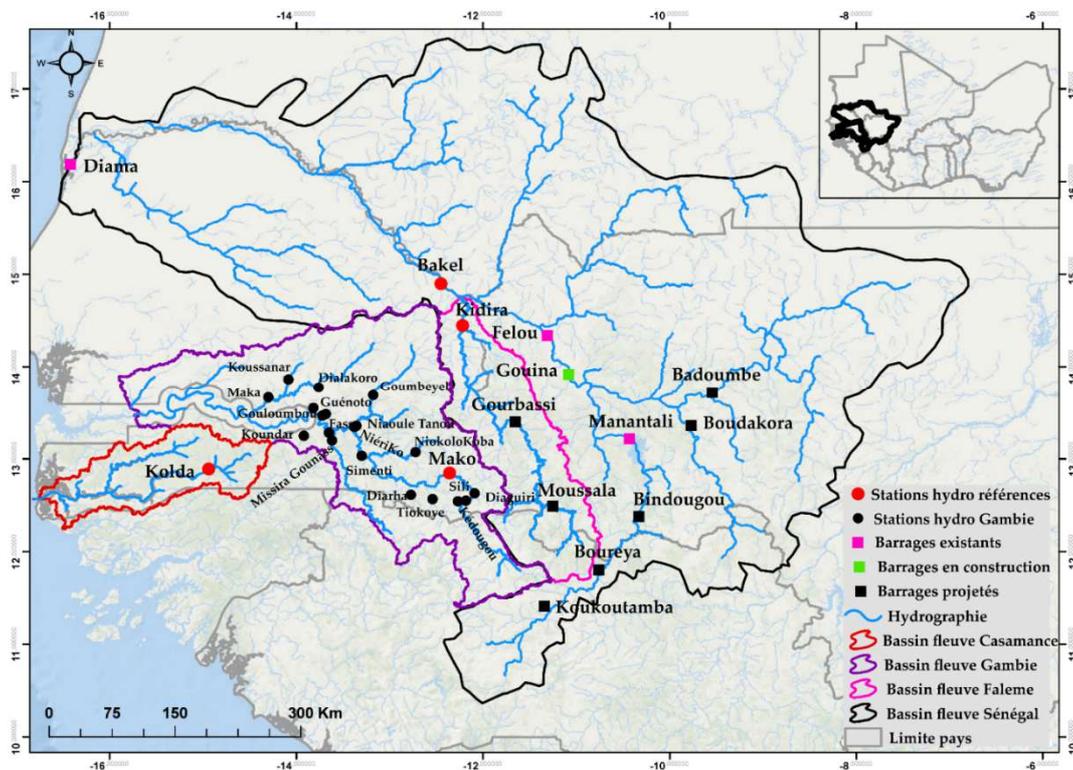


Figure 5 : Bassins hydrographiques de la sous-région avec les principaux ouvrages dans le bassin du fleuve Sénégal (DH, 2020)

## 2.3 LES INFRASTRUCTURES COMMUNES DANS LE BASSIN DU FLEUVE

L'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) a développé un Programme d'infrastructures régionales comprenant, notamment plusieurs projets (Figure 5) qui vont contribuer au rehaussement du plan d'eau, soit par la régularisation du régime du fleuve et de ses affluents, soit par la mise en place d'un réservoir. En définitive, le relèvement des plans d'eau peut impacter positivement les aquifères superficiels sous-jacents en créant des conditions de recharge continue.

### 2.3.1 Barrage de Diama

Implanté tout près de l'embouchure du fleuve, ce barrage mis en service en 1986 a pour but d'empêcher la remontée des eaux salées pendant l'étiage. Associé à un endiguement du fleuve, il permet en outre de maintenir le plan d'eau amont à plus de 2 mètres au-dessus du niveau de la mer, hors période de crue. Ceci favorise le développement d'une agriculture par irrigation gravitaire dans le delta, et la disponibilité permanente d'eau douce pour l'alimentation des lacs de R'kiz et de Guiers et de maintenir un tirant d'eau satisfaisant pour la navigation. L'eau stockée, douce en permanence, permet l'irrigation des périmètres en rives gauche et droite et l'alimentation humaine et animale.

L'exploitation et la maintenance du barrage (manœuvre des vannes, entretien et inspections périodiques) est confiée à la Société de Gestion et d'Exploitation de Diama (SOGED).

### 2.3.2 Barrage de Manantali

Cet ouvrage mis en service en 1987 crée sur la rivière Bafing un réservoir de 12 km<sup>3</sup> et une chute d'environ 50 mètres. Il est constitué d'un barrage à contreforts avec des ailes en terre. Ses objectifs sont les suivants :

- la production d'énergie électrique,
- le soutien des débits d'étiage. Le but est à la fois d'allonger la période de navigabilité du fleuve et de fournir les débits nécessaires aux cultures irriguées de la vallée,
- le laminage des fortes crues, pour la protection des populations et des infrastructures.
- et le soutien des débits de crue, le but étant de réaliser une inondation suffisante du lit majeur dans la vallée pour sécuriser les activités traditionnelles de cultures de décrue, de pêche et d'élevage, ainsi que pour le maintien de l'équilibre écologique.

L'exploitation du barrage est placée sous la responsabilité de la Société de Gestion de l'Energie de Manantali (SOGEM).

### 2.3.3 Barrage de Félou

Le barrage hydroélectrique de Félou sur le cours d'eau au Mali, est un ouvrage au fil de l'eau. D'une capacité installée de 70 MW pour une production annuelle de 335 GWh, il est entré en production en 2013.

### 2.3.4 Barrage de Gouina

Le barrage hydroélectrique de Gouina sur le fleuve Sénégal au Mali, à 80 km en amont de Kayes. Il dispose d'une capacité installée de 140 MW pour une production annuelle de 570 à 620 GWh/an. C'est un ouvrage au fil de l'eau avec les caractéristiques suivantes : 75 mètres de cote de retenue normale, 1230 mètres de longueur, 23,5 mètres environ de chute. Sa construction est achevée et la production d'énergie a démarré récemment.

### 2.3.5 Les projets d'ouvrages

#### **Projet Koukoutamba**

Le site du projet est situé sur le Bafing, en Guinée. Avec une puissance installée de 294 MW, l'ouvrage hydroélectrique de Koukoutamba sera le quatrième et plus grand aménagement hydroélectrique réalisé par l'OMVS, après ceux de Manantali (2002), de Félou (2013), et Gouina. L'aménagement comprendra le barrage, deux lignes HT de transport de 225 KV et une route d'accès de 150 kilomètres.

#### **Projet à buts multiples de Gourbassi**

C'est un barrage stratégique pour l'OMVS, situé entre le Mali et le Sénégal. Il sera construit sur la Falémé et permettra d'installer une puissance de 18 MW. Cet ouvrage aidera surtout à une meilleure régularisation des débits du fleuve Sénégal, au profit des activités liées à l'agriculture, la navigation, la fourniture d'eau potable, la pêche et la préservation des écosystèmes du bassin.

#### **Le barrage de Boureya**

Le projet de Boureya fait partie des projets d'infrastructures du programme inclusif de l'OMVS, tout comme le projet de ligne d'interconnexion entre la Guinée, le Mali, La Mauritanie et le Sénégal. Les caractéristiques principales de l'ouvrage fixées en phase de faisabilité sont les suivantes :

- Productible moyen annuel : 717,4GWh/an
- Productible garanti : 455GWh/an
- Capacité totale à RN : 4 900 hm<sup>3</sup>
- Côte de retenue normale (RN): 381 m
- Puissance installée : 161 MW
- Débit d'équipement : 410 m<sup>3</sup>/s.

Par ailleurs d'autres ouvrages sont en études ou en projets avec des degrés variés d'avancement. Il s'agit des projets de barrages comme ceux de Balassa et Moussala en Guinée, Bindougou, Boudafora, et Badoumbé au Mali (Figure 5).

## 3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DES PAYS DE L'OMVS

---

### 3.1 HYDROGEOLOGIE DE LA GUINEE

La Guinée présente un contexte hydrogéologique assez complexe, avec très peu de documentations ou d'études sur les aquifères. Dans ce rapport les principaux éléments d'information proviennent essentiellement de :

- Diallo (2014) : Aperçu hydrogéologique de la Guinée
- Upton et al. (2016) : Africa Groundwater Atlas, hydrogeology of Guinea
- Ainsi que d'autres documents d'anonymes.

#### 3.1.1 Contexte géologique de la Guinée

Le contexte géologique en Guinée est marqué par la présence de formations principalement de nature cristalline ou méta-sédimentaire :

- roches archéennes en Guinée Forestière, dans les parties centrale et méridionale de la Haute Guinée et au Sud-Est de la Basse Guinée ;
- roches birrimiennes dans la partie Nord-orientale de la Haute-Guinée, dans les parties Nord-Ouest et Sud-Ouest du Fouta Djallon ;

- roches protérozoïques supérieures dans les parties méridionale, centrale et septentrionale du Fouta-Djallon ;
- roches paléozoïques en Basse-Guinée et dans la partie occidentale du Fouta-Djallon.

Ces roches sont toutes traversées par des intrusions magmatiques dont les plus remarquables en surface sont les dolérites. L'Archéen couvre les régions de Dubréka, Forécariah, Siéroumba, Dabola et de la Guinée Forestière depuis Kérouané jusqu'à Lola. Il se compose de quartzites ferrugineux, d'amphibolites, de gneiss, de migmatites et d'anatexites des séries de Dabola, de Cambui, de Kassila et de Simandou. Les trois derniers groupes de roches se distinguent difficilement des roches magmatiques acides comme les granites, les grano-diorites, les syénites, diorites et pegmatites. Les roches archéennes constituent une province à dominante granito-gneissique ou migmatitique.

Le Birrimien est observable dans la région des Bassaris, au Nord-Ouest de Siéroumba, au Sud-Ouest du Fouta Djallon et dans le bassin de Kankan-Siguiri où l'extension est considérable. Les roches birrimiennes sont les schistes, les schistes arkosiques, les micaschistes et les grauwackes des séries des Bassaris, de Marampa et du bassin du Haut-Niger guinéen. Elles composent une province à dominante schisto-gréseuse ou volcano-sédimentaire.

Le Protérozoïde supérieur englobe des formations gréseuses sub-horizontales des séries de Ségou-Madina-Kouta de Mali et de Youkounkoun affleurant depuis les frontières sénégalaise et malienne au Nord jusque dans les préfectures de Gaoual et de Labé au Sud.

L'épaisseur totale de ces formations reposant en discordance sur les Bassaris (Birrimien) est d'environ 7 700m. La puissance totale des séries protérozoïques atteint 8 600m au Nord et 4 800m au Sud du Fouta-Djallon. Le Protérozoïque supérieur correspond à une province à dominante de schistes, de grès anciens calcaro-dolomitiques.

Le Paléozoïque concerne environ 2 000m de couches de grès et d'argilites sub-horizontales des séries ordovicienne azoïque de Pita, silurienne à graptolites de Téliélé, dévonienne à brachiopodes de Faro. Les affleurements des roches paléozoïques vont du Fouta-Ouest à la frontière Bissau-Guinéenne en passant par la Basse-Guinée.

Le Mésozoïque regroupe la dunité qui s'étend de la presqu'île de Kaloum au pied du Kakoulima (sous forme de dyke), la dolérite et la kimberlite de la Forêt. La dolérite est disséminée dans tout le pays, mais elle est particulièrement présente et même abondante au Fouta-Djallon. Ces roches se présentent sous forme de sills d'épaisseur variable, de dykes, de batholites kilométriques ou de laccolithes. Les épanchements doléritiques sont cependant plus nombreux en zone de schiste.

Le Quaternaire regroupe les alluvions des fleuves (NIGER, FORECARIAH,...) de moins de 10m d'épaisseur, et de la zone littorale pouvant atteindre 90m d'épaisseur. Les formations quaternaires sont composées de limons sableux et argileux, de sables, de cailloux, de graviers et d'argiles.

### 3.1.2 Les aquifères de la Guinée

Le territoire guinéen recèle de fortes potentialités hydrogéologiques dont la tendance varie en fonction du profil topographique et de la nature lithologique des gisements d'eaux souterraines. On distingue trois grands ensembles :

- Le Bassin sédimentaire côtier guinéen (Bassin de Bowé) est limité au Nord par le Badiar, à l'Est par le méridien 12°, au Sud-Ouest par le MOREAH (à l'aplomb des formations archéennes) et se poursuit jusqu'au-delà de Boffa à l'Ouest et de la Guinée-Bissau au Nord-Ouest. Il renferme des dépôts sédimentaires paléozoïques affectés d'innombrables intrusions doléritiques, de dépôts meubles tertiaires (paléogènes) et quaternaires.

- Le bassin sédimentaire intérieur s'étend sur Mali, Labé, Youkounkoun et au niveau du cours supérieur de Koulouma jusqu'au-delà des frontières sénégalaise et malienne. Il est constitué de puissantes formations sédimentaires subhorizontales, peu ou pas métamorphisées qui reposent en discordance sur les ensembles birrimiens. Ces formations sont partiellement déformées par la phase tectonique panafricaine. Le socle schisteux des Bassaris partage ce bassin en deux entités distinctes correspondant en une partie occidentale et une partie orientale.
- L'ensemble des formations du Précambrien (socle) en général affectées par les phénomènes d'orogénie suivante :
  - l'orogénèse Libérienne à l'Archéen (2 700-2 400 M.A), dont les formations ont subi un métamorphisme granulitique de faible ou basse pression ;
  - l'orogénèse Eburnéenne au Protérozoïque inférieur (2 400-600 M.A) dont les formations birrimiennes ont subi un métamorphisme essentiellement épizonal de basse pression ou au plus mésozonal) ;
  - les orogénèses Kibarienne (1 600-900 M.A.) et Panafricaine (900-450 M.A.) au Protérozoïque supérieur voire au Paléozoïque inférieur.

Toutes les formations décrites plus haut sont en général le siège d'une altération superficielle dont la profondeur varie régionalement de :

- 20 m pour les granito-gneiss de la Basse-Guinée ;
- 30 m pour les granito-gneiss de la Guinée Forestière ;
- 30 m pour les granites de la Haute-Guinée ;
- 35 m ou plus pour les schistes birrimiens de la Haute-Guinée.

Les phases tectoniques consécutives aux cycles orogéniques ayant affecté les formations du socle guinéen les ont structurées suivant des directions NS à NE-SW. Ces directions caractérisent l'orientation des plans de schistosité ou de foliation, ou parfois des plis ou des contacts anormaux. Cette superposition de plusieurs phases tectoniques se traduit par l'existence d'une intense fracturation. La plupart des affleurements présentent de nombreuses micro-fractures. Ce sont des phénomènes favorables à la présence d'eaux souterraines.

De manière générale donc, les formations du socle guinéen sont constituées de roches indurées cohérentes, donc peu propices à l'accumulation d'eau lorsqu'elles ne sont pas rendues meubles par l'altération superficielle. Dans la roche saine l'eau circule et est emmagasinée dans les fissures et dans les failles. Ces formations comportent par conséquent deux types d'aquifères, l'un généralisé (continu) et lié l'altération (porosité <10%) l'autre discontinu lié à la fissuration (porosité < 5%). Les deux types d'aquifères sont fréquemment superposés donc interdépendants suivant un modèle simplifié : le stockage des eaux souterraines est assuré par les altérites (effet capacitif) et le drainage se fait par les fractures (effet conducteur).

Les débits les plus appréciables s'obtiennent sous 30 à 60m d'altération dans les schistes birrimiens. Les fractures se referment et les forages échouent au-delà de 70m d'altération (limite de décompression des roches). L'eau est généralement en charge et son niveau se trouve dans les altérites. Les ressources hydrauliques du socle sont exploitées par des forages implantés sur des fractures croisées jugées ouvertes et bien alimentées. Ces fractures sont repérées essentiellement par photographies aériennes avec ou sans appoint de télédétection ou de géophysique.

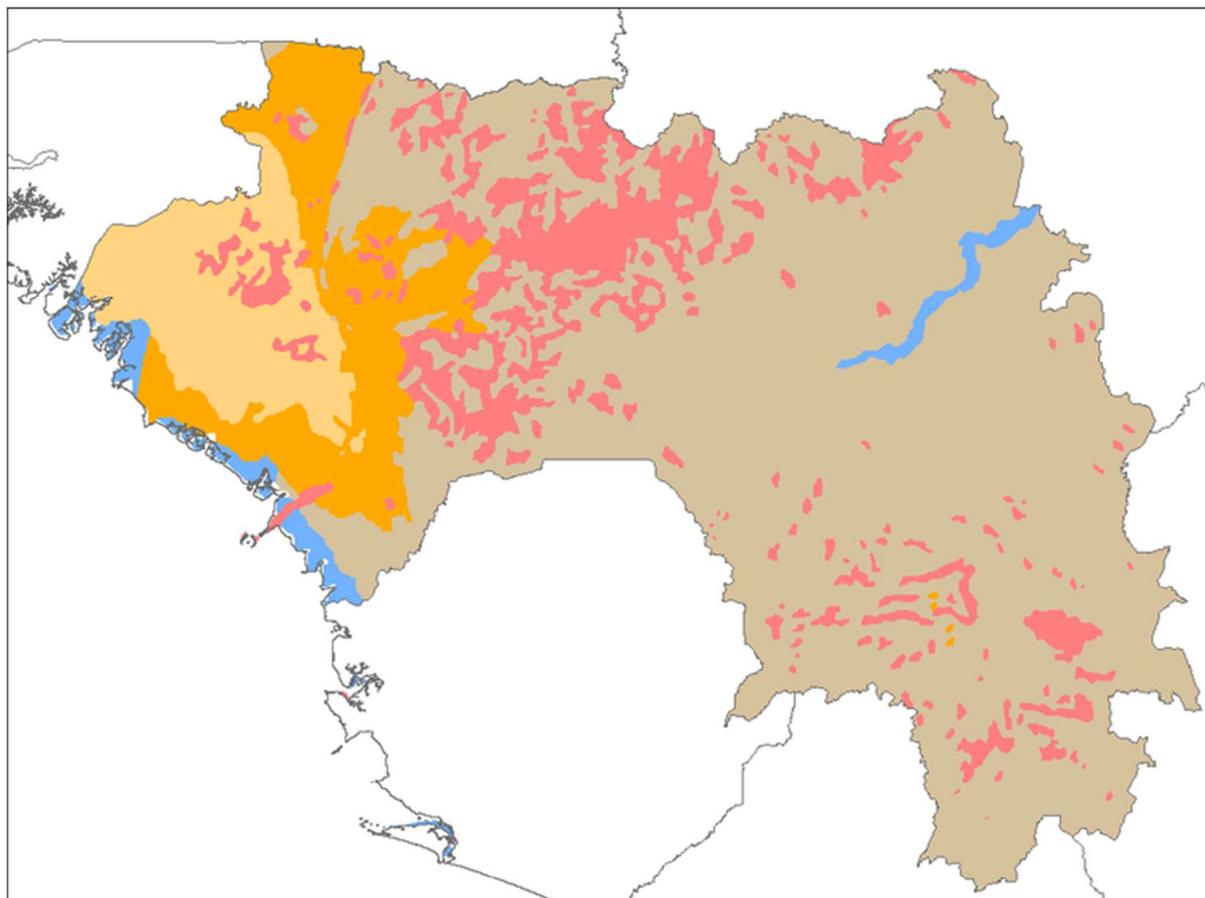
On distingue deux principaux domaines hydrogéologiques dans le socle guinéen :

- **Un domaine granito-gneissique ou migmatitique** caractérisé par une épaisseur **d'altération** relativement faible (dépassant rarement 20m en Basse-Guinée, 30m en Haute Guinée et en Guinée-Forestière) et renfermant des aquifères locaux de faible débit. Les roches étant imperméables les potentialités hydrauliques sont localisées dans les zones de forte densité de fissures et de failles ouvertes. Les ouvrages réalisés dans ce domaine ont une profondeur moyenne de 50 m et une productivité comprise entre 3 et 10 m<sup>3</sup>/h. Exceptionnellement des forages d'AEP réalisés dans les granito-gneiss de Mamou et Kissidougou et dans les gneiss de Coyah et Forécariah ont fourni respectivement 90 et 100 m<sup>3</sup>/h. Les eaux présentent une acidité et une minéralisation relativement faibles ; celles de la Basse-Guinée recèlent des teneurs élevées en fer.
- **Un domaine volcano-sédimentaire ou schisto-gréseux** caractérisé par une épaisseur d'altération importante pouvant dépasser 40m en Haute-Guinée et rarement 20m en Basse-Guinée et renfermant des aquifères à débits moyens jusqu'à faibles. Les ouvrages de captage dans cette zone ont une profondeur moyenne de 50m et une productivité de 6 m<sup>3</sup>/h. Quelques forages d'AEP ont des débits d'exploitation de 60 m<sup>3</sup>/h.

Cependant on peut noter que les aquifères sont à dominante de type fracturé avec des formations principalement cristallines ou cristallophylliennes (Figure 6), les formations sédimentaires de type consolidé sont retrouvées le long de la façade maritime ou dans la vallée du fleuve Niger.

En ce qui concerne la qualité des eaux souterraines, les données des ouvrages ne sont renseignées que lors de la réception de l'ouvrage. Il n'existe aucun dispositif de suivi de la ressource en eau d'un point de vue quantitatif et qualitatif. En fait, les données qualitatives sont rares, éparses et de fiabilité approximative.

D'une manière générale, la mauvaise qualité de l'eau (PNAEPA, 2008) est due essentiellement à la forte concentration en fer et à la salinité notée sur quelques points d'eau. Les résultats obtenus pour l'arsenic ne sont pas alarmants, sur un total de 100 points d'eau analysés, seuls 3 échantillons d'eau ont une valeur qui dépasse la norme admissible (10 µg/l).



### Aquifer Type and Productivity

- Unconsolidated sedimentary - Variable (Low to High)
- Igneous - unknown aquifer properties
- Sedimentary Fracture - probably Low to Moderate
- Sedimentary Fracture - Moderate to High; Sedimentary Fracture - possibly Moderate to High
- Basement - Low to Moderate

Figure 6 : La nature des aquifères et leur productivité relative (Upton et al., 2016)

## 3.2 HYDROGEOLOGIE DU MALI

### 3.2.1 Contexte géologique du Mali

Le Mali occupe la majeure partie du vaste bassin sédimentaire de Taoudenni qui représente une des structures majeures de la géologie de l'Afrique de l'Ouest. Du point de vue lithostratigraphique on rencontre au Mali neuf grandes subdivisions géologiques (PAGIRE, 2007) :

- Le socle Birrimien (Précambrien) qui est affleurant au sud, sud – ouest et ouest du pays et constitue également la zone axiale de l'Adrar des Iforas. Par ailleurs, il est rencontré à l'extrême nord du Mali, marquant la limite septentrionale du bassin de Taoudeni. Les formations sont soit volcano – sédimentaires soit granitiques intrusifs.
- L'Infracambrien (Précambrien) qui est affleurant principalement dans la moitié sud du Mali, il présente des faciès essentiellement gréseux et schisteux.

