



**Adapt'Action**

The Nature Conservancy  
Protecting nature. Preserving life.



# Etude de faisabilité d'un projet de démonstration visant à améliorer de façon durable la zone de captage des forages de Pout au Sénégal

## DIAGNOSTIC ET ANALYSE PARTICIPATIVE DES VULNERABILITES DE LA ZONE DE CAPTAGE DES FORAGES DES NAPPES DE POUT



## Etude de faisabilité d'un projet de démonstration visant à améliorer de façon durable la zone de captage des forages de Pout au Sénégal

Diagnostic et analyse participative des vulnérabilités de la zone de captage des forages des nappes de Pout

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI PAR	CONTROLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	DATE
1	Diagnostic et analyse participative des vulnérabilités de la zone de captage des forages des nappes de Pout	Sandra Galvis-Rodriguez Ansoumana Bodian Moustafa Diayela Cheik Dieng Marc Boisson	Sandra Galvis-Rodriguez, Marc Boisson	Marc Boisson	30/07/2021
2	Diagnostic et analyse participative des vulnérabilités de la zone de captage des forages des nappes de Pout	Sandra Galvis-Rodriguez Ansoumana Bodian Moustafa Diayela Cheik Dieng Marc Boisson	Sandra Galvis-Rodriguez, Marc Boisson	Marc Boisson	08/11/2021
ARTELIA 6 Rue de Lorraine, 38130 Échirolles – TEL : +33 476334000					

# SOMMAIRE

<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>8</b>
<b>GLOSSAIRE DES ACRONYMES.....</b>	<b>9</b>
<b>1 PRÉAMBULE.....</b>	<b>11</b>
<b>2 INTRODUCTION.....</b>	<b>12</b>
<b>3 RESSOURCES EN EAU ACTUELLES DANS LA RÉGION DE LA ZONE DE POUT .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Zone d'étude.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Contexte hydro-climatique.....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Stations hydrométriques proches de la zone d'étude .....	14
3.2.2 Evolution des précipitations depuis 1930 .....	16
3.2.3 Evolution mensuelle des précipitations .....	18
3.2.4 L'évapotranspiration .....	19
<b>3.3 Ressources en eau superficielle.....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Délimitation des bassins versants.....	21
3.3.2 Méthode de calcul des pluies moyennes annuelles des bassins versants .....	23
3.3.3 Estimation des écoulements des cours d'eau intermittents de la zone de Pout.....	24
<b>3.4 Ressources en eau souterraine.....</b>	<b>26</b>
3.4.1 Système aquifère du Horst de Diass .....	26
3.4.2 Recharge du système aquifère .....	29
3.4.3 Prélèvements dans le système du Horst de Diass .....	33
3.4.4 Evolution des niveaux piézométriques .....	35

<b>4</b>	<b>USAGES ACTUELLES DE LA RESSOURCE EN EAU .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Alimentation en eau potable.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Caractéristiques des prélèvements de la SONES .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Problématiques associées aux prélèvements .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Capacité d'adaptation de la gestion des prélèvements face au stress hydrique .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Mines et carrières .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Caractéristiques des prélèvements de Dangote.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Problématiques associées aux prélèvements .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Capacité d'adaptation de la gestion des prélèvements face au stress hydrique .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3</b>	<b>Agriculture .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Agrobusiness.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Maraichers .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Ecosystèmes.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Les « forêts » classées de Pout et de Thiès .....</b>	<b>58</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Les écosystèmes associés aux zones de maraichage .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Les écosystèmes à proximité des bassins de rétention .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Le 'Lac' Tanma.....</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>RESSOURCES EN EAU FUTURES DANS LA REGION DE LA ZONE DE POUT ET EVOLUTION DES PRESSIONS ANTHROPIQUES .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1</b>	<b>Evaluation de l'impact du changement climatique sur la ressource en eau.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2</b>	<b>Evolutions possibles des pressions anthropiques .....</b>	<b>73</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Projections démographiques.....</b>	<b>73</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Le Schéma directeur d'aménagement et de développement territorial de la zone Dakar–Thiès-Mbour .....</b>	<b>74</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Les scénarios possibles relatifs aux prélèvements en eaux souterraines.....</b>	<b>76</b>

<b>6</b>	<b>VULNERABILITÉ ACTUELLE ET FUTURE DES USAGES A LA SECURITE HYDRIQUE DANS LA ZONE DE POUT.....</b>	<b>78</b>
<b>6.1</b>	<b>Facteurs d'exposition .....</b>	<b>79</b>
<b>6.2</b>	<b>Sensibilité .....</b>	<b>81</b>
<b>6.3</b>	<b>Impacts .....</b>	<b>83</b>
<b>6.4</b>	<b>Capacités d'adaptation et vulnérabilité .....</b>	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCES.....</b>	<b>88</b>
<b>9</b>	<b>ANNEXE .....</b>	<b>91</b>



# LISTE DES FIGURES

Figure 3-1. Localisation de la zone d'étude.....	13
Figure 3-2. Phénomènes liés à l'évapotranspiration .....	14
Figure 3-3. Localisation des stations hydrométriques proches de la zone d'étude .....	15
Figure 3-4. Pourcentage des lacunes dans les données à l'échelle annuelle pour l'ensemble des quatre stations et pour chacune des stations sur la période 1930-2013 .....	15
Figure 3-5. Indice des pluies standardisé (IPS) pour la station de Thiès .....	17
Figure 3-6. Indice des pluies standardisé (IPS) pour plusieurs stations du Sénégal .....	18
Figure 3-7. Variations mensuelles de la pluviométrie à la station de Thiès sur la période 1961-2015.....	18
Figure 3-8. Positions de l'équateur météorologique au Sénégal pour l'année 2008 (d'après [36] .....	19
Figure 3-9. Evolution de l'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) en mm de 1981 à 2019 à Thiès .....	20
Figure 3-10. Evolution de l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne (ETP) en mm de 1981 à 2015 à Thiès.....	21
Figure 3-11. Localisation des bassins versants de la zone d'étude .....	22
Figure 3-12. Inondation de la piste reliant Pout à Mont Rolland durant l'hivernage .....	23
Figure 3-13. Débit de la Somone au Pont routier (1975-1992).....	25
Figure 3-14. Carte hydrogéologique présentant les principaux aquifères et délimitation de la zone d'étude.....	27
Figure 3-15. Coupe transversale de la zone d'étude AA' (localisation de la coupe AA' sur la figure précédente).....	28
Figure 3-16. Zones de recharge de l'aquifère Maastrichtien en Sénégal ([15] .....	30
Figure 3-17. Cours d'eau intermittent dans la zone d'étude vers Mont Rolland. Le calcaire du Paléocène est découvert et la recharge naturelle de la nappe se produit lors que les eaux de ruissèlement se concentrent dans les cours d'eau pendant la saison des pluies. ....	31
Figure 3-18. Chroniques des prélèvements de la nappe dans le Système Hors de Diass et dans la zone du projet ([14] .....	33
Figure 3-19. Choriques et projection futures des prélèvements de la SONES dans les trois champs captant de Pout ([8], [14].....	34
Figure 3-20. Evolution des prélèvements dans la zone du projet par usage ([14] .....	35
Figure 3-21. Chronique de l'évolution piézométrique des aquifères Maastrichtien et Paléocène dans le compartiment de Pout nord. ....	37
Figure 3-22. Chronique de l'évolution piézométrique des aquifères Maastrichtien et Paléocène dans le compartiment de Pout sud. ....	39
Figure 3-23. Chronique de l'évolution piézométrique de l'aquifère du Maastrichtien dans le compartiment de Diass. ....	40
Figure 4-1. Répartition de ressources en eau pour l'alimentation en eau potable du Grand Dakar (2011-2016) .....	41
Figure 4-2. . Localisation des mines et carrières dans la zone du projet .....	43
Figure 4-3. Localisation des agro-business à partir des images satellites .....	46
Figure 4-4. Système goutte à goutte sur les parcelles de QFS montrant les impacts sur les rendements d'une irrigation excessive .....	48
Figure 4-5. Maraichage et arboriculture (citrons) au sud du 'lac' Tanma avec système d'irrigation goutte à goutte.....	49
Figure 4-6. Prise d'eau du 'lac' Tanma pour le maraichage saisonnier .....	50