- Le Cambrien qui affleure au nord – ouest du Mali le long de la frontière mauritanienne. Il est représenté par les tillites, calcaires et jaspes à la base surmontés par des pélites de grande puissance. La partie supérieure de la série est probablement d’âge Ordovicien.
- Le Primaire de Taoudenni affleure à l’extrémité nord du pays, il est constitué de trois étages géologiques :
  - le Cambro – Silurien essentiellement pélitique et devenant gréseux dans sa partie supérieure ;
  - le Dévonien constitué de calcaire, de marnes et d’argile avec des niveaux de gypse ;
  - le carbonifère d’origine marine, constitué de calcaires, d’argiles avec des niveaux gréseux et de horizons gypsifères.
- Les intrusions doléritiques qui se sont mises en place à différentes époques, principalement au Permien et au Trias. Elles sont notées un peu partout dans les séries gréseuses et pélitiques et regroupent une grande variété de roches volcaniques se rattachant à l’association calco - alcaline, constituée notamment de gabbros et de basaltes.
- Le continental intercalaire (Crétacé au Trias) constitué de grès quartzites et microconglomératiques surmontés de grès sableux et d’argiles dans le bassin de l’Azaouad nord. Dans le fossé de Nara on observe une alternance de sables, de grès et d’argiles bariolées avec des niveaux de graviers et de gaizes siliceux. En bordure nord – est de l’Adrar des Iforas, ce sont des grès et des conglomérats continentaux tandis que la bordure Sud –Est, est constituée de grès, grès arkosiques et d’argiles.
- Le Crétacé supérieur / Eocène inférieur : constitué de quatre étages qui sont le Sénonien– Maastrichtien (grès – argileux), le Paléocène inférieur (calcaire et sableux), le Paléocène terminal (calcaire et marno – sableux avec niveau de phosphates) et l’Eocène moyen (schisteux). On rencontre ces formations principalement au nord et dans le détroit soudanais.
- Le Continental terminal regroupant principalement les époques du Miocène et du Pliocène. Il est essentiellement sablo – gréseux et argileux, on l’observe dans la cuvette du delta intérieur du fleuve Niger, dans le bassin de l’Azaouad, dans le fossé de Gao et dans la plaine du Gondo.
- Les formations de recouvrement sont de types latéritiques, alluviaux, lacustres et dunaires et sont différemment développés sur le territoire du Mali en fonction des aires géographiques et climatiques.

### 3.2.2 Les aquifères du Mali

Au Mali, les systèmes aquifères ont été identifiés à partir des considérations géologiques, ils correspondent aux étages stratigraphiques représentés dans le pays. Cependant ils sont classés en trois grandes catégories (PAGIRE, 2007 ; Traoré et al., 2018 ; UN-Water, 2006) selon le mode de gisement des eaux souterraines (Figure 7) :

**Les aquifères généralisés**, sont essentiellement multicouches à porosité intergranulaire et à nappes continues, on les trouve surtout dans le centre et l’Ouest du pays (nord-est de Koulikoro, centre et nord de Ségou, centre et nord de Mopti, majeure parties de Tombouctou et Gao) à travers les bassins aquifères de Taoudeni et lullemeden partagés avec la Mauritanie, le Niger, le Nigéria, à moindre mesure avec l’Algérie (Figure 8). Ils sont associés aux formations détritiques peu ou non consolidées et d’origine essentiellement continentale qui se sont accumulées dans des bassins sédimentaires au Secondaire et au Tertiaire. Ils couvrent la majeure partie des régions sahéliennes et désertiques de l’est et nord du Mali pour une superficie totale de plus de 630 000 km<sup>2</sup> soit 51 % du territoire. Les aquifères généralisés sont caractérisés par des taux de réussite très élevés en forages productifs, voisins de 100%. Au niveau des aquifères généralisés, les débits moyens des forages sont de l’ordre de

7.7 m<sup>3</sup>/h avec plus de 20% des forages répertoriés dépassant les 20 m<sup>3</sup>/h. Les débits spécifiques sont généralement compris entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/h/m. Souvent de type multicouche et semi-libres ces aquifères ont des transmissivités fréquemment supérieures à 0.001 m<sup>2</sup>/s dans la partie supérieure, captée par les forages actuels.

***Les aquifères superficiels*** gisent dans des formations de recouvrement et d'altération du Quaternaire, d'extension variable et de porosité intergranulaire, ce sont des formations d'altération latéritiques à la surface des plateaux dans les alluvions et colluvions des plaines et des fonds de vallée ; ils surmontent en général es systèmes aquifères profonds. Dans les zones climatiques soudanienne et soudano sahélienne, ils sont semi-continus. Dans les zones à faible pluviométrie, les aquifères superficiels sont perchés et localisés dans les bas-fonds.

***Les aquifères fissurés*** sont caractérisés par des nappes semi-continues ou discontinues en fonction de la densité des réseaux de fracturation qui les affectent. Ils gisent dans les formations cristallines (socle) ou sédimentaires anciennes du Précambrien et du Primaire et occupent les régions sud (Sikasso), ouest (Kayes) , centre (Koulikoro excepté sa partie nord-est, Ségou dans sa partie sud, Mopti dans sa partie sud) et est du pays (zone sud de la région de Gao et la majeure partie de la région de Kidal dans les massifs de l'Adrar des Iforas). Ils occupent presque 49 % du pays et sont captés par des forages avec des taux de réussite très variables, entre 40 et plus de 80%. Les débits moyens des forages dans les aquifères fissurés sont de l'ordre de 5 à 6 m<sup>3</sup>/h avec des débits spécifiques moyens variant entre 0.4 et 2.1 m<sup>3</sup>/h/m. Les transmissivités sont variables à l'échelle régionale allant de 0.00001 à 0.0003 m<sup>2</sup>/s avec des valeurs moyennes de l'ordre de 0.00005 m<sup>2</sup>/s.

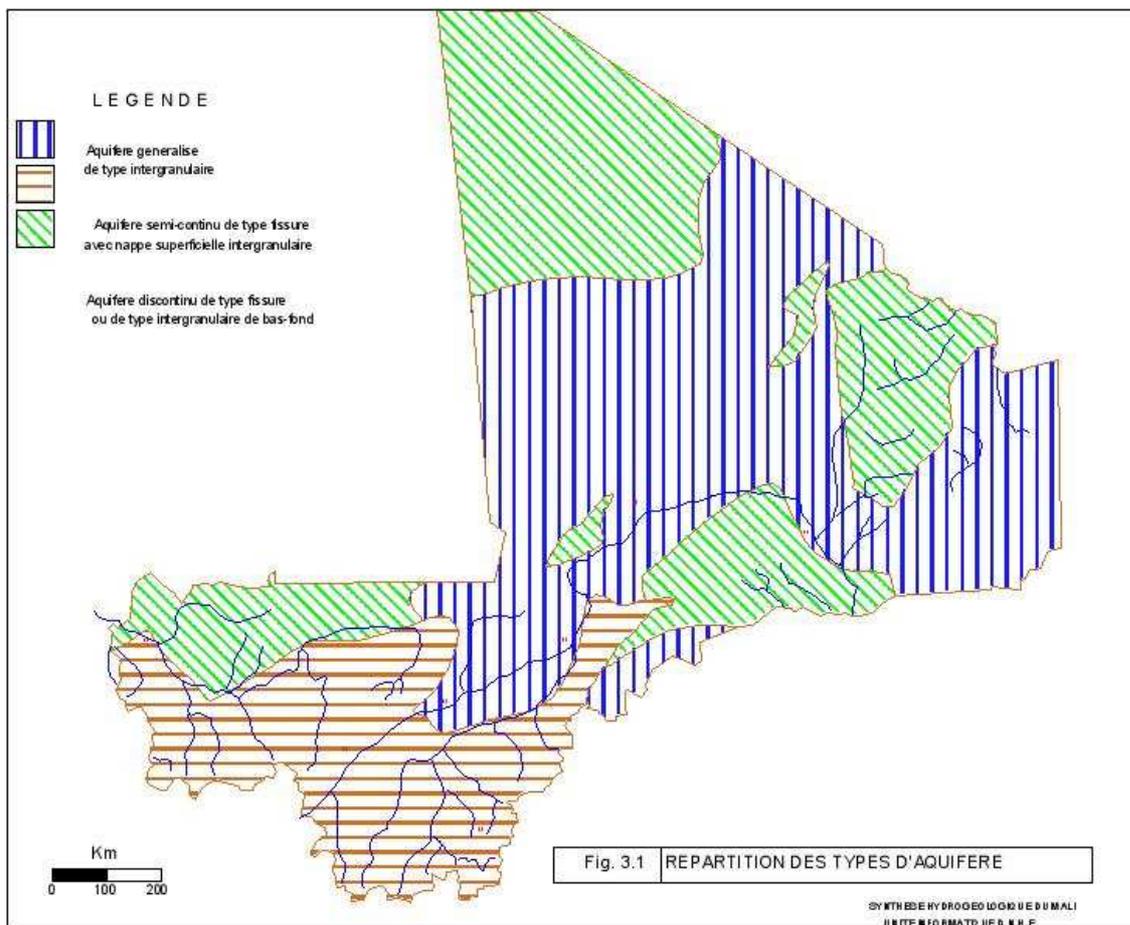


Figure 7 : Les types d'aquifères présents au Mali (source : DNH)

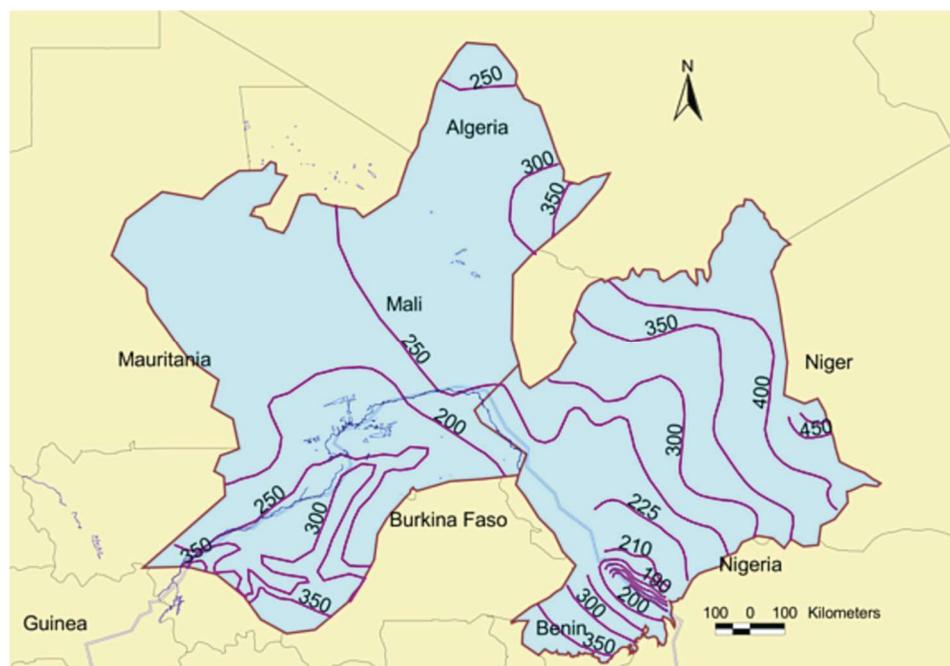


Figure 8 : Carte piézométrique des bassins de Taoudeni-Tanezrouft et Iullemeden (OSS 2017)

Le rapport de synthèse hydrogéologique du Mali produit par DNH ( ) donne les caractéristiques litho-stratigraphiques des différents aquifères du Mali (Tableau 2).

Tableau 2: Litho stratigraphie des formations aquifères (source DNH)

Type d'aquifère	Age géologique	Formations dominantes
<b>Aquifères généralisés</b>	Continental terminal et Quaternaire	Argiles, sables, argiles sableuses, latérites
<b>Aquifères généralisés</b>	Crétacé supérieur et Eocène inférieur	Calcaires, marnes
<b>Aquifères généralisés</b>	Continental terminal Continental et intercalaire	Sables, argiles, argiles sableuses
<b>Aquifères généralisés</b>	Continental et intercalaire	Sables, grès, conglomérats
<b>Aquifères fissurés</b>	Primaire Taoudenni	Calcaires, grès
<b>Aquifères fissurés</b>	Cambrien	Schistes, shales, calcaires, grès
<b>Aquifères fissurés</b>	Infracambrien tabulaire	Grès, grès schisteux, schistes
<b>Aquifères fissurés</b>	Infracambrien plissé métamorphique	Schistes, calcaires, quartzites
<b>Aquifères fissurés</b>	Socle	Granites, grauwackes, micaschistes, schistes
<b>Aquifères superficiels</b>	Quaternaire	Latérites, argiles, sables, graviers

En ce qui concerne la qualité des eaux souterraines, la zone ouest et sud du pays (régions de Kayes, Koulikoro, Sikasso et Ségou), qui est caractérisée par des formations aquifères fissurées ou des aquifères superficiels d'altérites, les nappes sont généralement peu minéralisées (UN-water, 2006) avec des résidus secs inférieurs 0,4 mg/l (conductivités électriques inférieures à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Dans la zone centre du pays (région de Mopti), les eaux souterraines, contenues dans les formations du Continental Intercalaire et du Continental Terminal (aquifères généralisés) sont en général relativement plus minéralisées à l'exception de la partie centrale du delta actif du fleuve Niger. Par contre dans la zone est et nord du pays (régions de Tombouctou, Gao et Kidal), les eaux souterraines provenant des aquifères généralisés sont souvent des eaux fossiles plus minéralisées que dans le reste du pays.

En effet, dans cette zone les conductivités électriques dépassent le plus souvent 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , voire localement 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et même atteignant 50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans les zones désertiques au nord d'Arouane et dans la cuvette de Taoudenni. Cependant au bord du fleuve Niger grâce à la bonne recharge et dans le sud de l'Azaouad, des eaux à minéralisation normale (300 à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) prédominent.

### 3.3 HYDROGEOLOGIE DE LA MAURITANIE

#### 3.3.1 Contexte géologique de la Mauritanie

La Mauritanie comprend cinq provinces géologiques : Le Dorsale Rgueibat, le Bassin de Taoudeni, le Bassin de Tindouf, la chaîne des Mauritanides et le Bassin sédimentaire côtier.

**La dorsale Réguibat** couvre le nord de la Mauritanie, elle est composée de roches métamorphiques et de granites archéens et Paléoprotérozoïques qui forment la bordure nord-ouest du craton Ouest-Africain. L'Archéen est constitué de roches métamorphiques et granitiques, les roches

métamorphiques sont constituées de quartzites ferrugineux, de micaschistes, de gneiss, et d'amphibolites. Le Protérozoïque Inférieur consiste en roches volcano-sédimentaires et en granites, et est posé en couches discordantes.

**Le Bassin de Taoudeni** est un bassin de grande échelle qui occupe 2/3 du craton Ouest-Africain. Il est localisé au sud-est de la dorsale Réguibat. Sa partie occidentale constitue plus de la moitié du territoire Mauritanien. Le bassin est composé de formations Protérozoïques Supérieures, de formations Cambro-Ordoviciennes, et de roches sédimentaires du Silurien au Carbonifère. Sa partie orientale est couverte de sédiments Mésozoïques à Cénozoïques.

Quelques parties du **Bassin de Tindouf** interceptent de petits secteurs près des frontières du Sahara Occidental ou de l'Algérie. Le bassin recouvre la Dorsale Réguibat, et se compose de dolomies du Protérozoïque Supérieur et de grès, de schistes et de calcaires de l'Ordovicien-Dévonien.

**La chaîne des Mauritanides** est caractérisée par des plis et des chevauchements formés par l'orogénèse Hercynienne du Paléozoïque, et se situe à la marge occidentale du craton Ouest-Africain. Elle s'étire sur plus que 2.500km, du Sénégal au Maroc en passant par la Mauritanie. Elle montre une direction NNW - SSE en Mauritanie et en atteint une largeur de 150 km. Elle est constituée par les roches sédimentaires, des roches éruptives et métamorphiques du Précambrien au Paléozoïque.

**Le Bassin Sédimentaire Côtier** est situé à l'ouest des Mauritanides. Il est constitué par des sédiments et des roches sédimentaires du Crétacé inférieur au Quaternaire.

### 3.3.2 Les aquifères de la Mauritanie et leurs caractéristiques

Les ressources en eau souterraines de la Mauritanie peuvent être réparties en unités hydrogéologiques, qui s'articulent suivant les provinces géologiques de l'ouest à l'est (CNRE, 2016). C'est ainsi qu'on distingue les principales unités hydrogéologiques (Figure 9) dont une description est donnée dans les lignes qui suivent.

#### **Les systèmes aquifères de la dorsale de Réguibat**

C'est un domaine constitué essentiellement de roches métamorphiques ou magmatiques dont le caractère hydrogéologique est marqué par la discontinuité des aquifères. Toutefois, l'altération superficielle et la fracturation peuvent donner naissance à des aquifères continus de surface. Ceux-ci revêtent parfois une certaine importance au niveau des oueds, où l'infiltration des eaux de crues permet leur recharge. Par exemple la région de F'Derik a fait l'objet de nombreuses recherches, la profondeur des forages réalisés à ce jour varie de 26 à 292 m avec des niveaux statiques qui sont compris entre 13 et 80 m, et les débits de 3 à 10 m<sup>3</sup>/h.

Plus au Nord, tous les sondages exécutés dans la zone ont trouvé de l'eau, le plus souvent saumâtres, à des profondeurs comprise entre 6 et 40 m.

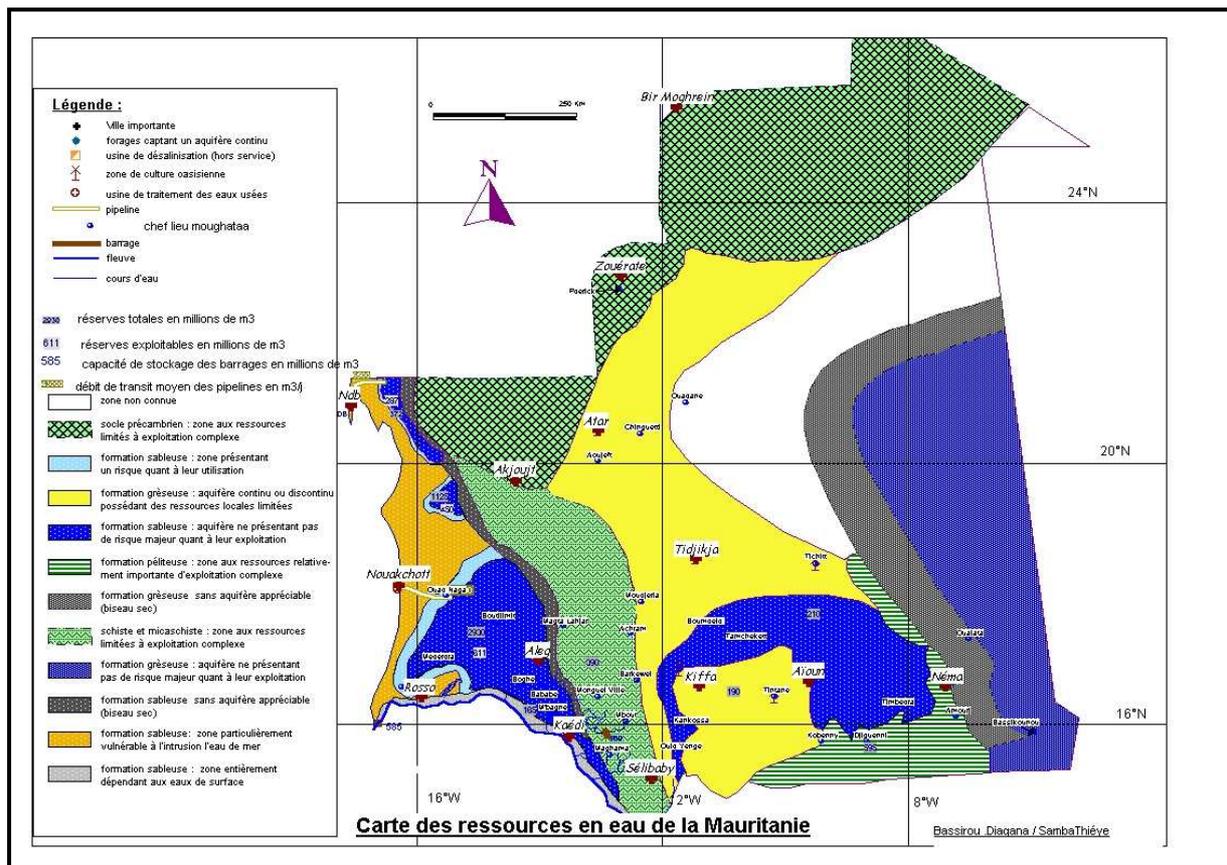


Figure 9 : Principales unités hydrogéologiques de la Mauritanie (source : CNRE)

### Les Systèmes aquifères du bassin sédimentaire de Taoudéni

Le bassin de Taoudéni s'étend en Mauritanie, au Mali et en Algérie, sur plus de 2 000 000 km<sup>2</sup>. Il regroupe deux grands ensembles de terrain (sédimentaires anciens et récents) qui contiennent des aquifères dont les appellations correspondent plutôt aux régions administratives en Mauritanie. Il s'agit des aquifères de l'Adrar, du Tagant, de l'Assaba et des sables de l'Aouker, des grès d'Aïoun, des pélites du Hodh, des grès du Dhar de Néma, et des fractures du Dhar de Néma.

Le Tableau 3 qui suit résume les principales caractéristiques de ces unités aquifères.

Tableau 3: Principales caractéristiques des aquifères du bassin sédimentaire de Taoudéni en Mauritanie

Aquifère	Formations	Profondeurs	Caractéristiques	Qualité des eaux
<b>Adrar</b>	Grès d'Agueni, les calcaires d'Atar, calcaires karstifiés	20 à 220 m	Débit : 8-13 m <sup>3</sup> /h T : 0,0003 - 0,0012 m <sup>2</sup> /s	Salinité : 752 – 1006 mg/l
<b>Tagant</b>	Grès quartzites et grès calcaires intensément fracturés	-	Débits : 9 à 14 m <sup>3</sup> /h, voire 53 m <sup>3</sup> /h (Djoukh-Achram) T : 0,00025 - 0,0055 m <sup>2</sup> /s	Salinité : 376 – 721 mg/l

<b>Assaba et Aouker</b>	Schistes et grès	-	Débits :1-8 m <sup>3</sup> /h	Salinité : 282-576 mg/l
<b>Aïoun</b>	Grès tendres bien stratifiées	-	Débits :1 – 6 m <sup>3</sup> /h T : 0,0002 - 0,0013 m <sup>2</sup> /s	Salinité :442 – 1162 mg/l
<b>Hodh</b>	Sédiments argileux, peu perméables avec dolérites	-	Débits : 2 - 8 m <sup>3</sup> /h T : 0,0002 - 0,0012 m <sup>2</sup> /s	Salinité :360 – 1171 mg/l
<b>Dhar de Néma</b>	Grès continentaux (Continental Intercalaire) ou fractures	27,9 – 160 m	Débits : 1,5 (zone de fracture) à 100 m <sup>3</sup> /h	CE : 1710 – 5020 µS/cm

### Les systèmes aquifères de la chaînes des Mauritanides

Les ressources en eau de la chaîne des Mauritanides sont contenues dans des formations au caractère discontinu. La zone d'Akjoujt au Nord est la mieux connue, on y note des débits de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/h dans un ensemble fissuré de roches vertes, avec un résidu sec (RS) de l'ordre 1150 mg/l.

Au Sud, dans le secteur SE du Brakna et Nord de Gorgol les valeurs de la transmissivité sont faibles (10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>/s), les débits peuvent atteindre 3 m<sup>3</sup>/h. La salinité reste acceptable, 470 mg/l à Sangrafa et 1050 mg/l à Magta-Lahjar.

### Le Bassin côtier Sénégal–Mauritanien

Les ressources en eau souterraines de la partie mauritanienne du bassin sédimentaire Sénégal–Mauritanien sont contenues dans les nappes de du Continental Terminal (CT), de Boulanouar, de Benichab, de Trarza, d'Aleg et Kaédi, et des Alluvions de la Vallée du Fleuve Sénégal. Ce sont des aquifères assez productifs et stratégiques pour le pays, en effet ils contribuent à l'alimentation des villes principales, comme Nouadhibou, et jusqu'à récemment Nouakchott.

- **Nappes de Boulenoir** : Elles sont contenues dans les formations argileuses et sableuses, à deux niveaux, la nappe phréatique à eau douce et pour une épaisseur de l'ordre de 30 m et la nappe sub-phréatique à eau chargée et dont l'épaisseur est de l'ordre de 65m. La salinité varie de 524 à 898 mg/l, et une bonne transmissivité de l'ordre de 0,0021 - 0,0084 m<sup>2</sup>/s.
- **Nappe de Benichab** : Elle est présente dans des grès argileux, peu perméable, l'eau est exceptionnellement douce (200mg/l). L'épaisseur de l'aquifère varie de 90m au Nord- Est et 200 m à Benichab. La nappe d'eau douce est en contact avec une nappe à eau saumâtre à l'Ouest et se termine au biseau sec à l'Est du fait de la remontée du socle. Des débits de l'ordre de 63 m<sup>3</sup>/s sont prélevés, avec une transmissivité de 0,006 m<sup>2</sup>/s.
- **Nappes de Trarza** : Elles sont contenues dans un ensemble multicouche du Continental Terminal et sont exploités dans la zone centrale et ouest du Trarza, notamment dans le champ captant d'Idini qui approvisionnait jadis la capitale Noukchott. Les débits peuvent varier de 18 (Rosso) à 123 m<sup>3</sup>/h (Idini), avec une salinité de 350 – 600 mg/l et une transmissivité de 0,005 - 0,018 m<sup>2</sup>/s.
- **Nappes d'Aleg et Kaédi** : Elles sont contenues dans les séries calcaires et gréseuses du Paléocène, et de l'Eocène, débitant 10 à 50 m<sup>3</sup>/h avec une bonne qualité (43-430 mg/l) ; toutefois la zone de Boghé la qualité peut se dégrader (1423 mg/l). Toutefois dans les zones de Kaédi –Mounguel - Aleg le Maastrichtien peut être capté avec des débits variables (7 à 70 m<sup>3</sup>/h) et la qualité des eaux acceptable (<800 mg/l).

- **Nappe des Alluvions de la Vallée du Fleuve Sénégal** : elle est contenue dans des formations sablo-argileuses et argilo-sableuses, et elle offre des potentialités variables. La transgression marine ancienne, la structure de l'aquifère, et la gestion des aménagements hydro-agricoles ont beaucoup influé sur la qualité de la nappe. Toutefois, La présence de lentilles d'eau douce superficielle permet de fournir par puits des débits de l'ordre de 1 à 5 m<sup>3</sup>/h.

### 3.4 HYDROGEOLOGIE DU SENEGAL

#### 3.4.1 Contexte géologique du Sénégal

Le bassin sénégalo-mauritanien couvre l'essentiel du territoire sénégalais à l'exception de la partie sud-est où affleure le socle. Il est formé de terrains tabulaires méso-cénozoïques avec des dépôts qui s'épaississent d'est en ouest (Bellion, 1987) où ils peuvent atteindre 7000 m.

La litho-stratigraphie du bassin sénégalo-mauritanien est bien connue grâce aux nombreux sondages hydrauliques et pétroliers ainsi qu'aux nombreuses études qui y ont été faites. Dans le cadre du PASMI, une révision de certains termes de la litho-stratigraphie a été opérée impliquant des changements dans la dénomination de certains sous-étages. La géologie du bassin est connue depuis le Trias, cependant pour les besoins de cette étude la description sera limitée à partir des formations secondaires du Maastrichtien, en plus du socle (Mall, 2017 ; DGPRE, 2001).

#### Les formations du socle

Au Sénégal, le craton Ouest Africain est représenté par la Boutonnière de Kédougou-Kéniéba qui est constituée de formations cristallines anciennes représentant le socle du Sénégal. Elle est formée de trois ensembles bien distincts ; les formations birimiennes d'âge Paléoprotérozoïque d'une part, la chaîne des Mauritanides et les bassins sédimentaires d'âge Néoprotérozoïque à Paléozoïque d'autre part. Ces formations pour l'essentiel, sont dominées par des terrains Birimiens d'âge paléoprotérozoïque et ont fait l'objet d'études cartographiques récentes dans le cadre du PASMI (projet d'appui au secteur minier). La Figure 10 illustre la complexité de la géologie de la zone du socle que le Sénégal partage avec la Guinée et le Mali.

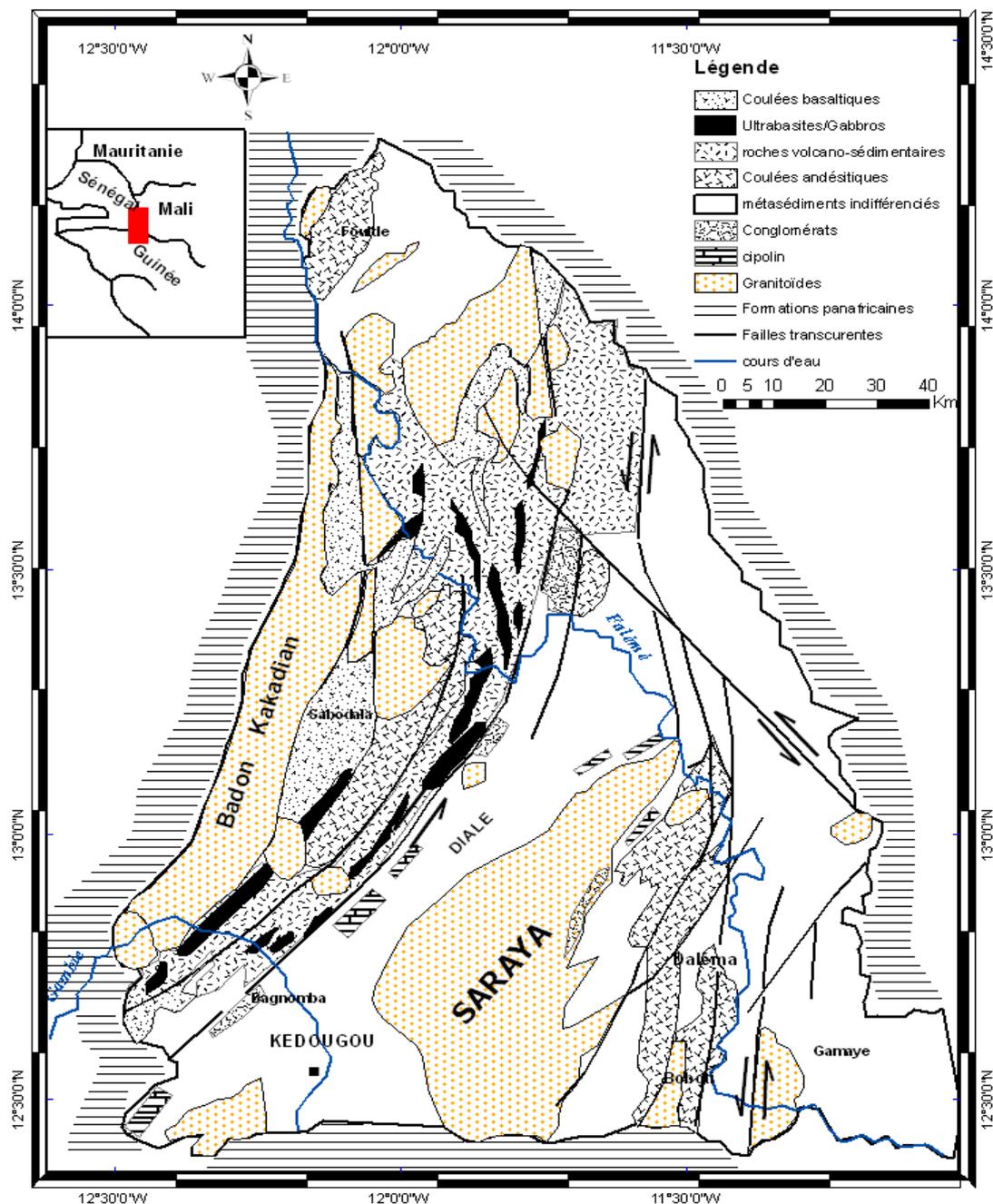


Figure 10 : Carte géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Bassot 1987, Ledru et al., 1991 modifiée)

### Les formations du bassin sédimentaire

Le **Maastrichtien** est bien représenté dans l'ensemble du bassin. Dans la partie orientale (à l'est du méridien 17°50), il se présente sous un faciès sableux souvent pyriteux et glauconieux avec des intercalations fréquentes de grès et d'argiles. La série s'épaissit de l'Est (50 m environ) vers l'Ouest (environ 700 m). Dans la partie occidentale du bassin, les argiles constituent la principale formation, occupant la totalité de la série à l'ouest du méridien 17°50, sur des épaisseurs pouvant atteindre 2000 m.

Les formations du **Paléocène** reposent en discordance sur les sables du Maastrichtien, elles sont constituées essentiellement par des calcaires et des marno-calcaires, karstifiés à l'ouest du bassin. La base du Danien présente des faciès argileux à l'ouest et plus sableux en Casamance.

Les horizons de l'**Eocène** inférieur et moyen sont bien représentés dans le bassin avec des faciès argilo-marneux, calcaires et surtout phosphatés à l'Ouest. L'Eocène occupe une part assez importante des affleurements au niveau du bassin sénégalais. Cependant, l'Eocène supérieur ne se rencontre en revanche que rarement, sauf au Sud du pays, sur le littoral et la plate-forme casamançaise.

L'**Oligocène** est représenté dans le bassin, avec une extension sensiblement voisine de l'Eocène supérieur. Il est surtout calcaire en Casamance, avec des intercalations de marnes à la base de la série. Toutefois, les faciès carbonatés disparaissent à l'Est de Ziguinchor, laissant la place à des sables et des argiles très peu épaisses.

Le **Miocène** est bien décrit sur le plateau continental de Casamance sous un faciès de calcaires argileux et de marnes pouvant atteindre 100 m d'épaisseur. Vers le continent, la série est surtout représentée par des sables, des argiles, des calcaires sableux coquilliers avec de la glauconie, et des argiles à passées calcaires. Plus à l'Est, la série sablo-argileuse reconnue à Tambacounda a été rattachée à cet étage. Quant au **Pliocène**, il est formé essentiellement de sables et grès argileux d'origine marine recouvrant une grande partie du bassin sénégalais. Le « Continental Terminal » (CT), regroupe les assises formées de sédiments marins continentalisés Miocène – Pliocène, la nouvelle dénomination parle plutôt de « Formations du Saloum » (Etude cartographique PASMI).

Les formations du **Quaternaire** peuvent se présenter sous différents faciès :

- des sables éoliens sous la forme de dunes vives actuelles (dunes jaunes) le long du littoral entre Dakar et Saint Louis et de dunes rouges fixées, datant de l'Ogolien (18 000 - 12 000 ans BP), recouvrant principalement la zone côtière, le Ferlo septentrional et une partie de la région de Kaolack- Fatick ;
- des alluvions fluviales et des dépôts marins sur les deltas et le long des cours d'eau (fleuve Sénégal principalement) ;
- des dépôts calcaires d'origine lacustre, observés dans les régions du Ferlo de Louga et de Diourbel.

### 3.4.2 Les aquifères du Sénégal et leurs caractéristiques

Au Sénégal, les réserves en eau souterraine utilisables sont contenues dans quatre systèmes aquifères correspondant aux principales formations géologiques (DGPRES, 2001 ; Diéne, 2018) :

- le système aquifère superficiel ou Complexe Terminal qui regroupe les formations à dominante sablo argileuse et sableuse du Quaternaire, du Continental Terminal et de l'Oligo-Miocène ;
- le système aquifère intermédiaire qui regroupe les formations essentiellement calcaires, karstiques par endroits, et marno-calcaires de l'Eocène et du Paléocène;
- le système aquifère profond qui concerne la seule formation des sables du Maastrichtien ;
- le système aquifère du socle qui regroupe des formations discontinues fissurées et/ou avec une frange altérée ; ce sont des unités granitiques et métamorphiques du Sénégal oriental.

Ces quatre systèmes aquifères peuvent être regroupés en deux grands ensembles hydrogéologiques (Figure 11) :

- les systèmes superficiel, intermédiaire et profond qui sont des aquifères généralisés de type intergranulaire, karstique avec des formations sédimentaires perméables et dont les potentiels exploitables sont généralement élevés compte tenu de leur grande extension ;
- les aquifères fissurés de type discontinu à semi-continu qui correspondent à des nappes du substratum ancien (socle) dont les potentiels exploitables sont limités et difficiles à localiser.

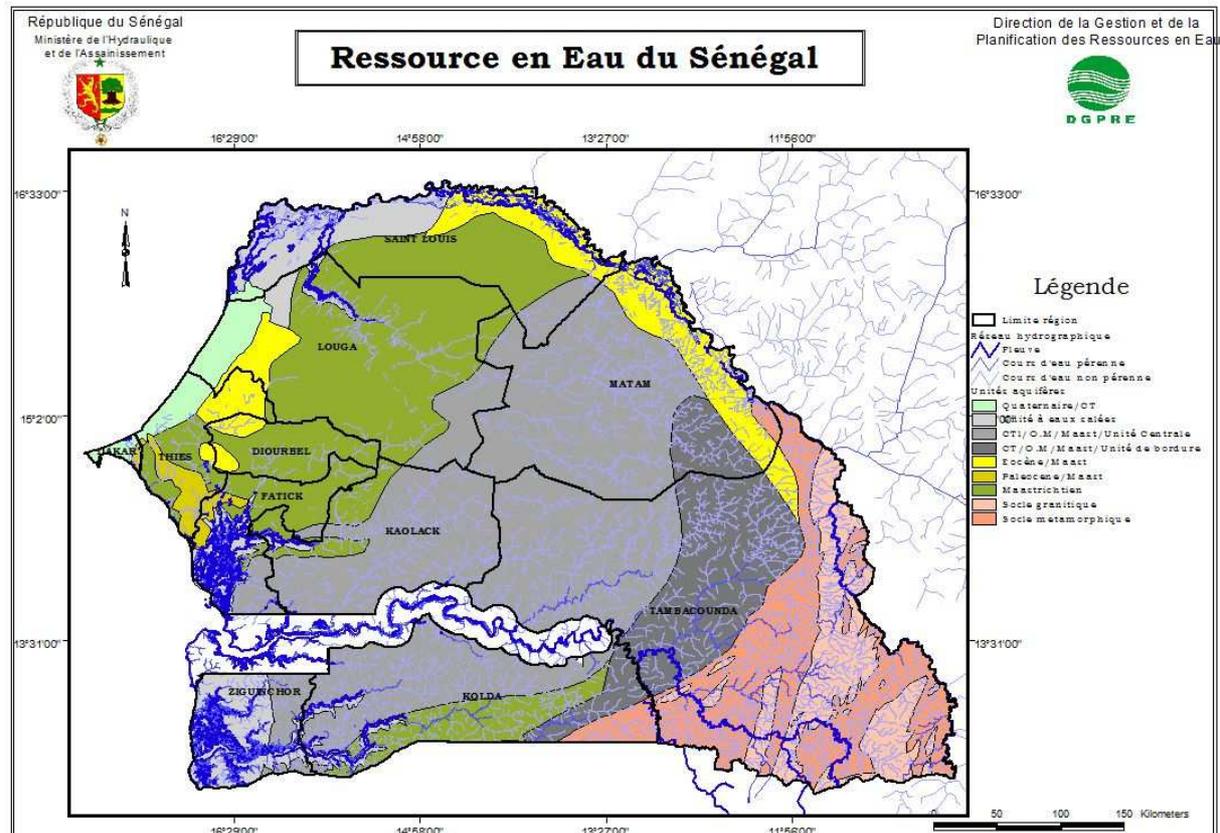


Figure 11 : Carte des unités aquifères du Sénégal (Source : DGPPE)

### Le système aquifère superficiel

Il regroupe les formations sableuses, sablo argileuses et gréseuses du Quaternaire, du Continental Terminal, et de l'Oligo-Miocène. Il comprend les unités aquifères suivantes :

- **Nappe des sables infrabasaltiques** : Les sables infrabasaltiques s'étendent dans Dakar, en dessous des coulées basaltiques, produits des activités volcaniques passées des Mamelles. C'est une nappe captive dans sa partie occidentale et devient semi captive à libre dans sa partie orientale avec la disparition du recouvrement volcanique. Les transmissivités varient de  $9,0 \cdot 10^{-3}$  à  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  avec des coefficients d'emménagement moyen dans la partie libre entre 10 et 15%.
- La **nappe des sables quaternaires** : Elle est contenue dans les sables littoraux présents dans la partie Nord Occidentale à l'ouest de la route Dakar –Saint Louis. C'est une nappe libre qui présente des performances intéressantes avec des forages pouvant fournir plus de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  avec moins de 10 m de rabattement. Au niveau du col de la presqu'île du Cap Vert, on distingue aussi l'aquifère libre des sables quaternaires de Thiaroye. Il constitue le prolongement naturel

de l'aquifère des sables infrabasaltiques de Dakar avec lequel il est en continuité, au niveau de la Patte d'Oie.

- La **nappe alluviale** : elle est située tout au long du fleuve Sénégal au Nord, dans les sables alluvionnaires du fleuve Sénégal ; est continue dans les formations alluviales présentes sur la rive droite du fleuve Sénégal.
- La **nappe du Continental Terminal (CT)** : Le Continental terminal est composé d'une alternance de sables et d'argiles dans sa partie Sud (Sine Saloum et Gambie), de sables et de grès argileux dans le Ferlo, d'argiles avec quelques lentilles de sables au Nord. Il couvre la quasi-totalité du territoire sénégalais et elle est contenue dans différentes formations qui sont d'origine essentiellement marines. La nappe du Continental Terminal permet de satisfaire les besoins en eau des populations rurales et la maintenance de la végétation au Sud et à l'Est du pays. Les potentialités de cet aquifère sont estimées à près de 450.000 m<sup>3</sup>/j.
- La **nappe de l'Oligo-Miocène** : La puissance de la nappe varie entre 30 et 40 m, elle a été identifiée en basse et moyenne Casamance jusqu'au-delà de la frontière Nord de la Gambie, dans la zone de Kaffrine - Tambacounda. Dans ces endroits, les niveaux aquifères de cette nappe correspondent à des sables entrecoupés de bancs d'argile. Malgré des débits spécifiques faibles et des profondeurs de pompage parfois importantes, cet aquifère renferme des ressources considérables estimées à 850.000 m<sup>3</sup>/j. Les débits spécifiques varient de 2 m<sup>3</sup>/h/m à 10 m<sup>3</sup>/h/m. Les valeurs de transmissivité sont de l'ordre de 0,01 m<sup>2</sup>/s.

### Le système aquifère intermédiaire

Ce système est constitué des formations calcaires de l'Eocène et du Paléocène. Les réserves sont intéressantes dans les zones de bonne perméabilité, surtout dans les parties ayant subi des phénomènes de karstification (panneaux calcaires de Sébikotane, Pout-Mbour, calcaires lutétiens de Bambey-Louga ...etc.).

- La **nappe des calcaires Eocènes** : La nappe des calcaires éocènes est surtout intéressante à l'Est de la route nationale Dakar - Saint-Louis. Son épaisseur, très variable, est pour la majeure partie de sa zone d'extension, supérieure à 20 m avec un maximum de 120 m. Les formations calcaires karstifiées, offrent de bonnes performances avec des forages pouvant fournir jusqu'à 300 m<sup>3</sup>/h avec moins de 1 mètre de rabattement. Cette nappe est hydrauliquement liée à celle de la nappe des sables quaternaires, elle est captée par des forages qui contribuent pour beaucoup à l'alimentation en eau de Dakar.
- La **nappe des calcaires paléocènes** : L'aquifère paléocène est surtout reconnu dans le secteur occidental du pays (compartiment de Sébikotane, Pout et Mbour) où les calcaires paléocènes karstifiés renferment d'importantes quantités d'eau. Les transmissivités connues sont de l'ordre de 1,0 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s à 1,0 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s selon le degré de karstification des formations calcaires. Le rythme soutenu de l'exploitation a entraîné une baisse continue des niveaux piézométriques et une augmentation de la salinité aux endroits où celles-ci sont en contact avec l'Océan. Cet aquifère, exploité dans ce secteur occidental, approvisionne l'agglomération de Dakar.

### Le système aquifère profond du Maastrichtien

Il correspond à la nappe profonde du Maastrichtien, qui couvre les 4/5 du territoire sénégalais. Il est constitué de sables et de grès et forme un immense réservoir. Il s'agit de l'aquifère le plus exploité par des forages (plus de 1000) atteignant en certains endroits plus de 350 m avec des débits variant entre 100 et 250 m<sup>3</sup>/h. L'aquifère du Maastrichtien est caractérisé, dans sa partie occidentale, par la

présence d'eau salée en profondeur (Figure 12) ; voir de véritables "saumures" pouvant atteindre des concentrations supérieures à 100 g/l.

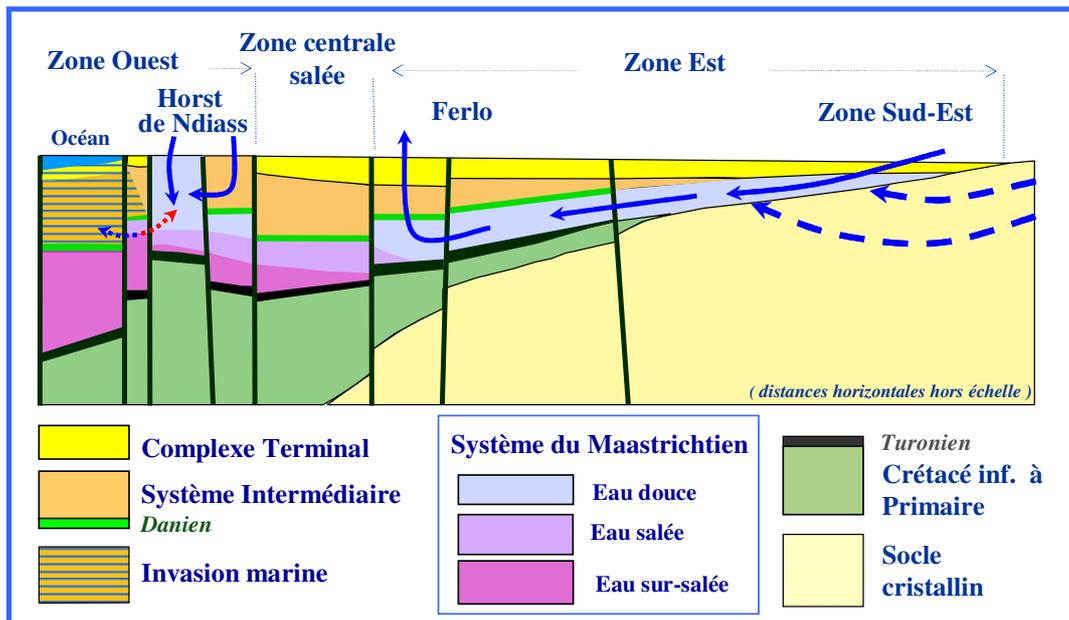


Figure 12 : Coupe hydrogéologique schématique (source : DGPPE)

## 4 ETAT DES CONNAISSANCES DE L'HYDROGEOLOGIE DU BASSIN

---

### 4.1 LES AQUIFERES PRESENTS DANS LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

Le bassin du fleuve Sénégal est caractérisé par l'existence de plusieurs aquifères qui correspondent à des formations géologiques différentes qui se sont mises en place depuis le Primaire, jusqu'au Secondaire, Tertiaire et Quaternaire. Le bassin est à cheval entre deux types d'environnements hydrogéologiques, comme le montre la carte des aquifères du bassin versant (Figure 13) :

- Des aquifères généralisés présents dans le bassin aquifère Sénégal-Mauritanien (BASM) partagé par la **Mauritanie** et le **Sénégal** (en plus de la Gambie, et de la Guinée-Bissau), et une portion du bassin de Taoudeni partagé par la **Mauritanie** et le **Mali** (en plus de l'Algérie).
- Des aquifères discontinus qui sont du domaine des formations cristallines et cristallophylliennes et qui sont surtout présents dans la partie Guinéenne et Malienne du bassin, mais aussi en amont de Bakel dans le Sud-Est de la Mauritanie et du Sénégal.