Figure 4-7. Bassin de rétention de Mont Rolland endommagé pendant une crue de la période hivernale de 2019. ....	51
Figure 4-8. Irrigation de décrue : Maraichage autour de la zone inondable d'Alou Kagn, Pout ..	51
Figure 4-9. Plan d'aménagement de la forêt de Pout avec n° des parcelles et années de coupe (d'après [32] ) .....	59
Figure 4-10. Pluviométrie cumulée à Dakar (avec point d'inflexion au début des années 60) (d'après [30] ) .....	59
Figure 4-11. Limite de la forêt classée de Pout (1990) et limites de densités du couvert forestier (d'après [32] ) .....	61
Figure 4-12. Zone avec actuellement une très faible densité de couvert forestier (<10%) alors que cette zone présentait une forte densité de couvert forestier en 1990 (le rectangle rouge est identique à celui de la figure précédente) .....	61
Figure 4-13. Ecosystème autour du Bassin de rétention de Mont Rolland .....	62
Figure 4-14. Bassin de rétention de Mont Rolland (le 12 décembre 2020 à gauche et le 6 juillet 2021 à droite) .....	63
Figure 4-15. Dépôts marins (bivalves et huîtres) dans le 'lac' Tanma (Artelia, 2021) .....	64
Figure 4-16. Plan d'eau semi-permanent en 1985 (d'après [10] ) .....	65
Figure 4-17. Assèchement actuel du 'lac' Tanma (la zone bleue correspond au plan d'eau semi-permanent de la figure précédente) .....	66
Figure 4-18. Bassin hydrographique du 'lac' Tanma .....	67
Figure 5-1. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 –Observations (vert) et Modèle CMCC-CM (bleu) .....	68
Figure 5-2. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2012-20150 (Modèle CMCC-CM) .....	69
Figure 5-3. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2021-2050 pour différents modèles climatiques (ANACIM) .....	69
Figure 5-4. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2021-2050 pour l'ensemble des modèles climatiques (ANACIM) .....	70
Figure 5-5. Evolution de la température moyenne à la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2021-2050 pour différents modèles climatiques .....	70
Figure 5-6. Evapotranspiration mensuelle potentielle de la période d'observation (1984-2017) et projections – ensemble des modèles climatiques - (2036-2065) selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à la station de Linguère (d'après [31] ) . ....	71
Figure 5-7. Evolution démographique des communes de la zone du projet de 2015 à 2035 .....	73
Figure 5-8. Pôles d'organisation territoriale définis par le SDADT et limites de la zone du projet. ....	74
Figure 6-1. Les composants de l'analyse de vulnérabilité.....	78
Figure 6-2. Evaluation des facteurs d'exposition au stress hydrique par usagers (s.l.) .....	80
Figure 6-3. Evaluation de la sensibilité aux facteurs d'exposition par usagers (s.l.) .....	82
Figure 6-4. Analyse de vulnérabilité : évaluations des impacts par usagers (s.l.).....	84
Figure 6-5. Evaluation de la vulnérabilité au stress hydrique des usagers (s.l.) .....	86

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1. Valeurs moyennes des variables climatiques de la station de Thiès sur la période 1980-2015 .....	19
Tableau 3-2. Caractéristiques des bassins versants de la zone de projet.....	23
Tableau 3-3. Coefficients d'abattement pour les bassins versants de la zone de projet .....	24
Tableau 3-4. Coefficients de ruissèlement de la Somone au pont routier – période 1975-1992 .	25
Tableau 3-5. Volumes précipités par bassins versants en $10^3 \text{ m}^3$ .....	26
Tableau 3-6. Volumes ruisselés par bassins versants en $10^3 \text{ m}^3$ .....	26
Tableau 3-7. Synthèse des estimations de la recharge .....	32
Tableau 3-8. Comparaison entre la recharge estimée et les prélèvements annuels. ....	34
Tableau 4-2. Estimation du nombre potentiel de femmes dans le secteur de l'agriculture dans la zone .....	56
Tableau 4-2. Nombre de membres (dont nombre de femmes) dans certaines organisations liées au maraîchage .....	57
Tableau 5-1. Variation de l'ETP mensuelle (mm) selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à la station de Linguère (d'après [31] ).....	72