Les aquifères généralisés du bassin aquifère sénégal-mauritanien sont beaucoup plus connus. En effet il existe une documentation assez fournie qui est consultable sous forme de rapports d'études et/ou de travaux de recherche, surtout du côté du Sénégal et dans une moindre mesure en Mauritanie. Par contre pour les aquifères de socle, la complexité de l'environnement hydrogéologique ne concourt pas à une meilleure connaissance des potentialités à l'échelle régionale. Les études disponibles sont dispersées et sont plutôt faites au niveau local pour les besoins d'implantation de sources d'eau ; on en trouve beaucoup plus au Mali qu'en Guinée.

Il faut rappeler que les aquifères, présents dans le bassin du fleuve Sénégal, ont en général une productivité relativement bonne (Figure 14). En effet dans l'ensemble elle est très élevée à modéré, les formations aquifères les plus productives se situant entre l'Ouest Mauritanien et le Nord Sénégal, les moins performantes étant en Guinée, du fait de l'environnement géologique (socle précambrien ou méta-sédimentaire fracturé). Dans l'est Mauritanien la productivité est modérée, comme c'est le cas dans la partie Malienne du bassin au nord du parallèle de Kayes, tandis qu'au sud Malien du bassin elle est plutôt bonne, avec des séries gréseuses multicouches associées à des bancs fracturés ou intergranulaires



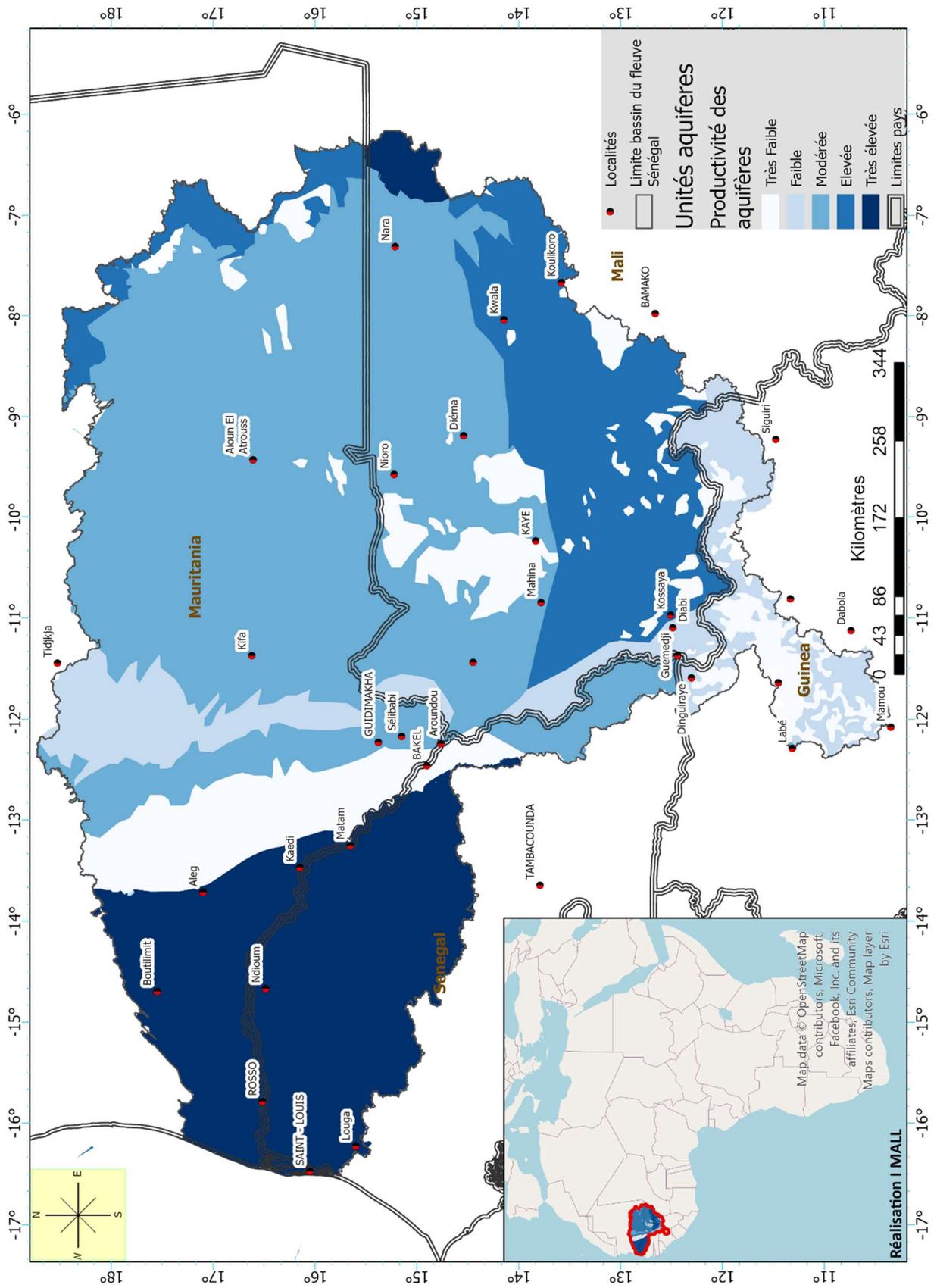


Figure 14 : Carte de productivité des aquifères du BV du Fleuve Sénégal (crédit : Mall, I et Diene, M)

#### 4.1.1 L'aquifère du Maastrichtien

Il représente le système aquifère profond, que l'on trouve dans tout le bassin aquifère sénégalomauritanien et il se présente souvent en position captive sous les formations de l'Eocène (Archambault, 1960 *in* Kane, 2008). La nappe du Maastrichtien a été identifiée dans la région d'Aleg, Bogué et Kaédi tout au long de la vallée sur la rive droite et entre Ourossogui et Thilogne sur la rive gauche qui constituerait selon certains auteurs à une zone probable d'alimentation de la nappe à partir du Fleuve. La nappe est plutôt connue au Sénégal, où elle représente la principale source en eau souterraine, ce qui n'est pas le cas en Mauritanie du fait de sa salinité ; toutefois dans la zone Kaédi – Aleg la nappe du Maastrichtien est exploitée avec des débits variables (7 à 70 m<sup>3</sup>/h) et la qualité des eaux est acceptable (<800 mg/l). Seulement, le potentiel hydrogéologique de la nappe n'est pas utilisé, en effet celle-ci est jugée de mauvaise qualité (salinité élevée).

Le toit du Maastrichtien est tributaire des jeux de failles présentes dans la région du Ferlo (Sénégal). Dans les zones hautes de Dagana et Matam, un soulèvement notoire est observé. Le toit est "subaffleurant" vers Dagana, où il est à 30 m de la surface du sol. Vers la zone de Matam, la cote du toit est à -40 m où la nappe est captée par des forages à moins de 100 m. A cet endroit, le caractère détritique des sédiments tertiaires et quaternaires rend difficile toute tentative de déterminer les formations proprement maastrichtiennes. Les sables maastrichtiens renferment un important aquifère alimentant la presque totalité des forages hydrauliques implantés au Ferlo (Sénégal). Ils sont très puissants avec une épaisseur pouvant atteindre 300 m au niveau du Ferlo (Degallier, 1962 *in* Diéne, 1995). Les perméabilités sont également assez bonnes, notamment dans le Nord-Ferlo, avec 10<sup>-3</sup> m/s. Cette immense masse d'eau douce "flotte" en fait sur de l'eau sursalée, dont l'extension à l'Est s'arrête sur un axe Yonoféré, Labgar, Podor (Audibert, 1966 *in* Diéne, 1995), cette salinité est continue au Nord en Mauritanie. La profondeur du toit de cette eau varie de 300 m vers le lac de Guiers, à 500 m aux alentours de Mbiddi-Tessekré dans le Ferlo.

#### 4.1.2 L'aquifère de l'Eocène

La nappe de l'Eocène est représentée sur tout le bassin sédimentaire, exceptée la zone d'affleurement ou de subaffleurement du Maastrichtien où elle a été érodée. En Mauritanie, elle se présente sous forme d'aquifère multicouche discontinu à dominance calcaire, calcaire sableux ou calcaire marneux et elle est considérée comme la plus orientale dans le faciès littoral du lutétien (nappe du Brakna). Les puits atteignent ce niveau dans la zone d'affleurement des grès de Gorgol et sous le mince recouvrement du Continental terminal. Dans la zone de Aleg-Kaédi, où l'exploitation des ressources en eau de ces nappes est bien connue les séries calcaires et gréseuses contiennent des nappes libres de bonne qualité (43-430mg/l) et débitent 10 à 50 m<sup>3</sup>/h.

Au Sénégal, les puits près du fleuve captent la nappe phréatique avant de pénétrer dans les terrains de l'Eocène ce qui suggère une continuité hydraulique entre les formations de l'aquifère profond et celui de ces formations post-éocènes.

#### 4.1.3 L'aquifère du Continental terminal (CT)

La nappe du CT est aussi appelée « nappe du Trarza » et elle constitue la nappe la plus importante et la plus régulière de tout le bassin sédimentaire côtier en Mauritanie (Elouard, 1962 *in* Kane, 2008) où sont installés les champs de forages d'Idini, ressource stratégique qui approvisionnait la ville de Nouakchott. La continuité de la nappe est liée à la perméabilité générale des formations du CT constituées comme au Sénégal de sables, grès avec des intercalations lenticulaires d'argiles bariolées. Le tableau suivant donne une illustration des caractéristiques de la nappe du Trarza.

Tableau 4 : Quelques caractéristiques de la nappe du Trarza (source : CNRE)

Sites	T (m <sup>2</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Salinité mg/l
<b>Rosso</b>	17	18	<b>612</b>
<b>Idini-Tenadi</b>	64.5	123	<b>355</b>
<b>Nimjatt</b>	25.8	31	<b>256</b>
<b>Boutilimitt</b>	<b>33.8</b>	<b>32</b>	<b>472</b>

Au Sénégal, la nappe du CT est une nappe superficielle présente au Ferlo septentrional, elle est captée par les puits villageois de type traditionnel. La piézométrie laisse nettement apparaître des dépressions piézométriques, les niveaux piézométriques les plus bas sont à 50 m au-dessous du niveau de la mer. Le creux piézométrique est allongé NE-SW, avec deux foyers de dépression : l'un au nord et l'autre au sud, vers la vallée fossile du Ferlo (Diéne, 1995).

#### 4.1.4 L'aquifère alluvial ou Quaternaire

Les aquifères alluviaux sont en partie composés d'argile et de sable fin (dépôts post-nouakchottiens), d'alluvions grossières et graveleuses, et de sable argileux datant de l'Ogolien et du Quaternaire ancien et moyen. L'aquifère alluvial est le lit principal du fleuve, il offre des potentialités variables ; en effet son débit varie en fonction de celui du fleuve (Travi, 2017).

La salinité héritée de la transgression marine, la structure de l'aquifère, la mise en œuvre des sols de la vallée et la gestion des aménagements hydro-agricoles influencent directement sur la qualité et les réserves de la nappe. Elle couvre le lit majeur du fleuve, elle est en rapport avec les nappes sous-jacentes en raison de la variabilité des formations et de leur disposition lenticulaire. L'importance de cette nappe est fonction de l'épaisseur et de l'étendue de ces formations. Les études piézométriques ont montré que les nappes alluviales sont alternativement alimentées et drainées par le fleuve (Diagana, 1994).

Toutefois, la présence de lentilles d'eau douce superficielle permet de fournir, par puits, des débits de l'ordre de 1 à 5 m<sup>3</sup>/h. Leur existence et leur productivité semblent être liées aux eaux d'infiltration.

#### 4.1.5 Les aquifères du Bassin de Taoudéni

Le bassin de Taoudéni s'étend sur plus de 2 000 000 km<sup>2</sup> et il est présent dans la zone d'étude principalement en Mauritanie et au Mali. Il est le siège de deux grands ensembles de terrain (sédimentaires anciens et récents) contenant des aquifères qui correspondraient plutôt aux appellations des régions administratives en Mauritanie. Parmi ces aquifères certains pourraient intéresser le bassin versant du Fleuve Sénégal, étant donné leur extension dans ce bassin.

##### Les aquifères du Tagant

Ils sont constitués de grès quartzites et de grès calcaires intensément fracturés, avec des vallées qui se sont entaillées ces formations (CNRE, 2016). Les aquifères à caractère discontinu peuvent être exploités par des forages à des débits variant de 5 à 12 m<sup>3</sup>/h et la formation sableuse de la plaine de N'Beika (aquifère continu) contient à une faible profondeur, une nappe très productive (20 à 50 m<sup>3</sup>/h) et peu minéralisée (400 à 500mg/l).

##### Les aquifères des grès de l'Assaba et des sables de l'Aouker

Les aquifères de l'Assaba constituent la même continuité géologique et climatique avec ceux de Tagant (CNRE, 2016). On peut noter que la série de Kiffa contient des nappes en charge aux débits non

négligeables, particulièrement dans la région du Karakoro. Les débits obtenus dans des schistes et des grès sont de l'ordre de 1-8 m<sup>3</sup>/h, la salinité de 282 - 576 mg/l. L'étude piézométrique de la zone Sud de l'Assaba indique un écoulement souterrain qui se produit selon l'axe NEE-SWW en direction du fleuve Sénégal (Friedel and Finn, 2008).

L'existence d'une nappe généralisée dans l'Aouker est très probable. Les données actuelles ne permettent pas de la confirmer et d'en définir les caractéristiques.

### **Les aquifères des grès d'Aïoun**

Ce sont des formations gréseuses tendres bien stratifiées d'âge infracambrien, leur perméabilité est dépendante des zones fissurées. Les caractéristiques hydrodynamiques des grès sont très hétérogènes, et les débits sont de l'ordre de plusieurs m<sup>3</sup>/h. La qualité des eaux est très douce notamment dans les massifs de grès (300 µS/cm). Les régions à conductivité élevée (1000 et parfois 3000 µS /cm) correspondent à des plaines ou à des dépressions (CNRE, 2016). Les caractéristiques de la nappe sont similaires à celles des nappes de socle avec des débits de quelques m<sup>3</sup>/h (Tableau 5), et de faibles transmissivité.

*Tableau 5 : Caractéristiques des aquifères de l'Aïoun*

Sites	T (m <sup>2</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Salinité (mg/l)
Oum Aoudach	0.74	1	442
Tengal	0.54	2	675
Aïoun	0.9	6	517
Bougara-Tintane	4.88	3	1162

#### **4.1.6 Les aquifères de socle**

Les aquifères du socle dans le bassin du fleuve Sénégal ont été identifiés principalement au Sénégal Oriental, au Mali et en Guinée. La zone de socle, en général il n'y a pas d'aquifère généralisé, mais un réseau d'aquifères juxtaposés. Ils sont souvent en contact les uns avec les autres et présentent des caractéristiques communes. Il s'agit d'aquifères discontinus ou semi-continus représentés par les franges altérées des roches saines et /ou par les réseaux de fractures et de fissures affectant la partie supérieure de ces roches (Figure 15) :

- Nappe superficielle de type intergranulaire située dans les formations de recouvrement ; elle est semi continue ou discontinue selon l'épaisseur du recouvrement, la géomorphologie et la pluviométrie locale ;
- Nappe profonde de type fissuré situé dans le substratum. Elle est semi continue ou discontinue selon la densité, l'extension et le degré d'interconnexions des réseaux de fissuration qui affectent la roche encaissante.

Ces deux nappes constituent en général un système aquifère en continuité hydraulique. En l'état actuel des connaissances, un système aquifère en domaine de socle est à la fois un réservoir capable d'emmagasiner de l'eau provenant des pluies infiltrées, et un système conducteur permettant à cette eau de s'écouler en profondeur et de vidanger progressivement ce réservoir vers ses exutoires naturels que sont les rivières (Mall, 2017).

Le long des cours d'eau, on peut retrouver des dépôts alluviaux qui peuvent constituer à l'échelle des villages un niveau aquifère intéressant, ils constituent, dans beaucoup de cas, les seules sources d'eau souterraine accessibles aux villageois

Au Sénégal, on retrouve ces aquifères dans la haute vallée, en amont de Sémé (Kane, 2008). Ils renferment des ressources en eau peu importantes et sont localisés dans la frange d'altération des roches cristallines précambriennes. Les caractéristiques hydrodynamiques sont liées à la nature des produits d'altération du substratum et sont extrêmement variables. Elles sont aussi fonction de la densité et de l'extension de la fissuration. Les valeurs de perméabilités sont le plus souvent faibles, en particulier dans les nappes d'altérites qui sont exploitées directement par de nombreux puits villageois. La recharge est assurée par les apports provenant des eaux de pluie. Les paramètres hydrauliques, généralement médiocres, ne permettent que l'exhaure de débits limités à quelques  $m^3/h$ .

Dans la partie guinéenne du bassin, on distingue des aquifères discontinus de type fissuré ou inter granulaire de bas fond et des aquifères semi continus de type fissuré avec une nappe superficielle inter granulaire.

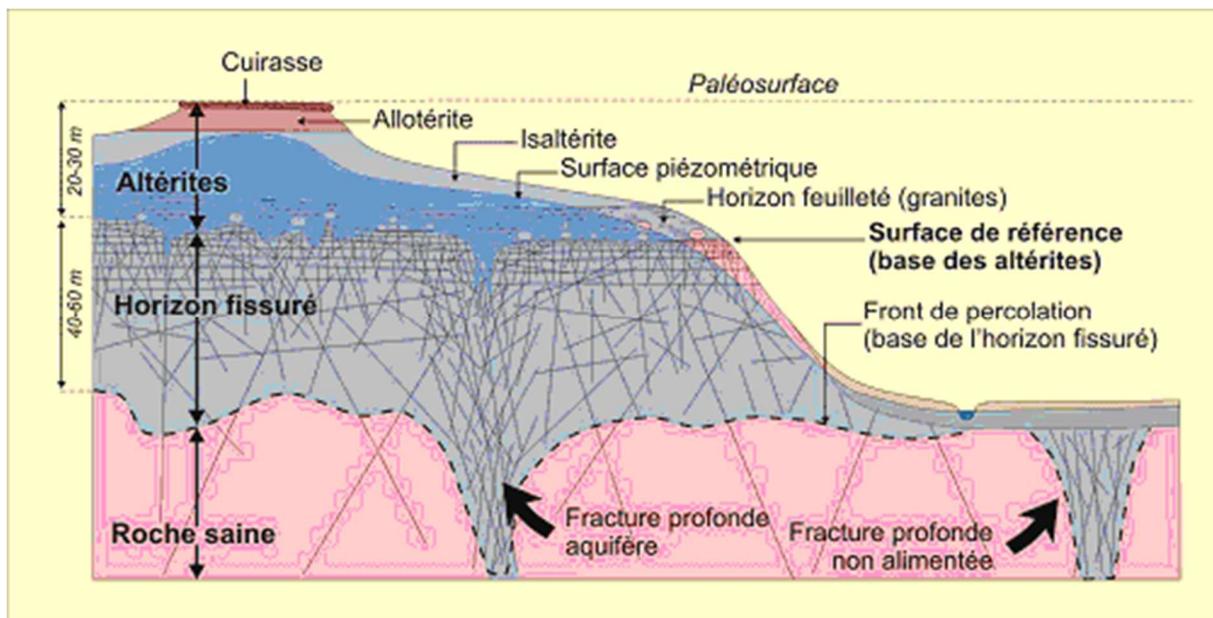


Figure 15 : Schéma conceptuel moderne d'un système aquifère de socle (Wyns, Lachassagne & al., 2005 in Mall, 2017)

En Guinée dans les grando-gneiss les eaux souterraines peuvent être captées par puits dans les altérites, et par forage d'une cinquantaine de mètre de profondeur dans les zones de fracturation tectonique, avec des débits d'au moins  $1m^3/h$  (Diallo, 2014). Dans la zone birrimienne de Siguiri (frontière malienne), les formations schisteuses profondément altérées sur 50 à 80m ou plus, sont captées par des forages de 60 à 80m de profondeur avec un taux de succès ( $1m^3/h$ ) relativement élevé.

Au Mali, on retrouve les aquifères dans les formations sédimentaires fracturées (méta sédimentaires précambriens et paléozoïques), ainsi dans le socle précambrien qui recouvrent la partie malienne du bassin. Dans le sud et le sud-ouest du Mali, les méta sédiments forment un aquifère multicouches et généralement semi-confiné. Leur densité de fracturation peut augmenter dans certaines zones de par les intrusions de dolérite, les horizons fracturés ont une épaisseur d'environ 30 à 50 m, bien que des fractures plus profondes puissent augmenter l'épaisseur de l'aquifère à 80-100 m. Les niveaux statiques sont moins profonds au sud (généralement 10 à 17 m au-dessous du niveau du sol) et les débits moyens du forage sont d'environ  $5-10 m^3/h$  (Traoré et al., 2018) ; cependant, plusieurs forages

ont signalé des débits de plus de 100 m<sup>3</sup>/h. Dans la zone du socle à l'ouest (région de Kayes), la zone altérée est moins développée et les précipitations sont plus faibles, les débits moyens des forages varient de 4 à 6 m<sup>3</sup>/h, selon la lithologie.

## 4.2 RELATION FLEUVE-NAPPES : SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES

### 4.2.1 Les échanges avec les nappes superficielles

Les interactions nappe-fleuve se sont développées de manière très diverse selon les lieux et les moments, en fonction des conditions morphologiques des tronçons du cours d'eau, de son régime hydraulique, des cotes respectives de la nappe et de la rivière, des caractéristiques physiques de la couche de sédiments tapissant le fond du cours d'eau, etc.

Dans le bassin du fleuve Sénégal, surtout dans la moyenne vallée et le Delta, de nombreuses études ont été menées pour comprendre la dynamique et le fonctionnement de la relation du fleuve et des aquifères sous-jacents, plus particulièrement la nappe alluviale. En effet, déjà dans les années 70, l'étude de ILLY (1973 in Kane, 2008) avait décrit les relations hydrodynamiques entre le fleuve, la nappe alluviale et les aquifères sous-jacents. Ses principales conclusions tirées de cette étude avaient confirmé l'alimentation de la nappe alluviale par le fleuve en période de crue et réciproquement, sa vidange au bénéfice du fleuve en saison sèche, et son soutien au débit de base du fleuve en aval de Bakel (Kane, 2008).

Par ailleurs, un projet 'Eaux Souterraines' a été conçu et orienté vers l'identification et le contrôle des modifications du régime des eaux souterraines, liées à l'exploitation des barrages et au développement intensif de l'agriculture irriguée au droit des formations alluviales du bassin du fleuve Sénégal. Il a été mis en place dans le cadre du Projet "Cellule des Eaux souterraines" de l'OMVS et de l'USAID entre janvier 1985 et juin 1990. Dans ce cadre, un suivi régulier mensuel en 1987 et 1991 a été effectué, à travers plus de 500 piézomètres, sur les paramètres physico-chimiques, ainsi que sur le niveau statique.

Ainsi les oscillations annuelles de niveau d'eau de la nappe, illustrent cette interaction, dont l'ampleur est fonction de la distance au fleuve Sénégal et de la proximité d'un périmètre irrigué (Tableau 6).

Tableau 6 : Fluctuation annuelle du niveau de la nappe alluviale (source : OMVS)

Sites	Variation annuelle du niveau piézométrique (m)				
	Localité sur rives droite et gauche	Dagana	Podor	Kaédi	Matam
Hors périmètre et loin des cours d'eau	0.2 à 0.3	0.5 à 0.8	0.2 à 0.5	0.5 à 1.2	0.4 à 1.0
A côté des cours d'eau	1.0	0.8 à 1.85	0.6 à 2.5	1.6 à 3.0	
A l'intérieur des périmètres	1.9	0.8 à 1.5	1 à 2		1.0
Dans les périmètres et à côté des cours d'eau		1.5 à 2.0	2.7		3.0

Du côté Mauritanien, il convient de noter que l'aquifère du Quaternaire et une partie de l'aquifère du Continental Terminal sont rechargés par les précipitations actuelles ou par l'eau fluviale. On distingue clairement les recharges verticales par infiltration d'eaux de pluie et les recharges latérales par

infiltration d'eaux du fleuve (Travi, 2017), de même il a été confirmé l'hypothèse selon laquelle l'infiltration latérale du fleuve Sénégal est une source importante de recharge de l'aquifère. (Quaternaire, Continental Terminal et Éocène) situés au nord du fleuve Sénégal, en Mauritanie (Mohamed, 2012). La relation nappe/fleuve est illustrée par des données locales, provenant d'un puits traditionnel dont le niveau piézométrique, a été suivi quotidiennement du 08/11/2010 au 24/10/2011 (Mohamed, 2012). Une fluctuation saisonnière d'une amplitude de 0,9 m, est comparée à l'évolution saisonnière du niveau du fleuve Sénégal à Rosso, 3 km plus loin (Figure 16).

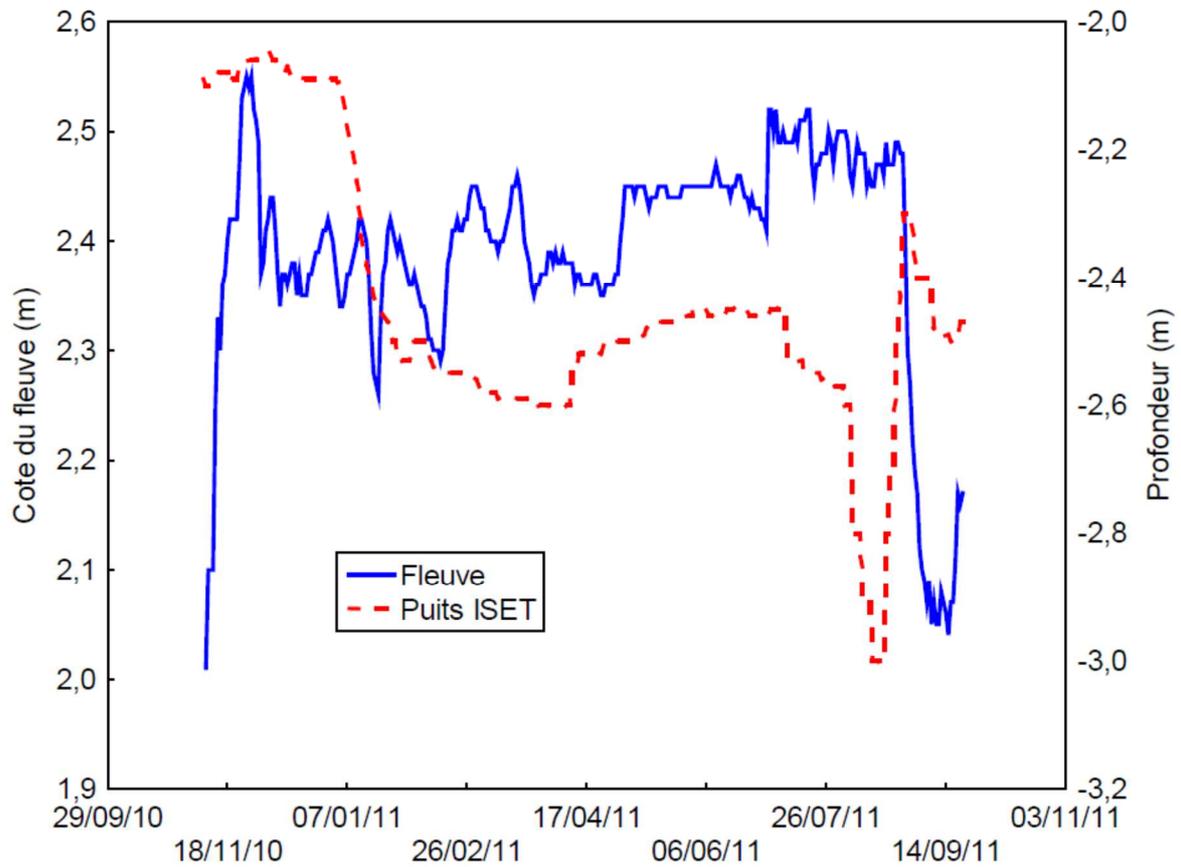


Figure 16 : Evolution du niveau de la nappe (dans un puits) et du fleuve à Rosso (in Mohamed, 2012)

La carte piézométrique de la nappe du Trarza montre également un écoulement Sud-Nord, du fleuve vers la dépression au Nord, indiquant une recharge certaine du fleuve au bénéfice de la nappe (Figure 17).

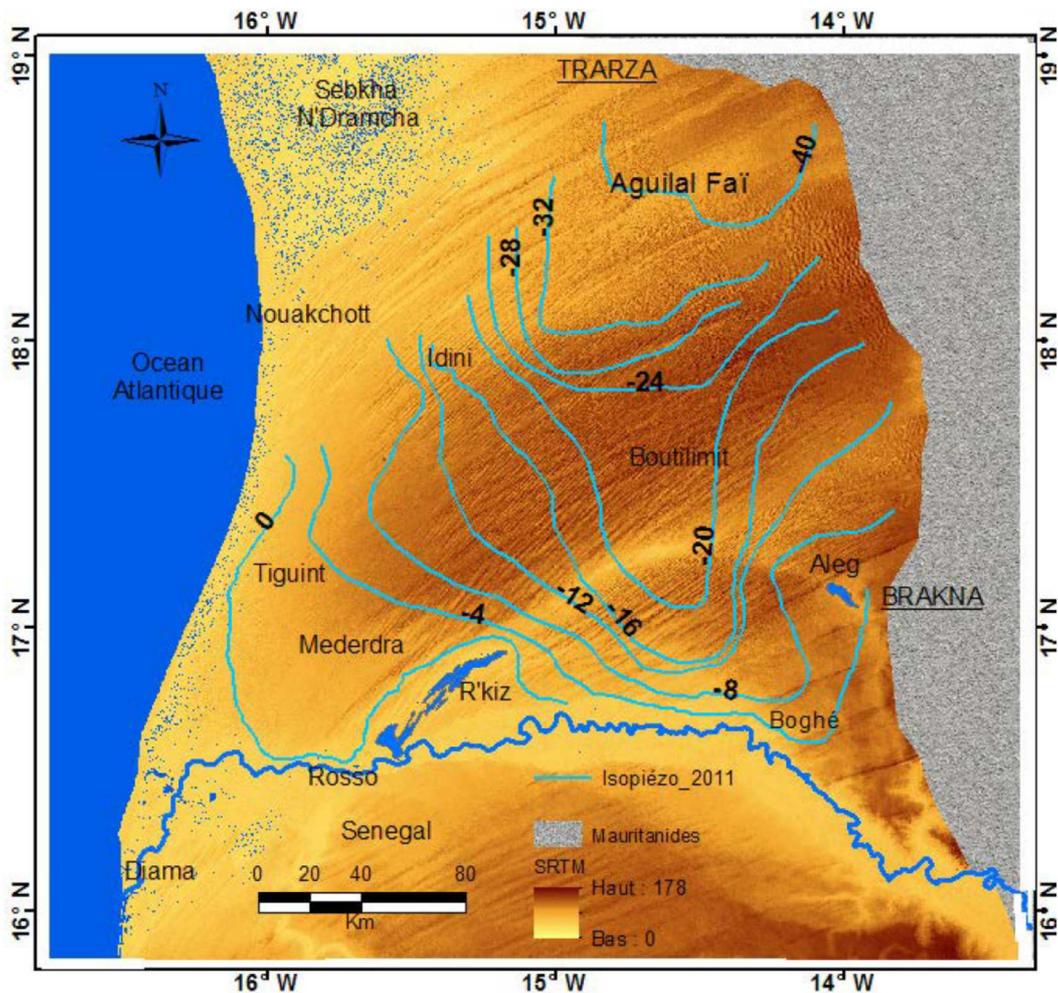


Figure 17 : Carte piézométrique de la saison sèche 2011 (in Mohamed, 2012)

Cependant dans les parties guinéenne et malienne du bassin, peu d'informations sont disponibles pour permettre une analyse pertinente. Il est toutefois certain que dans cet environnement d'aquifères de type fracturé avec une frange supérieure altérée, un échange eau de surface/eau souterraine a bien lieu. Il s'agit de disposer de données suffisantes pour confirmer et en donner l'ampleur, sur une base scientifique.

#### 4.2.2 Les échanges avec les nappes profondes

Dans le bassin, dans sa partie sédimentaire, les différentes nappes (nappes alluviale, Eocène et Maastrichtienne) sont superposées et ont une bonne relation hydraulique entre elles. Toutefois, la communication entre la nappe alluviale et la nappe Eocène est meilleure dans la zone de Podor où il n'y a pratiquement pas de différence de niveau entre ces deux nappes. Elle est moins bonne sur la zone de Kaédi où la différence de niveau peut atteindre 1 m. Cependant la communication entre la nappe du Maastrichtien et les autres nappes supérieures (alluviale et Eocène) est bonne dans la zone de Matam où le Maastrichtien, du fait de mouvements tectoniques, est moins profond (moins de 100 m).

Les résultats d'étude récente (Travi, 2017) donnent à penser qu'à l'échelle annuelle, le fleuve Sénégal n'alimente pas considérablement l'aquifère du Maastrichtien dans la zone du fleuve. Les données de  $^{14}\text{C}$  (modèle de Fontes et Garnier) montre clairement qu'une recharge a eu lieu dans le passé

(Pléistocène supérieur avec un temps de transit entre 20 000 et 35 000 ans et Holocène). Néanmoins, cette contribution du fleuve est relativement faible et le débit des eaux souterraines s'explique principalement par la recharge qui a eu lieu dans le sud-est, le long des roches du socle du « Sénégal oriental ».

#### 4.2.3 Les impacts de la construction des barrages

En régime naturel, les résultats de Diagana (1994) dans la moyenne vallée indiquaient un flux à double sens : une décharge de la nappe vers le fleuve en saison sèche et une recharge de la nappe en saison des pluies. Depuis la construction du barrage de Diama en 1989 et la régularisation du niveau du fleuve, la remontée sensible du niveau du fleuve a conduit à une recharge par les eaux du fleuve en toutes saisons. Ce phénomène est ressenti à proximité du fleuve où la nappe est remontée de 0,6 à 1 m (Diaw et al., 2019) mais aussi plus loin. Ainsi, entre Rosso et Mederdra (en Mauritanie), la piézométrie est remontée de la cote +0,35 m en 1961-1964 à +1,5 m en 2010-2012 et son amplitude annuelle a diminué de 5 m à 1,5 m. Cette importance du fleuve dans l'alimentation de la nappe est confirmée par leurs caractéristiques chimiques proches (Mohamed, 2012).

## 5 LE SUIVI PIEZOMETRIQUE, ETAT DES LIEUX

---

### 5.1 L'ETAT DES RESEAUX PIEZOMETRIQUES DANS LES PAYS DU BASSIN

#### 5.1.1 Les structures détentrices de données dans les pays de l'OMVS

##### En Guinée

Différents acteurs étatiques interviennent dans le secteur des ressources en eau. Entre autres, ils gèrent, chacun en ce qui leur concerne, des données relatives aux ressources en eau :

- La Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) est chargée de mettre en œuvre la politique du Gouvernement en matière des ressources en eau et de la définition de la politique sectorielle ; elle dispose de données plutôt sur les eaux de surface. Cependant dans le bassin du Niger, quelques piézomètres sont mis en place et suivis par la Direction Régionale, les données ne sont remontées automatiquement au niveau central.
- La Société des Eaux de Guinée (SEG) rattachée au Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie, est chargée de l'approvisionnement en eau des zones urbaines. Hormis l'élaboration des politiques et la tarification, la SEG est chargée de la planification, de l'exploitation et de l'entretien et du contrôle des systèmes d'adduction d'eau potable. Elle gère des données sur les forages des centres urbains sous sa responsabilité.
- La Direction Générale des GéoServices rattachée au Ministère des Mines et de la Géologie est chargée entre autres des données hydrogéologiques et géotechniques sur le territoire national au moyen de cartes à différentes échelles et de la recherche, la prospection et l'évaluation des ressources en eau souterraine. Elle envisage de mettre en place une base de données hydrogéologiques ; à ce stade elle n'a pas à sa disposition des informations sur le bassin du fleuve Sénégal.
- Le Service National d'Aménagement des Points d'Eau (SNAPE) est un établissement public à caractère administratif rattaché au Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie (MHE) Le SNAPE est responsable du secteur de l'hydraulique villageoise et s'occupe de la desserte en eau potable des zones rurales. Le Service dispose d'une importante base de données sur les points d'eau (forages), avec des informations sur les forages recueillies lors des réceptions des ouvrages.

## Au Mali

La gestion des ressources relève d'une de quelques institutions techniques et gouvernementales, mais aussi paraétatiques. Cependant, il convient de noter qu'en ce qui concerne le suivi des ressources en eau, la structure-clé en matière de gestion des ressources en eau est la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH). Elle est le service central chargé de :

- élaborer des stratégies d'alimentation en eau potable, de mobilisation et de gestion des ressources en eau et de veiller à leur mise en œuvre ;
- élaborer les normes régissant le secteur de l'eau et veiller à leur application ;
- **faire l'inventaire, évaluer et suivre, les ressources en eau et les ouvrages hydrauliques ;**
- planifier, contrôler et développer le service public de l'eau ;
- évaluer les programmes et les projets de réalisation ou d'aménagement d'infrastructures hydrauliques ;
- participer à la promotion de la coopération sous-régionale dans le domaine de la maîtrise et de la gestion des ressources en eau.

La DNH comprend 5 divisions, dont celle en charge du Suivi et de la Gestion des Ressources en Eau qui s'occupe, entre autres, de la collecte et de la production de données sur les eaux souterraines, comme sur les eaux de surface. Dans les régions, elle est présente également à travers les Directions Régionales de l'Hydraulique (DRH), avec notamment celle de Kayes dont le domaine d'intervention englobe l'essentiel de la partie du bassin du fleuve Sénégal se situant en territoire malien. La DRH est chargée, entre autres, de collecter, conserver, traiter et diffuser les informations sur les ressources hydrauliques et énergétiques.

Le laboratoire de qualité des eaux a pour mission de déterminer, de gérer et de protéger la qualité des eaux. A cet effet, il est chargé de l'échantillonnage, de l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux ainsi que du suivi et du contrôle de leur qualité. Il est rattaché à la Direction Nationale de l'Hydraulique.

## En Mauritanie

En ce qui concerne le suivi des ressources en eau souterraine, le Centre National des Ressources en Eau (CNRE) demeure sur le plan institutionnel la clé de voute. Il est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle du Ministère en charge de l'Hydraulique, il est doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Le CNRE est chargé de la mise en œuvre de la politique de l'État en matière de gestion durable des ressources en eau. A ce titre, il est chargé de :

- L'élaboration et la mise en œuvre des programmes d'exploitation, d'évaluation et de suivi des ressources en eau souterraine et superficielle ;
- La constitution d'une documentation exhaustive sur les ressources en eau et notamment l'établissement de cartes hydrogéologiques du pays ;
- La création et la mise à jour de banques de données sur les ressources et les ouvrages réalisés par les projets d'équipement ou de prospection de la ressource.

Il faut noter cependant que d'autres structures sont engagées dans la collecte de données piézométriques, notamment :

- La Société Nationale d'Eau (SNDE), qui est chargée de la production, du transport, de la distribution en milieu urbain. Les forages gérés la SNDE sont équipés de compteurs suivis régulièrement. De même les données de prélèvements, comme de suivi des forages des champs captant alimentant les grandes villes, sont stockées dans une base de données.

- Le Parc National du Diawling (PND) est un site protégé abritant un site important de biodiversité, qui se situe dans le sud-ouest de la Mauritanie. Il fait partie des sites inscrits dans la Convention de Ramsar depuis 1994 et a comme objectifs la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles de l'écosystème du bas delta mauritanien, et le développement harmonieux et permanent des activités des populations qui vivent à la périphérie du Parc. Le PND gère un réseau piézométrique composés aussi bien de piézomètres que de puits villageois. Les paramètres comme le niveau statique (NS), l'oxygène dissous (O<sub>2</sub>), le pH, la conductivité hydraulique (CE) sont suivis régulièrement sur une longue série, pour les plans d'eau de surface, que pour la nappe phréatique.

### Au Sénégal

La gestion des ressources en eau et leur mobilisation pour les différents usages sont une compétence du Ministère en charge de l'Hydraulique et de l'Assainissement. En son sein, la Direction de Gestion et de Planification des Ressources en Eau (DGPRE) est responsable :

- des études générales relatives aux ressources hydrauliques, à l'inventaire, à la planification et la gestion des ressources en eau ;
- **de la mise en place et de la gestion des réseaux de mesure et d'observation sur les différents aquifères (suivi et surveillance de l'évolution qualitative et quantitative) ;**
- la constitution et la mise à disposition pour tous les utilisateurs (administrations gouvernementales, collectivités locales, structures et institutions non gouvernementales, entités privées et individus), de banques de données nécessaires à la mobilisation des ressources en eau à travers les programmes de réalisation et d'exploitation des ouvrages hydrauliques ;
- de l'élaboration et du pilotage du plan directeur d'utilisation des ressources en eau ;
- de la préparation des textes législatifs et réglementaires en matière d'utilisation de l'eau, de gestion et de protection des ressources en eau, et du suivi l'application desdits textes (police de l'eau).

En dehors de la DGPRE, les principales entités publiques impliquées dans la gestion des données sur les ressources en eau sont :

- L'Office des Lacs et Cours d'eau (OLAC) est en charge désormais des eaux de surface, notamment le lac de Guiers. Il a pour mission, entre autres, le suivi qualitatif et quantitatif des ressources des lacs et cours d'eau intérieurs, conformément à la loi n°2017-17 du 5 avril 2017.
- La Société d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal (SAED), dans sa mission d'aménagement des terres pour le développement de l'agriculture irriguée en rive gauche du fleuve Sénégal et de la Falémé, gère aussi un réseau de plus d'une soixantaine de piézomètres dit OMVS, suivi mensuellement, et dont les données sont stockées dans une base de données.
- La SONES est chargée de la planification et de l'exécution des projets et programmes d'alimentation en eau potable des centres urbains ainsi que la gestion du patrimoine de l'hydraulique urbaine, gère également les données quantitatives comme qualitatives des forages utilisés dans l'approvisionnement en eau dans le domaine affermé.

#### 5.1.2 L'état du suivi piézométrique dans les pays de l'OMVS

##### En Guinée

Dans l'ensemble, le pays ne dispose pas de réseaux piézométriques qui suivent les paramètres des aquifères exploités. Toutefois, un projet pilote serait en cours pour mettre en place un réseau dans la zone de Conakry. Les données sur les aquifères ne sont pas centralisées, en effet la DNH en charge de l'évaluation et du suivi des ressources en eau (y compris les eaux souterraines) est beaucoup plus focalisée sur les eaux de surface. Le secteur souffre d'un déficit de coordination entre différents services (DNH, GéoServices, SNAPPE) et un chevauchement des domaines de compétences, avec comme conséquences une dispersion du peu d'informations disponibles, et des initiatives non concertées de collecte et de mise en place de banque de données sur les ressources en eau souterraine.

### Au Mali

Le Mali dispose aussi d'un plan de suivi piézométrique, l'état des lieux est donné en fonction des réseaux de suivi.

- **Réseau OMVS/BARRAGE MANANTALI** : Le suivi a démarré en début Mai 1977 par des mesures régulières jusqu'en Juillet 1978. Le suivi interrompu avec les travaux de construction du Barrage, a repris en 1986 et continu en principe jusqu'à nos jours. Un nombre de 12 piézomètres suivis sont repartis comme suit :
  - Axe du barrage (7 piézomètres dans l'axe du barrage rive droite et rive gauche)
  - Aval et abords immédiats du barrage (5 piézomètres rive gauche).
- **Réseau OMVS/USAID** : Ce réseau a été mise en place par l'OMVS avec le financement de l'USAID Dakar de 1988 à 1989, il est composé de 20 piézomètres du côté malien du bassin. Le suivi a démarré en Mars 1988 avec l'achèvement des premiers piézomètres et s'est arrêté en Mai 1995. La campagne de collecte des données a connu deux grandes périodes d'interruption (d'Août 1990 à Mars 1992 et de Mai 1994 à Mars 1995).
- **Réseau Projet Recasement de Manantali (PRM)** : Il est constitué par quatre (4) forages de reconnaissance du Projet Recasement de Manantali (PRM) récupérés dans le cadre du réseau OMVS/USAID. Le suivi piézométrique a démarré le 28 Novembre 1989 et s'est arrêté le 12 Mai 1995 avec les mêmes lacunes de mesure que le réseau OMVS/USAID.
- **Réseau PNUD** : Sur les 231 piézomètres, 44 ouvrages (17 forages et 27 puits) répartis entre 16 sites sont situés dans le bassin du fleuve Sénégal.
- **Réseau SADIOLA** : Il est constitué par neuf (9) forages réalisés dans la zone minière de SADIOLA pour le suivi et la surveillance des impacts du pompage et des produits de traitement de l'or.

Cependant le suivi n'est pas effectif du fait de manque de financement ayant provoqué l'arrêt du suivi piézométrique à la fin des projets qui sont initiateurs. On note aussi l'absence d'un réseau optimal qui couvre tous les systèmes aquifères et les zones sensibles ou vulnérables dans le bassin, de même le manque de mise à jour du fichier « PIEZOMETRIE » de SIGMA (base de données centralisée) et la non-intégration des données des réseaux OMVS et de la mine de SADIOLA dans la base de données gérée par la DNH.

### En Mauritanie

Il existe un plan de suivi des eaux souterraines à travers les champs captant qui alimentent les grandes villes. Ce suivi a été mise en place avec la création du CNRE, organe en charge de la gestion des ressources en eau, les paramètres prises en compte sont le niveau statique, la conductivité, la température et parfois le pH, et le débit d'exploitation. Il a pour objectif de vérifier l'état quantitatif et qualitatif de la ressource vis à vis l'exploitation, mais aussi par rapport au changement climatique. Le plan de suivi préconise une fréquence de 2 à 3 fois par an, avant la saison de pluie (période des basses eaux), pendant la saison de pluie (période intermédiaire) et après la saison des pluies (période des

hautes eaux). Les données recueillies in situ, sont stockées dans des fiches de terrains et dans les fichiers en formats Excel. Cependant pour des raisons de capacité (budgétaires, personnel...etc.) le suivi n'est pas régulier ; il l'est seulement lorsqu'il y a un projet et un financement derrière, comme récemment avec le projet AIEA. De même ces données ne sont pas partagées avec l'OMVS.

Mais toujours est-il que le suivi reste focalisé sur les champs captant qui alimentent les grandes villes. Depuis 2000 un suivi est fait 3 ou 4 fois par an, généralement par la Société nationale de l'eau (SNDE) dans les champs captant desservant les centres urbains, comme celui d'Idini.

En Mauritanie, il existe une base de données sur les points d'eau dans laquelle sont répertoriés près de 14 000 forages et puits traditionnels et modernes, mais qui contient peu d'éléments d'information complémentaires (données géologiques et niveaux statiques des nappes). En 2005, la Société nationale de l'eau (SNDE) a fourni des mesures concernant 500 forages : 400 pour la région de Trarza et 100 pour la région de Brakna (TRAVI, 2017). Les données sur la qualité ne sont pas en général disponibles, sauf celles obtenues lors de la réalisation des ouvrages, encore que tous les forages réalisés ne soient pas remontés au CNRE (GTR, 2020).