# GLOSSAIRE DES ACRONYMES

AEP	Alimentation en Eau Potable
AFD	Agence Française de Développement
AIBD	Aéroport International Blaise Diagne
ALG	Adduction du lac de Guiers
ANACIM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CRS	Catholic Relief Services
DBRLA	Direction des Bassins de Rétention et des Lacs Artificiels
DEEC	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classes
DGPPE	Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau
DTPC	Dakar-Thiès-Petite cote
ETP	EvapoTranspiration Potentielle
FADP	Fédération des Agropasteurs de Diender
FAO	Organisation pour l'alimentation et l'agriculture
FMKD	Fédération des Maraîchers de Keur Moussa/Diender
GIE	Groupement d'Intérêt Economique
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GRET	ONG internationale de développement
KMS 3	3 <sup>ème</sup> Usine de traitement d'eau potable à Keur Momar Sarr
MEA	Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PSE	Plan Sénégal Émergent
OFOR	Office des Forages Ruraux
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel

**Diagnostic et analyse participative des vulnérabilités de la zone de captage des forages des nappes de Pout**  
ETUDE DE FAISABILITE D'UN PROJET DE DEMONSTRATION VISANT A AMELIORER DE FAÇON DURABLE LA ZONE DE CAPTAGE DES FORAGES DE POUT  
AU SENEGAL

QFS	Quality Fruits Sénégal
SDADT	Schéma Directeur d'Aménagement et de Développement du Territoire
SDAEP	Schéma Directeur d'Adduction et de Distribution autour des pôles Urbains de Développement de Dakar et de la Petite Côte
SEN'EAU	Société de distribution d'eau potable en zone urbaine et périurbaine
SfN	Solutions fondées sur la Nature
SONES	Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal
sous-UGP	Sous Unité de Gestion et de Planification
SPI	Standardized Precipitation Index
TNC	The Nature Conservancy (ONG)
TREES	Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellite
UGP	Unité de Gestion et de Planification
ZESI	Zone Economique Spéciale Intégrée

# 1 PREAMBULE

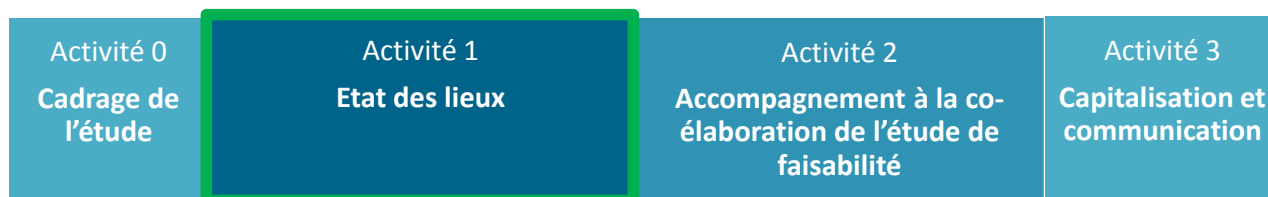
Face au changement climatique et au stress hydrique touchant la capitale et la zone de Pout et ses environs, le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) et le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) en partenariat avec l'Agence Française de Développement (AFD), via sa facilité Adapt'Action et avec le soutien de The Nature Conservancy (TNC) et Catholic Relief Services (CRS), ont initié une étude de faisabilité d'un projet de démonstration d'adaptation au changement climatique.

Le projet de démonstration, objet de la présente étude de faisabilité, vise à réduire de façon durable la vulnérabilité au stress hydrique de la zone des forages de Pout dans un contexte d'adaptation au changement climatique. Il a également pour objectif de démontrer l'intérêt de l'apport des solutions fondées sur la nature (SfN) pour la protection des ressources en eau.