Il faut noter que le CNRE ne dispose pas de suffisamment de moyens pour assurer la surveillance des eaux souterraines. Le suivi des eaux souterraines est également réalisé par le Parc National du Diawling (qui dépend du Ministère de l'Environnement), mais dont les données ne sont pas partagées. Ce qui pose un problème de centralisation des données, mais aussi de coordination dans le secteur.

### **Au Sénégal**

Au Sénégal, la DGPRE procède à des campagne de suivi piézométrique, avec des séries qui datent depuis les années 60, le suivi prend en compte l'aquifère et la problématique de gestion, elle a une couverture assez correcte et concerne les principaux aquifères du pays. En 2019 498 ouvrages ont été suivis, dont 290 piézomètres, 127 forages, 16 forages-puits et 65 puits (GTR, 2020b). Les données sont stockées dans la base CHRONO. La fréquence du suivi dépend de la pression sur l'eau ; en effet dans les zones où la nappe est moins sollicitée (zone Nord, Casamance, bassin arachidier, Tamba et Kaffrine) les opérations de suivi se font en général 2 fois par an. Cependant dans le Horst selon, la fréquence est plus rapprochée (4 fois par an), cependant elle est tributaire des projets de financement, pour la zone de Dakar, un suivi mensuel est effectué.

La SONES, en revanche, effectue un suivi 2 fois l'année au moins dans les zones de production. La SONES dispose aussi d'un réseau piézométrique installé dans les champs captant. Les paramètres in situ (NS, CE, pH, T et TDS) sont en général enregistrés

La qualité des eaux souterraines est mesurée deux fois par an, avant et après la saison des pluies. Ces opérations sont financées par le Ministère de l'hydraulique et de l'assainissement. Il arrive que des ONG, des chercheurs ou d'autres personnes poursuivent les recherches sur la qualité des eaux pour mieux la comprendre ; il n'est pas établi que ces données soient partagées avec la DGPRE, en charge de la gestion des ressources en eau.

La qualité et le niveau des eaux souterraines sont suivis, par ailleurs la surveillance de la qualité des eaux souterraines prend notamment en compte les paramètres physiques, des ions majeurs et de la microbiologie (principalement dans l'alimentation des centres urbains). Cependant le nombre de forages/puits suivis et la fréquence de la surveillance assurée par la DGPRE est fonction du budget disponible, qui dépend lui-même en partie des projets financés. En 2019, près de 500 points, dont 290 puits d'observation, ont été suivis.

## 5.2 LE SUIVI PIEZOMETRIQUE DANS LE BASSIN DU FLEUVE

L'OMVS collecte des données hydrogéologiques depuis 2018 auprès des structures étatiques chargées du suivi des eaux souterraines, sur recommandation de la Commission Permanente des Eaux (CPE) ; l'objectif affiché est d'améliorer la connaissance des eaux souterraines, de faire un diagnostic afin de mettre en place un suivi sur les zones où la gestion a un impact sur les eaux de surface.

### 5.2.1 Quelques rappels des actions de suivi de l'OMVS

L'Organisation a mis en place un réseau dans la vallée du fleuve Sénégal dans le cadre du Projet "Cellule des Eaux souterraines" de l'OMVS et de l'USAID entre janvier 1985 et juin 1990. Initialement il était composé de 237 piézomètres en Mauritanie, 328 piézomètres au Sénégal et 20 piézomètres dans le haut bassin au Mali. Ce réseau a été conçu et orienté vers l'identification et le contrôle des modifications du régime des eaux souterraines, liées à l'exploitation des barrages et au développement intensif de l'agriculture irriguée au droit des formations alluviales du bassin du fleuve Sénégal. Ses principaux objectifs étaient :

- comprendre les mécanismes d'échanges hydrauliques entre le fleuve et les formations aquifères latérales et sous-jacentes, à la suite de la mise en eau des barrages ;
- maîtriser les conséquences liées au développement de l'irrigation en zones alluviales (piézométrie et salinisation) ;
- évaluer les ressources potentielles des aquifères profonds dans la zone de Matam-Boghé.

Entre 1987 et 1991, un suivi régulier mensuel était effectué sur la piézométrie et les paramètres physico-chimiques avant que le réseau ne soit rétrocédé aux États membres en 1995. Actuellement beaucoup de ces ouvrages ne sont plus fonctionnels. Le constat a été fait depuis l'étude diagnostique réalisée par l'OMVS en 2008 (Kane, 2008), un réseau optimum avait été proposé (Figure 18). A la suite de cette étude des travaux de construction et de réhabilitation ont été entamés et entièrement finalisés, cependant le constat actuel, est que le réseau n'est pas suivi et en plus certains ouvrages ne sont plus fonctionnels.

Cependant plusieurs réseaux ont été identifiés dans le bassin au sein de chaque pays membre mais ne font généralement pas l'objet d'un suivi régulier.

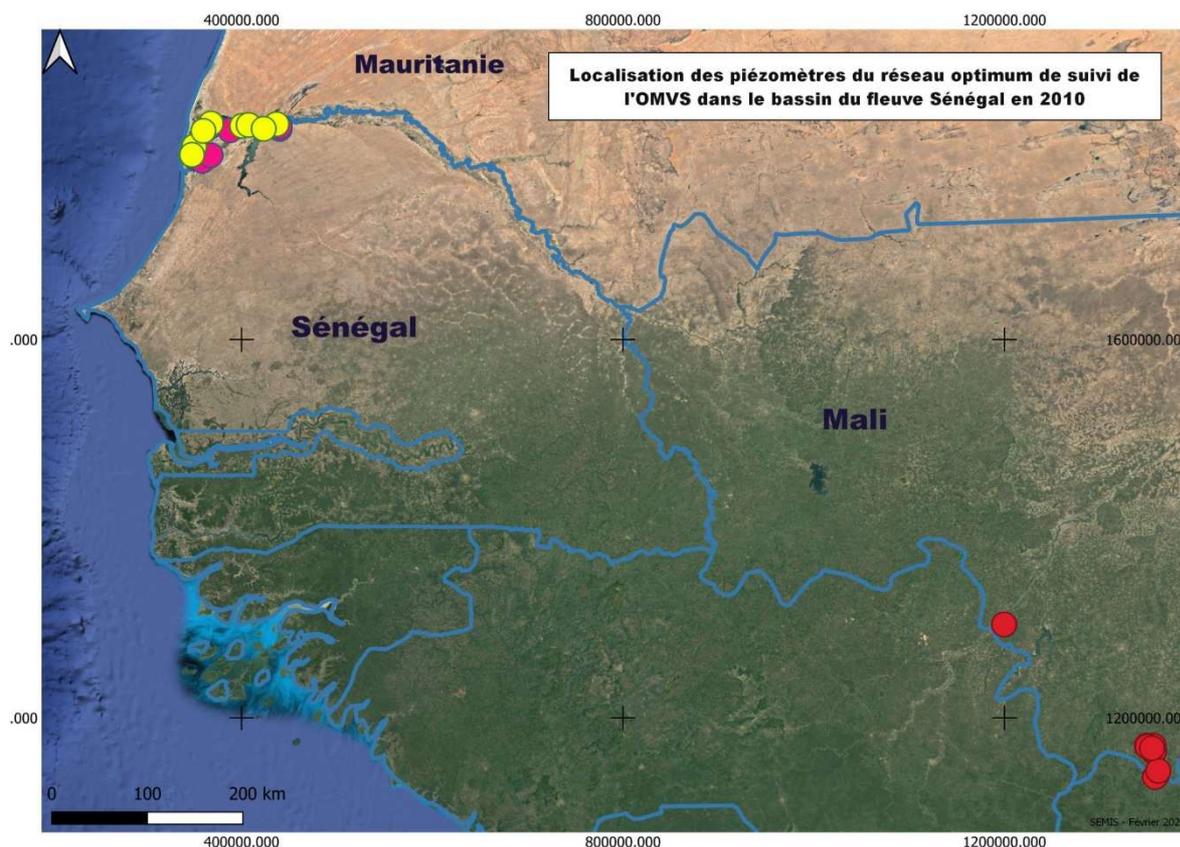


Figure 18 : Localisation réseau optimum proposé en 2008 par l'OMVS

### 5.2.2 La situation du réseau au Mali

Les réseaux piézométriques existant dans le haut bassin du Fleuve Sénégal ne font pas en général l'objet d'un suivi régulier et peuvent être considérés pour certains comme des réseaux temporaires mis en place par différents projets intervenus dans cette zone. Ainsi différents réseaux sont identifiés et listés dans les lignes qui suivent.

**Le réseau OMVS du Projet "Cellule des Eaux souterraines"** de l'OMVS/USAID mis en place entre janvier 1985 et juin 1990. Il est composé initialement de 20 piézomètres localisés dans les environs du barrage de Manantali, il avait pour objectifs d'étudier l'influence du barrage sur les nappes et les interactions fleuve/nappe. Entre 1987 et 1991, un suivi régulier mensuel était effectué sur la piézométrie et les paramètres physico-chimiques avant d'être rétrocédé au Mali en 1995. Depuis aucun suivi n'était plus opéré. L'étude diagnostique du réseau réalisée par l'OMVS en 2008 dans le cadre du Projet de Gestion des Ressources en Eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal, avait fourni l'état des ouvrages :

- 8 piézomètres sur 20 ont été jugés en bon état,
- 4 piézomètres ont été jugés fonctionnels mais avec un risque des comblement (absence de systèmes de fermeture),
- 4 piézomètres bouchés ou défectueux,
- 3 piézomètres inaccessibles et
- 1 piézomètre non retrouvé.

Un réseau optimum de suivi avait été proposé après la réhabilitation et la création de nouveaux piézomètres dans le cadre du Projet GEF/BFS de l'OMVS, avec cofinancement du Royaume des Pays Bas. Ce réseau optimum était composé de 10 piézomètres localisés dans les environs du barrage de Manantali (Figure 19). Les objectifs visés étaient de suivre l'influence des aménagements hydro agricoles, le niveau et la qualité des nappes, la communication nappe – fleuve et l'influence du barrage de Manantali. Quelques caractéristiques de piézomètres suivis sont présentées (Tableau 7).

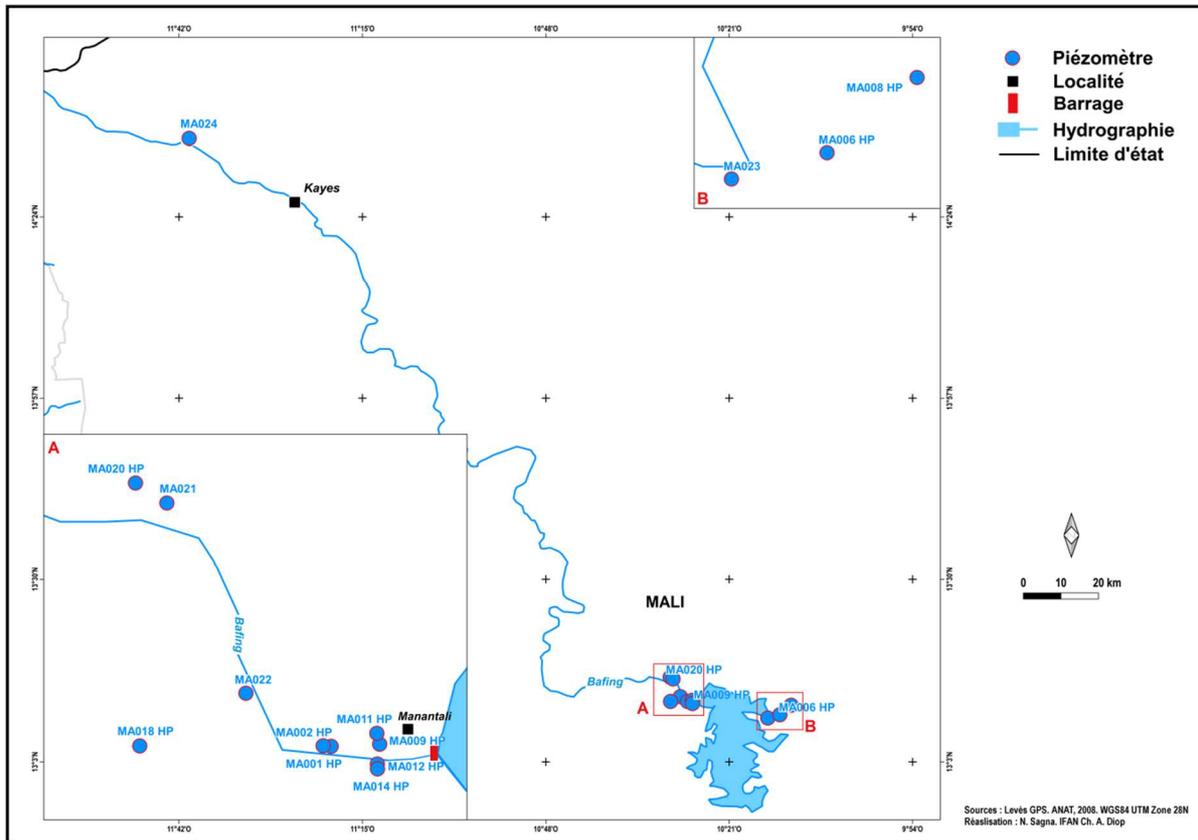


Figure 19 : Localisation des piézomètres aux alentours du barrage de Manantali

Tableau 7 : Localisation et caractéristiques technique des piézomètres du réseau optimum de suivi

Code	Coordonnées GPS		Alt/RM (m)	Prof. totale du piézo /RM (m)	Niveau Statique avant réhab. (m)	Débit de foration (m <sup>3</sup> /h)
	Longitude	Latitude				
MA001 HP	13° 11' 56.0''	10° 27' 09.0 ''	162.168	15.00	5.17	7.2
MA002 HP	13° 11' 56.1''	10° 27' 09.1 ''	162.127	44.63	5.26	21.6
MA006 HP	13° 09' 58.2''	10° 13' 33.1 ''	229.647	70.83	14.06	17.7
MA008 HP	13° 11' 22.2''	10° 11' 53.0 ''	259.648	70.00	11.28	26.0
MA009 HP	13° 11' 57.4''	10° 26' 23.09 ''	162.139	40.22	4.33	32.0
MA011 HP	13° 12' 06.3''	10° 26' 25.3 ''	164.295	78.00	6.24	4.6
MA012 HP	13° 11' 41.2''	10° 26' 24.9 ''	162.261	42.25	6.08	25.1
MA014 HP	13° 11' 37.2''	10° 26' 24.8 ''	162.164	80.24	5.72	4.2
MA018 HP	13° 11' 56.0''	10° 29' 38.5 ''	163.249	58.30	5.62	36.0
MA020 HP	13° 15' 32.1''	10° 29' 42.0 ''	160.16	73.00	2.85	19.9
MA023	13°09'28.9''	10° 15' 19.3''		34.5	6.60	4.91

<b>MA021</b>	13°15'15.7''	10° 29'16.4 ''		51	7.60	54
<b>MA022</b>	13°12'39.1''	10°28'28.3''		41	6.10	72
<b>MA024</b>	14° 35' 33.0''	11° 40' 27,5''		85	0	Négatif

D'autres réseaux existent dans la partie malienne du bassin, il s'agit :

- **Le réseau de la SOGEM** qui est constitué d'une cinquantaine de piézomètres situés à proximité du barrage (sur une ligne de 400 m en aval du barrage), il est suivi régulièrement.
- **Le réseau du Projet de Recasement de Manantali (PRM)** était constitué de quatre (4) forages de reconnaissance récupérés du réseau piézométrique de l'OMVS/USAID. Le suivi de ce réseau s'est déroulé du 28 novembre 1989 au 12 mai 1995.
- Le réseau PNUD a été mis en place à partir de 1981. Ce réseau national était constitué de 231 piézomètres dont 44 ouvrages situés dans le bassin du fleuve Sénégal. Il a été suivi de 1982 à 1994. Actuellement tous ces piézomètres ne sont plus fonctionnels.

Dans le Haut Bassin, les eaux sont nettement moins minéralisées. Les mesures de conductivité effectuées dans la zone du barrage de Manantali montrent dans l'ensemble des valeurs faibles, excepté 4 valeurs fortes correspondant aux ouvrages en proximité du barrage (Tableau 8).

*Tableau 8 : Résultats des mesures de conductivités aux environs du barrage de Manantali*

Code	Alt/RM (m)	pH	Conductivité $\mu\text{S/cm}$
<b>MA001 HP</b>	162.168	7,87	7100
<b>MA002 HP</b>	162.127	7,7	10960
<b>MA006 HP</b>	229.647	8,02	342
<b>MA008 HP</b>	259.648	7,95	441
<b>MA009 HP</b>	162.139	7,8	76,70
<b>MA011 HP</b>	164.295	8,09	337
<b>MA012 HP</b>	162.261	7,8	8300
<b>MA014 HP</b>	162.164	7,8	234
<b>MA018 HP</b>	163.249	8,01	413
<b>MA020 HP</b>	160.16	7,85	4290
<b>MA023</b>		8,02	347
<b>MA021</b>		7,70	411
<b>MA022</b>		6,65	145

### 5.2.3 La situation du réseau en Mauritanie

**Le réseau OMVS du Projet "Cellule des Eaux souterraines"** de l'OMVS/USAID mis en place entre janvier 1985 et juin 1990 dans le du Projet "Cellule des Eaux souterraines" était initialement composé de 227 piézomètres en Mauritanie. Beaucoup de ces ouvrages ne sont plus fonctionnels actuellement, ou en tout cas ne sont pas suivi par le CNRE. L'étude diagnostique réalisée en 2008 dans le cadre du Projet de Gestion des Ressources en Eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal, Cofinancement du Royaume des Pays-Bas (Kane, 2008), avait permis la mise en place et la réhabilitation du réseau. Les investigations menées avaient fourni les résultats suivants :

- 17 piézomètres sur 39 ont été jugés en bon état,
- 16 piézomètres bouchés ou défectueux et
- 6 piézomètres inaccessibles envahis par Typha.

À la suite de cette étude diagnostique sur l'état des piézomètres, un réseau optimum de suivi a été mis en place par l'OMVS en 2010, dans le cadre du Projet GEF/BFS de l'OMVS, Cofinancement Royaume des Pays Bas. Il était composé de 09 piézomètres localisés dans le Delta mauritanien en rive droite, ce réseau délimite 3 zones géographiques bien définies : la zone de Keur Macène, les périmètres de M'Pourie, et les environs du barrage de Diama (Figure 20). Les objectifs visés étaient le suivi de l'influence des aménagements hydro agricoles, le suivi quantitatif et qualitatif des nappes, le suivi de la salinisation des terres, la communication nappe – fleuve et l'influence barrage de Diama.

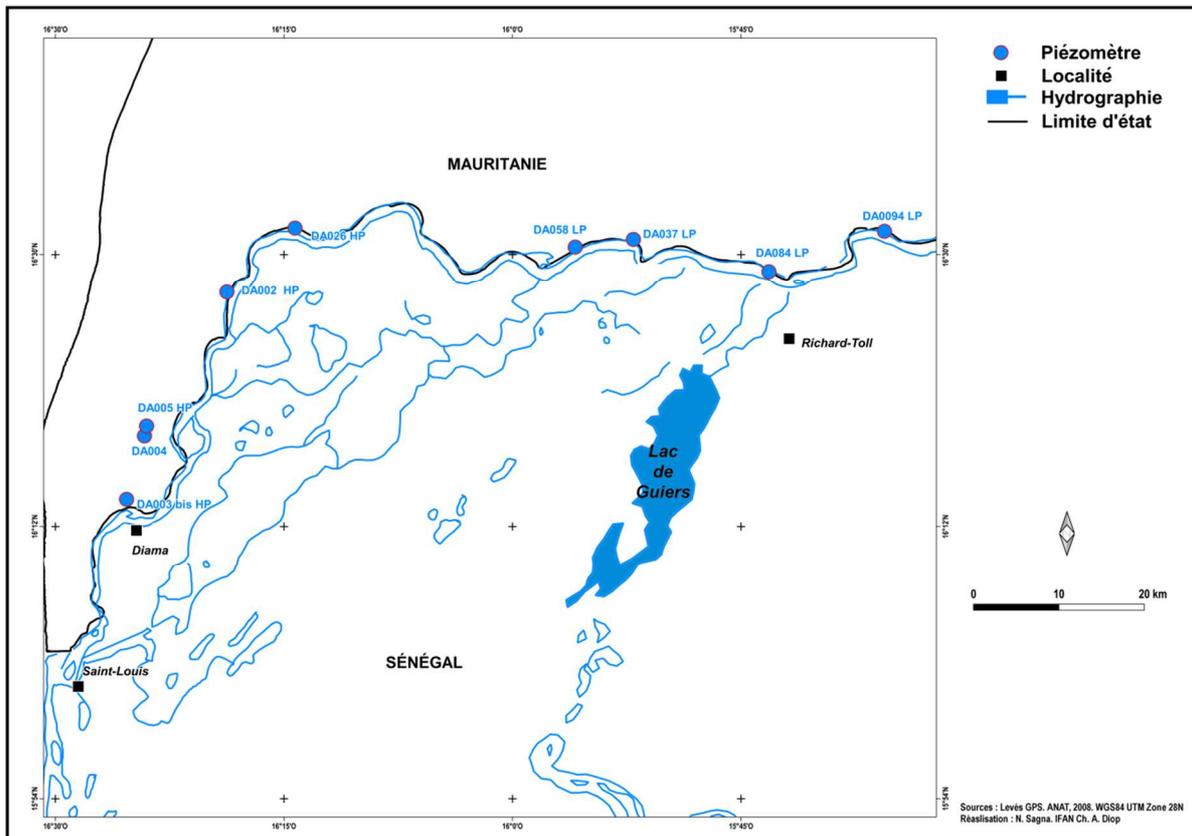


Figure 20 : Localisation des piézomètres dans le Delta mauritanien

**Le réseau du Parc National de Diawling** entretient aussi un réseau piézométrique, suivi régulièrement. Il est composé de 8 piézomètres et de puits villageois (Figure 21). Le suivi n'a pas de visée hydrogéologique, surtout fait un focus sur la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles et le développement harmonieux et permanent des diverses activités des populations locales.

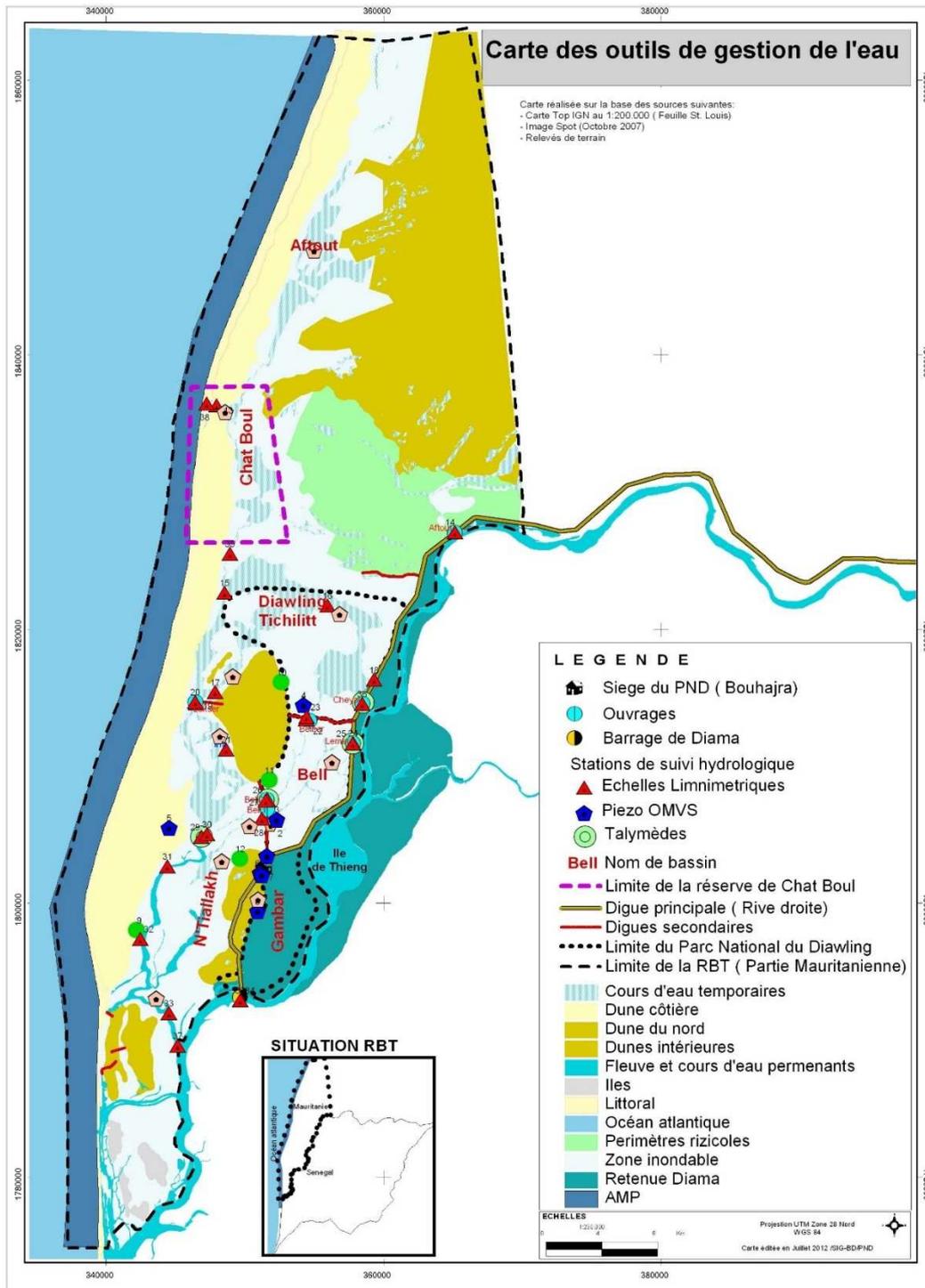


Figure 21 : Etat des ouvrages suivi par le Parc National de Diawling (source : PND)

#### 5.2.4 La situation du réseau au Sénégal

Dans la zone du delta, de la basse et moyenne vallée du fleuve Sénégal, différents réseaux ont été identifiés.

**Le réseau OMVS du Projet "Cellule des Eaux souterraines"** de l'OMVS et de l'USAID : Composé initialement de 328 piézomètres au Sénégal beaucoup de ces ouvrages ne sont plus fonctionnels. Dans le cadre du Projet de Gestion des Ressources en Eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal,

avec co-financement du Royaume des Pays-Bas, une étude diagnostique de l'état des piézomètres a été réalisée en 2008 (Kane, 2008) pour la mise en place et la réhabilitation du réseau. Cette étude avait pour objectif de doter l'OMVS d'un système de gestion de données devant lui permettre d'élaborer un plan directeur de gestion des eaux de surface et souterraines à la suite de la réalisation des barrages de Diama et de Manantali sur le Fleuve Sénégal. Les investigations menées avaient fourni les résultats suivants sur l'état des piézomètres mis en place par du projet OMVS/USAID :

- 8 piézomètres sur 20 ont été jugés en bon état,
- 4 piézomètres ont été jugés fonctionnels mais avec un risque des comblement (absence de systèmes de fermeture),
- 4 piézomètres bouchés ou défectueux,
- 3 piézomètres inaccessibles et
- 1 piézomètre non retrouvé.

En 2010, dans le cadre du Projet GEF/BFS de l'OMVS, cofinancement du Royaume des Pays Bas, un réseau optimum de suivi a été mis en place par l'OMVS à la suite de la réhabilitation de certains piézomètres et la création de nouveaux piézomètres en se basant d'une part sur le réseau OMVS existant au Sénégal et d'autre part sur les résultats de la mission de diagnostic de l'état du réseau réalisée en 2008. Ce réseau optimum composé de 09 piézomètres localisé dans le Delta en rive gauche (Figure 22) délimite 3 zones géographiques bien définies : le périmètre de Débi, les périmètres de Boundoum et de Thiagar et les environs du barrage de Diama.

Les objectifs visés étaient le suivi de l'influence des aménagements hydro agricoles, le suivi quantitatif et qualitatif des nappes, ainsi que de la salinisation des terres, mais aussi la communication nappe – fleuve et l'influence du barrage de Diama. Les caractéristiques hydrauliques des piézomètres montrent des débits spécifiques relativement médiocres (Tableau 9).

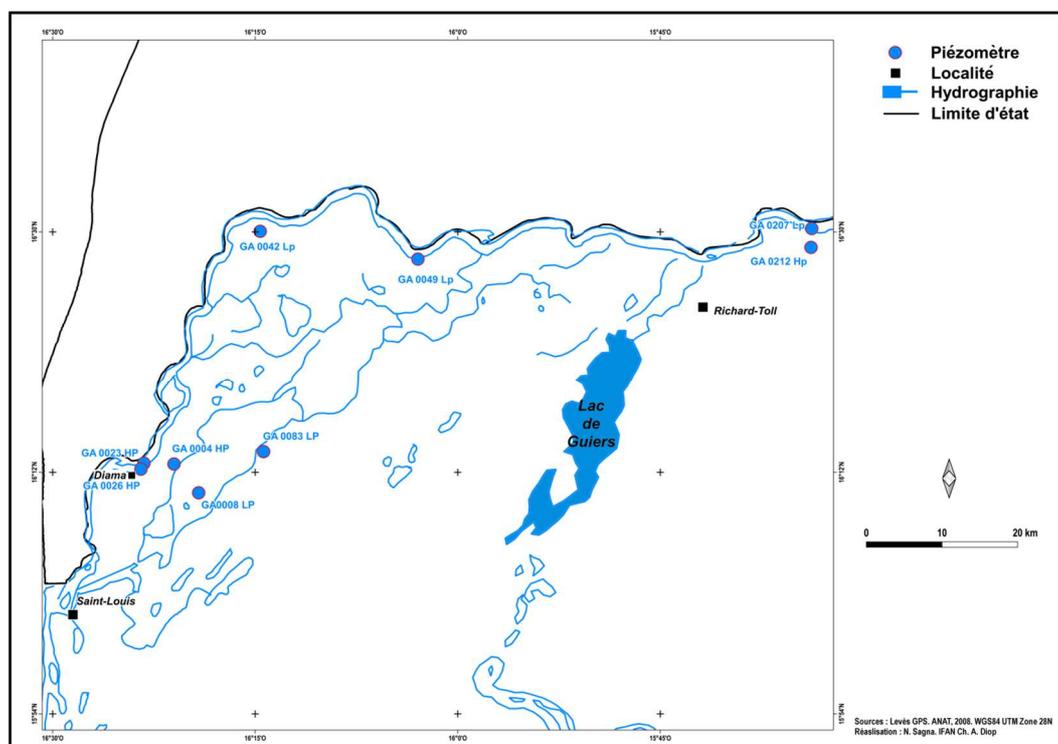


Figure 22 : Localisation des piézomètres du réseau optimum au niveau du delta du fleuve Sénégal

Tableau 9 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère au niveau du delta du Sénégal

Référence	X UTM	Y UTM	NS/repère (m)	Débit max (m <sup>3</sup> /h)	Rabat (m)	Aquifère
GA 0023 HP	351700	1792800	3.36	6,38	8,34	Qua-alluv
GA 0004 HP	355670	1792672	2.88			Qua-alluv
GA 0026 HP	351300	1792000	4.68	7,12	6,07	Qua-alluv
GA 0042 Lp	367240	1824741	4.30			Qua-alluv
GA 0212 Hp	439800	1822200	9.10	7,74	13,88	Qua-alluv
GA 0207 Lp	439900	1824800	3.80			Qua-alluv
GA 0049 Lp	388000	1820800	3.10			Qua-alluv
GA0008 LP	358900	1788700	2.10	10,23	15,57	Qua-alluv
GA 0083 LP	367500	1794300	1.15	1,14	7,77	Qua-alluv

Le réseau piézométrique de la SAED est localisé dans le Delta du fleuve (Figure 23). Il a été mis en place depuis août 1997, il est constitué d'une cinquantaine de piézomètres dont une partie est reprise du réseau du Projet "Cellule des Eaux souterraines" OMVS/USAID. Les objectifs visés sont l'identification et le contrôle des modifications du régime des eaux souterraines liées aux aménagements hydro-agricoles.

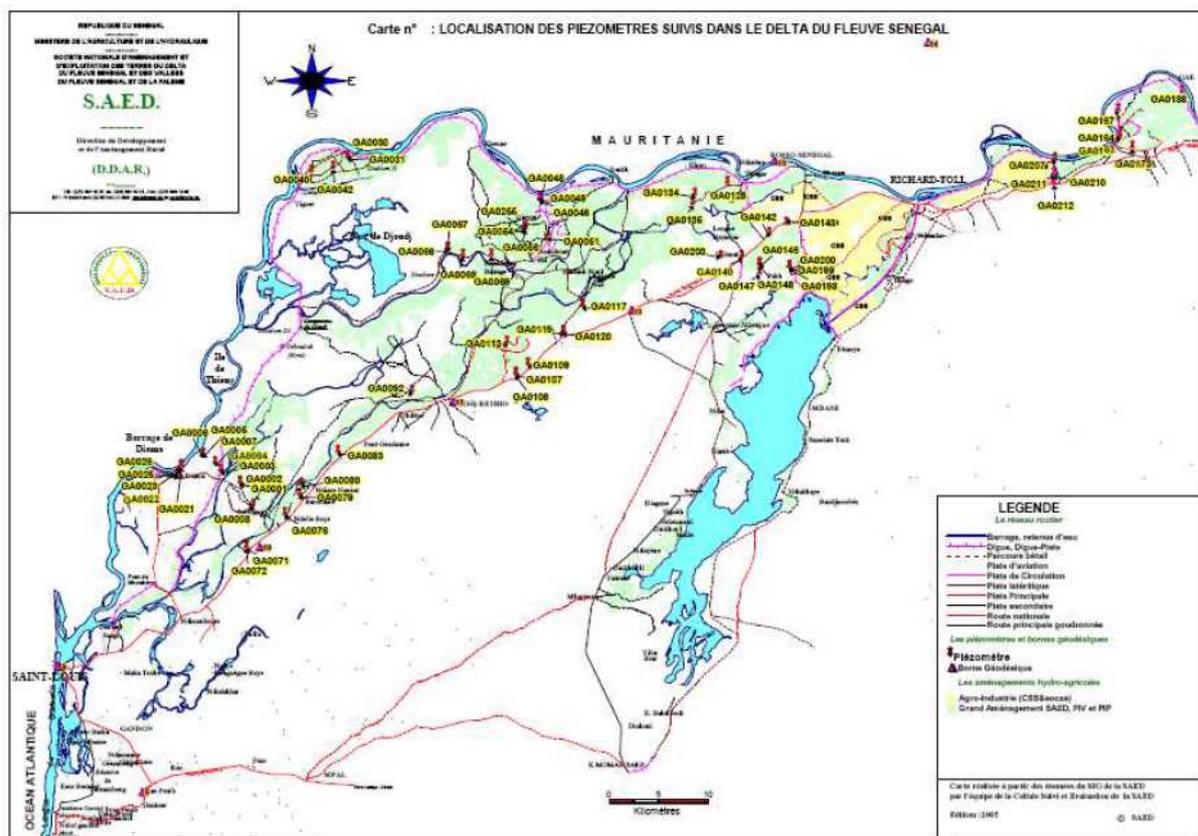


Figure 23 : Localisation des piézomètres OMVS suivis par la SAED (source SAED)

**La Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS)** assure aussi un suivi très localisé sur des piézomètres situés dans les périmètres exploités pour la canne à sucre et d'un forage abandonné. Les mesures portent sur les niveaux d'eau, et les paramètres physico-chimiques classiques (température, conductivité et élément majeurs et traces).

**Le réseau de suivi de la Direction de Gestion de Planification des Ressources en Eau (DGPRE)** mis en place depuis 1997, est composé actuellement d'une vingtaine de piézomètres (Figure 24). Des suivis réguliers de la piézométrie, des paramètres physico-chimiques et des analyses chimiques sont effectués chaque année en périodes d'étiage et de crue.

Une mission récente organisée par la DGPRE en 2021 montre que les eaux sont en général de qualité médiocre pour l'alimentation en eau potable. Au niveau du Delta les eaux ont des conductivités extrêmement élevées traduisant ainsi les fortes salures de la nappe alluviale tandis que sur la Vallée et le Haut Bassin, les eaux sont nettement moins minéralisées. (Tableau 10).

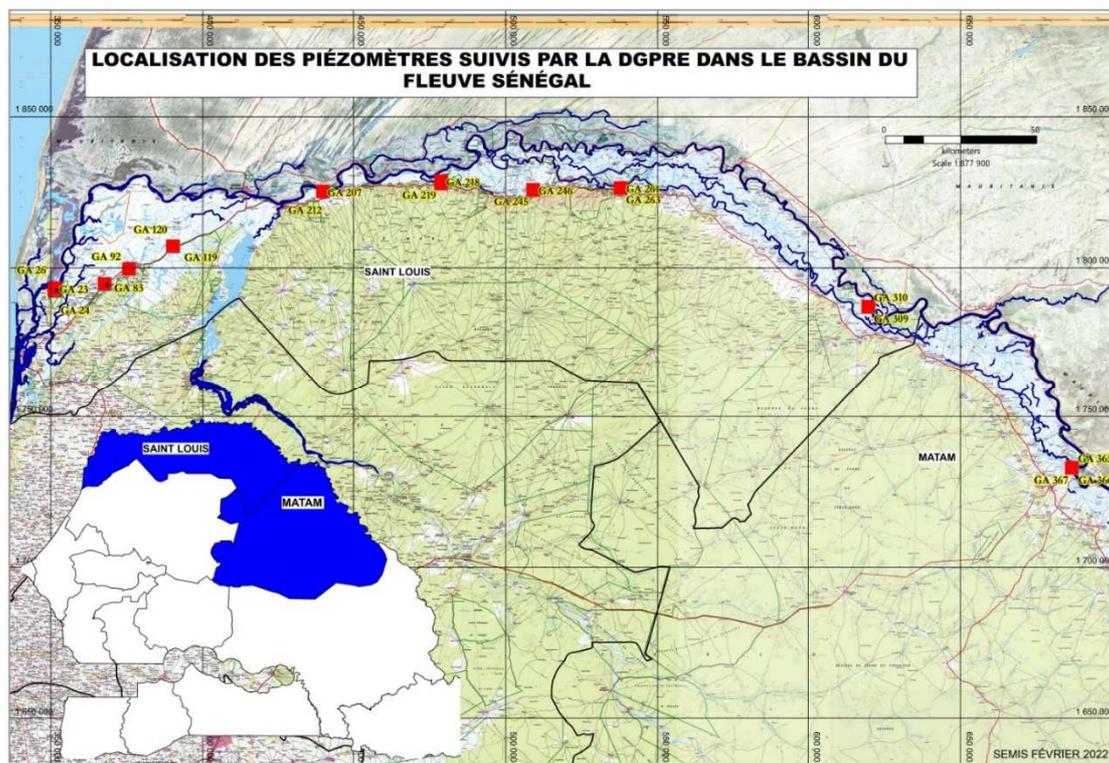


Figure 24 : Localisation de piézomètres suivi par la DGPRE

Tableau 10 : Caractéristiques de piézomètres suivis en décembre 2021 (source DGPRE)

Désignation et localité	Longitude	Latitude	Altitude	NS/sol	Conductivité μS/cm	Aquifère
GA 26	-16,3919	16,205	5,098	3,89	25500	Qua-al
GA 23	-16,3892	16,2127	4,276	2,13	17820	Qua-al
GA 24	-16,3892	16,2127	4,941	2,38	7340	Qua-al
GA 83	-16,2369	16,2264	3,047	1,69	2100	Qua-al
GA 92	-16,1625	16,2719	2,703	1,14	30700	Qua-al
GA 119	-16,0263	16,3405	3,414	0,16	36500	Qua-al

	Désignation et localité	Longitude	Latitude	Altitude	NS/sol	Conductivité μS/cm	Aquifère
GA 120	KASSACK SUD	-16,0269	16,3411	3,437	4,5	78800	Qua-al
GA 207	MBILOR	-15,5639	16,5072	4,7	3,56	15460	Qua-al
GA 212	MBILOR	-15,564	16,5074		3,32	4050	Maa
GA 218	FANAYE GALENKA	-15,1978	16,5386	5,628	7,86	268	Qua-al
GA 219	FANAYE ISRA	-15,1989	16,5322	4,727	7,55	3680	Calcaire (EM)
GA 246	NIANGA DIERY	-14,9139	16,5128	9,83	11,61	1157	Qua-al
GA 245	NIANGA DIERY	-14,9139	16,5128	9,83	11,63	506	Qua-al
GA 261	NDIOUM	-14,6433	16,5183	8,572	6,76	238	Qua-al
GA 263	NDIOUM	-14,6433	16,5181	8,615	6,39	219	Qua-al
GA 309	SALDE	-13,88	16,1586	12,442	7,73	406	calcaire (EM)
GA 310	SALDE	-13,8796	16,1581	12,429	6,97	163	Maa
GA 365	MATAM	-13,2561	15,6678	16,728	6,83	150	Eo
GA 366	MATAM	-13,2556	15,6672	16,782	7	107	Qua-al

La **SEN'EAU** dispose aussi d'un réseau constitué par les forages exploités pour l'alimentation en eau, par exemple des villes de Podor, Matam et Ndoum. Il existe d'autres **réseaux temporaires** suivis dans le cadre de recherche, de programmes universitaires ou de développement (**IRD, UCAD**).

## 6 SCHEMA POUR LE SUIVI ET L'AMELIORATION DES CONNAISSANCES DES AQUIFERES DU BASSIN

### 6.1 CARTOGRAPHIE DES ZONES LACUNAIRES DU BASSIN

Il s'agit des zones déficitaires en termes de connaissance, en rapport avec leur liens éventuels ou potentiels avec le fleuve. La revue documentaire réalisée, montre que les pays du bassin, avec des degrés différents, ont certes effectué beaucoup d'études/recherches sur les aquifères et acquis des connaissances sur l'hydrogéologie dans leur partie du bassin ; mais celles-ci sont sectorielles et fragmentaires, surtout, en ce qui concerne les unités aquifères transfrontières. En effet elles ont porté le plus souvent sur une portion du système aquifère de leur territoire. Dans les lignes qui vont suivre, les principaux déficits de connaissance seront exposés dans les zones jugées lacunaires du bassin. La gestion efficace et durable des ressources en eaux nécessite une bonne connaissance de l'hydrologie, mais et surtout de l'hydrogéologie, mais aussi des besoins et des pressions qui s'exercent sur ces ressources.

#### 6.1.1 Les insuffisances sur la connaissance des systèmes aquifères de la vallée

Les études réalisées ou la documentation existante dans cette zone entre la Mauritanie et le Sénégal, sont le plus souvent rares et fragmentaires ; elles se limitent à des rapports techniques inédits, on trouve peu de travaux de recherche vraiment nouveaux et ils se limitent souvent à l'interprétation des données existantes. Par exemple, Mohamed (2012) évoque le déficit de données sur les paramètres hydrodynamiques du système aquifère, très variables du fait de la diversité des faciès des formations aquifères, et qui ont une fiabilité limitée ; ce qui est un handicap certain dans la quantification de la dynamique entre le fleuve et les nappes existantes.

Si les connaissances sont assez bonnes en ce qui concerne les eaux de surface dans la région, il en est autrement au niveau des eaux souterraines, elles sont fragmentaires et nationales. En effet les études réalisées, demeurent pour l'essentiel cibler des problématiques nationales, or les aquifères sont pour l'essentiel transfrontières.

Il s'agit donc pour l'OMVS, partie prenante dans le Projet de « Mise en place de la coopération transfrontière pour une gestion durable et résiliente du bassin aquifère sénégal-mauritanien (BASM) », de travailler dans ce cadre afin de compléter ces lacunes à travers une synthèse cartographique des données et des informations disponibles sur les eaux souterraines à l'échelle de la vallée. Son objectif serait à termes, de faire une modélisation du système aquifère en relation avec l'environnement du bassin du fleuve, en prenant en compte le réseau hydrographique du fleuve, les aménagements hydroagricoles, les écosystèmes du delta...etc. Ce serait un outil complémentaire et dynamique (mise à jour avec les données de suivi !), à la disposition de l'OMVS, pour une meilleure connaissance de la dynamique eau de surface/eau souterraine, mais aussi une meilleure compréhension des impacts des changements climatiques.

#### 6.1.2 Le gap de connaissance sur les liens aquifères du bassin de Taoudéni et le fleuve

Les aquifères d'une partie du bassin aquifère de Taoudéni demeurent dans l'emprise du bassin versant du fleuve Sénégal, surtout dans sa partie mauritanienne. Ils sont constitués des aquifères :

- du Tagant à caractère discontinu et exploités par des forages à des débits variant de 5 à 12 m<sup>3</sup>/h et la formation sableuse de la plaine de N'Beika (aquifère continu) contenant à une faible profondeur, une nappe très productive (20 à 50 m<sup>3</sup>/h) et peu minéralisée (400 à 500mg/l).
- des grès de l'Assaba et des sables de l'Aouker avec la même continuité géologique avec ceux de Tagant (CNRE, 2016). Les débits obtenus dans des schistes et des grès sont de l'ordre de 1-8 m<sup>3</sup>/h, la salinité de 282 - 576 mg/l. L'étude piézométrique de la zone Sud de l'Assaba indique un écoulement souterrain qui se produit selon l'axe NEE-SWW en direction du fleuve Sénégal (Friedel and Finn, 2008).
- des grès d'Aïoun avec des caractéristiques hydrodynamiques des grès très hétérogènes, et les débits sont de l'ordre de plusieurs m<sup>3</sup>/h. La qualité des eaux est très douce notamment dans les massifs de grès (300 µS/cm). Les régions à conductivité élevée (1000 et parfois 3000 µS/cm) correspondent à des plaines ou à des dépressions (CNRE, 2016).

Leur dénomination par rapport aux localités géographiques est une indication d'un déficit de connaissance sur leur extension, leur limites et probablement leur relation hydraulique (par exemple entre Tangent et Assaba). L'OMVS pourrait s'intéresser à l'amélioration des connaissances sur ces aquifères, de même que les interactions avec le fleuve. Une collaboration avec l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), et avec les institutions de recherche des pays du bassin serait un cadre approprié pour entreprendre des études dans ces zones.

#### 6.1.3 Les insuffisances sur la connaissance les aquifères de socle

Les aquifères du socle dans le bassin du fleuve Sénégal se trouvent principalement dans l'Est du Sénégal, le Sud-Ouest du Mali et la partie Guinéenne du bassin. Ils fournissent des débits relativement faibles et moins prévisibles, en raison de leurs propriétés hydrogéologiques liées principalement à l'absence de porosité primaire et à la présence de fractures et d'altérations. La disponibilité des eaux souterraines dépend surtout des taux de recharge par les précipitations, ou des cours d'eau de surface. Par exemple dans la partie Guinéenne, ils contiennent d'importantes ressources en eau dont dépend la population vivant cette partie du bassin, pour leur besoins essentiels en eau.

Dans cet environnement hydrogéologique complexe, les connaissances sont plutôt locales et servent pour les besoins d'implantation de forages productifs. Il n'y a pas d'information sur leur potentialité régionale, ou même transfrontière, ni sur leur écoulement et leur relation avec les eaux de surface, sur une base scientifique. En partenariat avec les institutions de recherche des pays du bassin, l'OMVS pourrait envisager une étude globale des aquifères du socle dans son bassin, avec comme objectifs d'avoir l'état des lieux des connaissances, leurs extensions, les potentialités dans la perspective des changements climatiques, leurs interactions potentielles avec le réseau hydrographique du bassin du fleuve Sénégal.

## 6.2 PROBLEMATIQUES DE SUIVI DES AQUIFERES

L'étude diagnostique réalisée par l'OMVS en 2008 (Kane, 2008), avait bien listé les problématiques diverses rencontrées et les interrogations principales dans le bassin, et avait proposé dans ce sens un réseau optimum de suivi spécifique pour des zones – cible, qui devaient constituer de fait des zones pilote de suivi d'une problématique propre à chacune d'elles. Ces problématiques demeurent toujours pertinentes, et méritent d'être actualisées.

### 6.2.1 Problématique des mécanismes d'échanges et la salinité dans le Delta

Du point de vue hydrogéologique, la nappe phréatique présente dans le Delta du Fleuve Sénégal (Rives droite et gauche) est contenue dans des formations quaternaires, constituées, d'une part de dépôts fins (argile, limons, sables), d'autre part de sables éoliens de la période de l'Ogolien. C'est cette dernière qui renferme la couche aquifère la plus intéressante. Ces formations reposent en général sur celles du Continental Terminal, du Tertiaire et plus localement sur les formations du Maastrichtien (en dehors du Delta dans la zone de Matam). La nappe alluviale est en interaction directe avec les eaux de surface et accueille ainsi la recharge qui pourrait être relayée vers les autres unités aquifères. De ce point de vue elle peut jouer un rôle important dans **l'établissement des bilans hydrogéologiques**, et pour **quantifier** de façon plus certaine **la recharge** par les eaux de surface.

Les aménagements agricoles et le développement des cultures irriguées dans la vallée du fleuve se sont matérialisés par deux problèmes majeurs :

- la **salinisation** avec l'élévation du niveau des eaux de la nappe qui a favorisé la remontée capillaire et a entraîné une migration de sels en surface. Ce problème est devenu très présent aussi bien en rive droite qu'en rive gauche.
- les **pollutions liées aux activités agricoles** avec les produits utilisés (nitrates, produits phytosanitaires) source de contamination de la nappe alluviale et potentiellement des autres unités aquifères avec lesquels elle est en contact.

### 6.2.2 La problématique de l'impact des réservoirs des barrages sur les nappes

La construction des barrages s'est souvent accompagnée de la mise en place d'un réservoir de stockage favorisant le rehaussement du niveau aux environs de l'ouvrage, mais aussi le long de la courbe de remous sur une certaine distance de l'emplacement du barrage.

Le **barrage de Diama** est associé d'endiguements latéraux du fleuve Sénégal de Diama à Rosso ; ils contrôlent le remplissage et la vidange des systèmes hydrauliques (défluent, marigots, lacs, dépressions, etc.) du delta, situés en amont de la retenue de Diama. Il permet en outre de maintenir le plan d'eau amont à plus de 2 mètres au-dessus du niveau de la mer, hors période de crue.

Le **barrage de Manantali** sur la rivière Bafing dispose d'un réservoir de 12 km<sup>3</sup> avec une chute d'environ 50 mètres. Outre la production d'énergie électrique, il permet le soutien des débits d'étiage et allonge

ainsi la période de navigabilité du fleuve pour fournir les débits nécessaires aux cultures irriguées de la vallée.

Tous ces ouvrages existants, en construction ou en projet s'accompagnent inévitablement d'un relèvement du niveau des eaux de surfaces. Ils ont ou auront des impacts sur la piézométrie, mais potentiellement sur la qualité aussi des aquifères superficiels sous-jacents. L'OMVS a besoin de suivre l'évolution quantitative et qualitative de ces nappes, ainsi que des mécanismes de mise en place, et de pouvoir apprécier cette dynamique dans sa mission de gérer les ressources en eau dans le bassin.

### 6.2.3 La problématique de pollution minière dans le bassin

L'exploitation de l'or est une activité assez développée dans un espace transfrontalier situé entre l'est du Sénégal, l'ouest du Mali et le nord-est de la Guinée (Figure 25). Les sites d'extraction d'or dans ces pays constituent des zones à risque avec les effluents des activités minières. Parmi ces dernières, il faut citer l'orpaillage traditionnel, qui est le principal domaine des populations locales, mais aussi qui attire beaucoup de monde à l'extérieur, comme à l'intérieur des frontières. Une activité qui n'est pas tout à fait réglementée par nos Etats, et qui utilise des procédés et des produits non contrôlés.

Ces activités contribuent de manière très significative à la libération de Hg et d'As dans l'environnement. Par exemple, une campagne d'échantillonnage réalisée dans des villages du Sénégal oriental pratiquant l'exploitation aurifère, montre la présence de mercure dans les eaux souterraines; les taux de Hg observés sont parfois bien supérieurs à la norme de l'OMS pour l'eau potable (1 µg/l pour le Hg total) aussi bien dans les forages que dans les puits creusés à la main (Mall, 2017).

Une surveillance des impacts de la pollution provenant des activités minières s'impose pour les cours d'eau de surface, comme pour les eaux souterraines. Ces dernières sont les plus à risque du fait de leur spécificité, qui fait que le temps de résidence est relativement plus long que pour les eaux de surface.

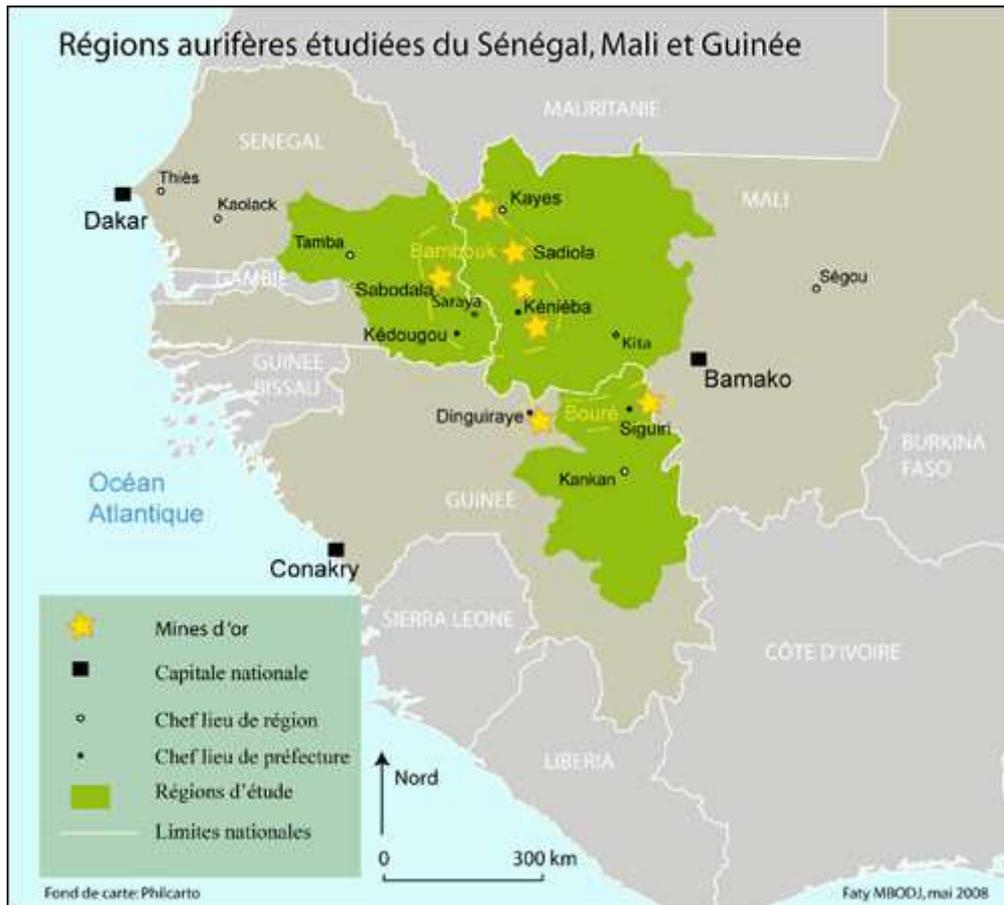


Figure 25 : Régions aurifères du Sénégal, Mali et Guinée (source : Faty B. Mbodj)

### 6.3 PROPOSITION DE SCHEMA DE REPRISE DU SUIVI PIEZOMETRIQUE

#### 6.3.1 Actualisation de l'étude diagnostique du réseau piézométrique

Pour rappel, une étude diagnostique avait été faite en 2008 dans le cadre du Projet "Cellule des Eaux souterraines" de l'OMVS et de l'USAID entre janvier 1985 et juin 1990 ; elle avait abouti notamment à :

- Un diagnostic exhaustif du parc des piézomètres qui avaient été installés par l'OMVS, et ensuite rétrocédés aux Etats ;
- la mise en place d'un réseau optimum de suivi piézométrique dans le bassin du fleuve Sénégal, en recommandant la réhabilitation et la réalisation d'ouvrages d'observations piézométriques, qui ont effectivement été construits au Mali, en Mauritanie et au Sénégal. .

Une des étapes essentielles, avant de définir un réseau fonctionnel est de procéder à une actualisation de cette étude diagnostique de 2008. Il s'agira de vérifier de visu la fonctionnalité des piézomètres. En effet d'après nos échanges avec les structures détentrices de données dans les pays visités, la plupart des piézomètres n'ont jamais été suivis depuis leur installation, d'autres seraient vandalisés ou simplement seraient devenus inaccessibles du fait des aménagements agricoles. L'étude d'actualisation permettra d'avoir une visibilité sur l'état réel du réseau optimum qui avait été proposé, la fonctionnalité et l'accessibilité de ses composantes. Le réseau était basé essentiellement sur le principe du zonage géographique. Vu l'ampleur de l'extension du bassin, ce zonage géographique

devra être reconduit, pour agir comme des zones pilotes. Chaque zone sera définie en fonction de sa ou ses problématique (s) spécifiques ; il s'agit de :

- Zone du Delta et de la vallée avec comme problématique : salinité, recharge et interaction eau de surface / fleuve, et pollution agricole
- Zones d'implantation de barrages avec comme problématique : impacts des ouvrages
- Zones du Haut bassin (Guinée, Mali et Est Sénégal) avec comme problématique : recharge et interaction eau de surface / fleuve, et pollution minière.

C'est à la suite de tout cela qu'un réseau optimum élargi serait défini, avec des objectifs clairs et des problématiques de suivi bien spécifiées. Les paramètres à suivre découleront des problématiques visées, toujours est-il que les niveaux statiques ainsi que les paramètres physico-chimiques *in situ* sont des mesures de base qui doivent être opérationnalisées dans tous les piézomètres. Les autres paramètres chimiques seraient essentiellement les ions majeurs, et quelques éléments de trace (par exemple Hg, As) ciblés dans les zones aurifères le long des cours d'eau du bassin du fleuve Sénégal, que ce soit en Guinée, au Mali et au Sénégal. Une attention particulière doit être de mise sur la Falémé où, aussi bien le cours d'eau que les eaux souterraines, sont très vulnérables aux pratiques d'exploitation de l'or qui sont en cours.

### 6.3.2 Renforcement du dispositif de suivi piézométrique

Le dispositif de suivi qui avait été proposé en 2008, est limité aux 3 pays que sont le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. Il s'agira de le renforcer en ajoutant un dispositif fonctionnel avec de nouveaux piézomètres en Guinée où il n'existe pas de réseau de suivi dans la partie du bassin du fleuve Sénégal. Pour rappel, dans le cadre de l'étude diagnostique de 2008, une proposition d'un réseau optimum constitué de 8 piézomètres avait été faite en collaboration avec les agents de la DNH ; ils seraient localisés à Franwalia (Siguri), Maléa (Siguri), Sokotoro (Mamou), Bodié (Dalaba), Dionfo (Labé), Télico (Tougué), Kalinko (Dinguiraye), et Bandiora (Dinguiraye).

L'étude d'actualisation proposée précédemment pourrait, en collaboration avec les structures techniques en charge du secteur de l'eau en Guinée, réétudier la pertinence des choix en relation avec les problématiques de suivi, qui concerneront aussi bien la relation eau de surface/eau souterraine surtout sur le Bafing et le Bakoye, que la pollution des activités minières sur les nappes de socle qui sont très réceptives des infiltrations.

Des dispositifs de suivi devraient aussi être mis en place au niveau des barrages. Dans ce cadre, le dispositif de Manatani doit être réactualisé, et reconduit par exemple pour les barrages en service de Félou et de Gouina, mais aussi le prévoir sur ceux en projet. Il s'agira de suivre les impacts des barrages sur les aquifères superficiels ; l'attention sera surtout portée sur l'ampleur relèvement des niveaux des nappes, et leurs impacts potentiels sur le sol, et sur la végétation.

Le renforcement du dispositif de suivi passe aussi par la mise à disposition de données permettant une cartographie des écoulements des aquifères en lien avec les eaux de surface du bassin, ouvrant la voie à une modélisation de ces écoulements et les interactions. Pour cela, le nivellement des piézomètres devrait être envisagé, pour que les données sur les cotes piézométriques des ouvrages d'observation (piézomètre, puits ...etc.) soient disponibles.

### 6.3.3 Mise en œuvre d'un cadre de partage et d'échange de données

L'étude d'actualisation du réseau piézométrique pourrait donner des indications sur l'utilisation des données collectées, leur transformation en information et leur dissémination, par exemple à travers un portail. En effet, il ne s'agira pas uniquement de collecter des données, mais il faudra les transformer en informations pour faciliter une meilleure compréhension de la dynamique eau de

surface/eau souterraine, et renforcer la gestion de toutes les ressources en eau du bassin du fleuve Sénégal (y compris les eaux souterraines).

Dans ce cadre une plateforme d'échange de données sur les ressources en eaux (y compris les eaux souterraines) pourrait être envisagée, avec comme préalable une harmonisation des bases de données nationales centralisées afin de faciliter les échanges de données dans des formats compatibles. Le « *Projet conjoint de coopération sur le Bassin Aquifère Sénégal-Mauritanien (BASM)* », dans lequel l'OMVS est partie prenante, pourrait être une opportunité d'opérationnalisation de la plateforme d'échange de données sur les eaux souterraines.

En fin, une plateforme des acteurs nationaux (étatiques, paraétatiques, et privés) pourvoyeurs de données pourrait également être mise en place sous l'impulsion de l'OMVS, à travers les Cellules Nationales OMVS des pays. Il s'agit de promouvoir la bonne pratique consistant à l'échange de données et la coordination de leur collecte au niveau national, mais aussi de leur centralisation par la structure nationale en charge de la gestion des ressources en eau.

- Bassot, J.P. (1987) Le complexe volcano-plutonique calco-alcalin de la rivière Daléma (Est Sénégal): Discussion de sa signification géodynamique dans le cadre de l'orogénie Eburnéenne (Protérozoïque Inférieur). *Journal of African Earth Sciences*, 6, 109-115.
- Bellion, Y. C. (1987). Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudenni, Iullemeden, Tchad) (Thèse de doctorat). Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, (302p), France.
- Bodian A. (2014) : Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'ouest). *Revue Physio-Géo -Géographie Physique et Environnement*, 2014, volume VIII, pp 297-312.
- CNRE, 2016. Synthèse des ressources en eau souterraine de la Mauritanie. Centre National des Ressources en Eau. 10p
- DIALLO, A.O., 2014 : Aperçu hydrogéologique de la Guinée
- DIAGANA A. (1994) - Etudes hydrogéologiques dans la vallée du fleuve Sénégal de Bakel à Podor : relations eaux de surface et eaux souterraines. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Dépt de Géologie, Fac. des Scien. et Techn., Univ. C.A.Diop de Dakar, 126p.
- Direction Hydraulique (DH). 2020. Actualisation du Plan Directeur d'Hydraulique Rurale des régions de Tambacounda, Kédougou et Matam
- Diaw, M., Mall, I., Le Blanc, M., Faye, S., Travi Y. (2019). Quantitative Estimation of Recharge Potentialities of Shallow Aquifers in Senegal River Delta Hydrosystem. *American Journal of Water Science and Engineering*. Vol. 5, No. 2, 2019, pp. 47-61. doi: 10.11648/j.ajwse.20190502.12
- Diaw M. (2008) - Approches hydrochimique et isotopique de la relation eau de surface/nappe et du mode de recharge de la nappe alluviale dans l'estuaire et la basse vallée du fleuve Sénégal. Thèse doctorat 3<sup>ème</sup> cycle Université Ch A. Diop Dakar/ Sénégal
- Diene, M. 2018. Actualisation de l'évaluation de la vulnérabilité de la source d'eau de la SOBOA (SOURCE VULNERABILITY ASSESSMENT – SVA -). PROGRAMME DE PROTECTION DES SOURCES D'EAU de la Compagnie Coca-Cola (TCCC). Rapport Final
- Diene, M.; Kane, C. H. ; Sarr D. (2015). Overview of the aquifer system in the Senegalese and Mauritanian sedimentary basin. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l'Ing.*, Vol. 1(2), 86-91. ISSN 2312-8712.
- Diene M. (1995) - Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe superficielle du Ferlo Septentrional (Nord Sénégal). Thèse de doctorat de 3ème cycle, Dépt de Géologie, Fac. des Scien. et Techn., Univ. C.A.Diop de Dakar, 87p.
- DGPRES, 2001. Synthèse des données géologiques et structurales. Application à la définition des systèmes aquifères. Projet Sectoriel Eau (PSE). Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Maastrichtien, Sénégal. Document de travail n° 03 de Cowi/Polyconsult.
- ILLY P. (1973) - Etude hydrogéologique de la vallée du fleuve Sénégal. Projet hydroagricole du bassin du fleuve Sénégal. Rapport RAF/65/061, 158p.
- Friedel, M.J., and Finn, C., 2008, Hydrogeology of the Islamic Republic of Mauritania: U.S. Geological Survey, Open-File Report 2008-1136. 32 p.

GTR, 2020. Conception de projet conjoint autour du Bassin Aquifère Sénégal-Mauritanien mené par le Groupe de travail régional. Livrable numéro 3 : Rapport sur l'étendue et la recharge du BASM

GTR, 2020b. Conception de projet conjoint autour du Bassin Aquifère Sénégal-Mauritanien mené par le Groupe de travail régional. Livrable numéro 4 : Rapport d'évaluation des données relatives aux eaux souterraines disponibles

Kane, C. H., 2008. Etude diagnostique pour la mise en place et la réhabilitation du réseau piézométrique dans le bassin du fleuve Sénégal. Rapport OMVS. 100p

Mall I., 2017. Evaluation des ressources en eau dans le Sénégal oriental : Apports des outils Géochimiques, Géostatistiques, de la Télédétection et des SIG. Thèse de doctorat Univ. C.A.Diop de Dakar ; 234p

Mohamed A. S. (2012) - Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza, sud-ouest de la Mauritanie. Thèse de doctorat en Sciences de la terre de l'université Paris-Sud École Doctorale : MIPEGE. 180p.

OSS (2017) GICRESAIT, Modélisation hydrogéologique

PAGIRE. 2007 : Etats des lieux des ressources en eau et de leur cadre de gestion. Rapport Final Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (1<sup>ère</sup> Partie). Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Eau, Mali.

Pavelic, P.; Giordano, M.; Keraita, B.; Ramesh, V; Rao, T. (Eds.). 2012. Groundwater availability and use in Sub-Saharan Africa: A review of 15 countries. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 274 p. doi: 10.5337/2012.213

PNAEPA, 2008. Programme d'Alimentation en Eau potable et d'Assainissement en milieu rural à l'horizon 2015

Traore, AZ, Bokar, H, Sidibe, A, Upton, K et Ó Dochartaigh, BÉ. 2018. Atlas de l'eau souterraine en Afrique : hydrogéologie du Mali. British Geological Survey. Consulté le 04/02/2022.

[http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie\\_du\\_Mali](http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie_du_Mali)

Travi Y (2017) - Gestion intégrée et durable des systèmes aquifères et des bassins partagés de la région du Sahel

UN-Water, 2006. Rapport national sur la mise en valeur des ressources en eau : Mali. Une étude de cas du WWAP préparée pour le 2<sup>ème</sup> Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, L'eau, une responsabilité partagée (2006)

Upton K, Ó Dochartaigh BÉ et Bellwood-Howard, I. 2018. Atlas des eaux souterraines en Afrique : Hydrogéologie de la Mauritanie. British Geological Survey. Consulté le 4/02/2022.

[http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie\\_de\\_la\\_Mauritanie](http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie_de_la_Mauritanie)

Upton, K. & Ó Dochartaigh, B.É. 2016. Africa Groundwater Atlas: Hydrogeology of Guinea. British Geological Survey. Accessed 04/02/2022.

[http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrogeology\\_of\\_Guinea](http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrogeology_of_Guinea)



### **1- Contexte :**

L'hydrogéologie du bassin du fleuve Sénégal est caractérisée par la présence de plusieurs nappes d'eau souterraines qui correspondent aux différentes formations géologiques du bassin. Bien que plusieurs études aient été menées dans le passé sur la caractérisation de ces nappes, le suivi et la mobilisation des eaux souterraines restent en général très lacunaires et très faibles dans le bassin du fleuve Sénégal, avec très peu de données d'observations. Ainsi la dynamique des eaux souterraines, les relations eaux de surface eaux souterraines, l'impact de la gestion des ouvrages et l'effet des activités anthropiques sur la qualité des ressources en eau restent mal connues par l'OMVS.

Suite à la recommandation de la Commission Permanente des Eaux relative à la mise en place d'un suivi effectif des ressources en eaux souterraines, le Haut-Commissariat de l'OMVS souhaiterait réaliser un état des lieux des connaissances et du réseau de suivi des eaux souterraines dans le bassin du fleuve Sénégal.

### **2- Objectifs :**

L'objet des présents Termes de Références est le recrutement d'un consultant individuel pour l'évaluation des connaissances en eaux souterraines dans le bassin du fleuve Sénégal. Plus spécifiquement, il est attendu du consultant :

- La collecte des informations disponibles sur la connaissance et le suivi des ressources en eaux souterraines du bassin du fleuve Sénégal, dans les quatre (04) Etats membres de l'OMVS ;
- L'analyse et la synthèse des données disponibles ;
- La cartographie des zones où les connaissances sur les eaux souterraines sont lacunaires ;
- Les préconisations pour la mise en place effective d'un suivi des ressources en eaux souterraines dans l'ensemble du bassin par l'OMVS.

### **3- Profil du Consultant :**

L'étude sera conduite par un consultant individuel ressortissant d'un des quatre (04) Etats membres de l'OMVS.

Le consultant doit être titulaire d'un diplôme en hydrogéologie (bac + 5) avec une expérience avérée dans le domaine (plus de 10 ans) et avoir une parfaite maîtrise du français. Des expériences dans l'étude des aquifères transfrontières, en particulier dans le cadre du bassin du fleuve Sénégal serait un atout.

### **4- Durée de la prestation :**

La durée maximale pour la réalisation de l'étude est de 30 jours ouvrables à compter de la date de signature du contrat. Le temps de validation du rapport est hors délai contractuel.

### **5- Suivi de la prestation :**

Le consultant travaillera sous l'autorité du Haut-Commissariat de l'OMVS et sera en contact avec les parties prenantes au niveau national et régional, notamment les cadres techniques des Etats membres de l'OMVS, considérées comme personnes ressources.

Le consultant pourra s'adjoindre de toute autre expertise qu'il jugera nécessaire pour l'atteinte des résultats, à ses propres frais.

Le Haut-Commissariat de l'OMVS sera systématiquement informé des étapes de l'étude et des difficultés éventuelles rencontrées.

## **6- Livrables**

Les livrables suivants sont attendus de l'étude :

Un (01) rapport provisoire de l'étude sur support papier et en version numérique (Word et PDF), 25 jours ouvrables après signature du contrat ;

Un (01) rapport final de l'étude, sur support papier et en version numérique (Word et PDF), 30 jours ouvrables après signature du contrat.