Le groupement Stantec, Artelia, Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), Adelante a été retenu pour la réalisation de cette étude de faisabilité. Artelia est le leader opérationnel de l'étude.

L'étude est développée selon 4 activités principales :

- i) le cadrage de l'étude,
- ii) l'état de lieux,
- iii) la co-élaboration à l'étude de faisabilité et
- iv) une activité transversale de capitalisation et communication.



Le rapport de démarrage (Livable L1) a été remis en mars 2021.

Le présent rapport (Livable L2) rend compte de l'Activité 1 'Etat des lieux'.

## 2 INTRODUCTION

L'activité 1 du projet a pour objectif d'identifier les vulnérabilités au stress hydrique, actuelles et futures, de la zone de forages de Pout, en intégrant les impacts du changement climatique et les pressions des activités humaines sur la disponibilité des ressources en eau.

L'activité 1 doit également, le cas échéant, identifier les lacunes d'information<sup>1</sup>, et définir, en adéquation avec les vulnérabilités évaluées, les grandes lignes du programme pilote. Ce programme pilote sera défini ensuite de façon détaillée pendant l'activité 2 « Co-élaboration de l'étude de faisabilité ».

La détermination du diagnostic des vulnérabilités a commencé en décembre 2020, lors de la deuxième mission de terrain de l'étude. L'approche développée repose sur :

- Une analyse bibliographique des documents existants ;
- L'exploitation des données des services de l'état ;
- Des enquêtes auprès des acteurs<sup>2</sup> ;
- Des ateliers participatifs avec les différentes parties prenantes.

Ce rapport est structuré en 4 chapitres principaux :

Le chapitre 3 présente une description détaillée des ressources en eau dans la zone du projet.

Le chapitre 4 présente les différents usagers (s.l.)<sup>3</sup> des ressources en eau dans la zone. Ce chapitre inclut une description des ressources en eau utilisées, les volumes prélevés, les tensions existant entre usagers, et les capacités actuelles d'adaptation au stress hydrique.

Le chapitre 5 présente une analyse des ressources en eau futures dans la région de Pout en prenant en compte les impacts du changement climatique. Il inclut également une analyse des évolutions possibles des pressions anthropiques, telles les modifications potentielles relatives à l'utilisation des sols et les impacts associés sur la demande en eau.

Enfin, le chapitre 6 présente la vulnérabilité au stress hydrique, actuelle et future, des usagers des ressources en eau dans la zone de Pout. Cette vulnérabilité, est de façon simplifiée, une confrontation entre la disponibilité des ressources, les usages de ces ressources, et la capacité d'adaptation des usagers aux variations de la disponibilité en eau.

---

<sup>1</sup> Ces lacunes pourront être abordées dans les phases suivantes du projet

<sup>2</sup> a. Organisation de rencontres avec les parties prenantes des communes concernées par l'étude de définition du projet de démonstration/Organisation de visites de terrain dans les zones de Pout, Diender Guedj, Keur Moussa et Mont Rolland.

b. Consultations publiques

c. Interviews institutionnelles

<sup>3</sup> y compris les écosystèmes

### 3 RESSOURCES EN EAU ACTUELLES DANS LA REGION DE LA ZONE DE POUT

Les ressources en eau utilisées dans la région de Pout (Cf. § suivant relatif à la délimitation de la zone d'étude) sont :

- les eaux issues des précipitations,
- les eaux des cours d'eau intermittents,
- et les eaux souterraines.

Pour être à même d'évaluer ces ressources le contexte hydro-climatique est détaillé dans un premier temps puis les débits des eaux de surface sont estimés. Enfin un chapitre est consacré plus spécifiquement aux eaux souterraines.

#### 3.1 Zone d'étude

La zone d'étude a été définie comme la zone des forages<sup>4</sup> de Pout (ligne pointillée de la figure ci-après). Cette zone, d'environ 403 Km<sup>2</sup>, correspond au bassin versant de la partie est du 'lac' Tanma ainsi qu'une partie à l'amont du bassin versant de La Somone. La zone est localisée sur les communes de Mont Rolland, Pout, Keur Moussa et Diender.

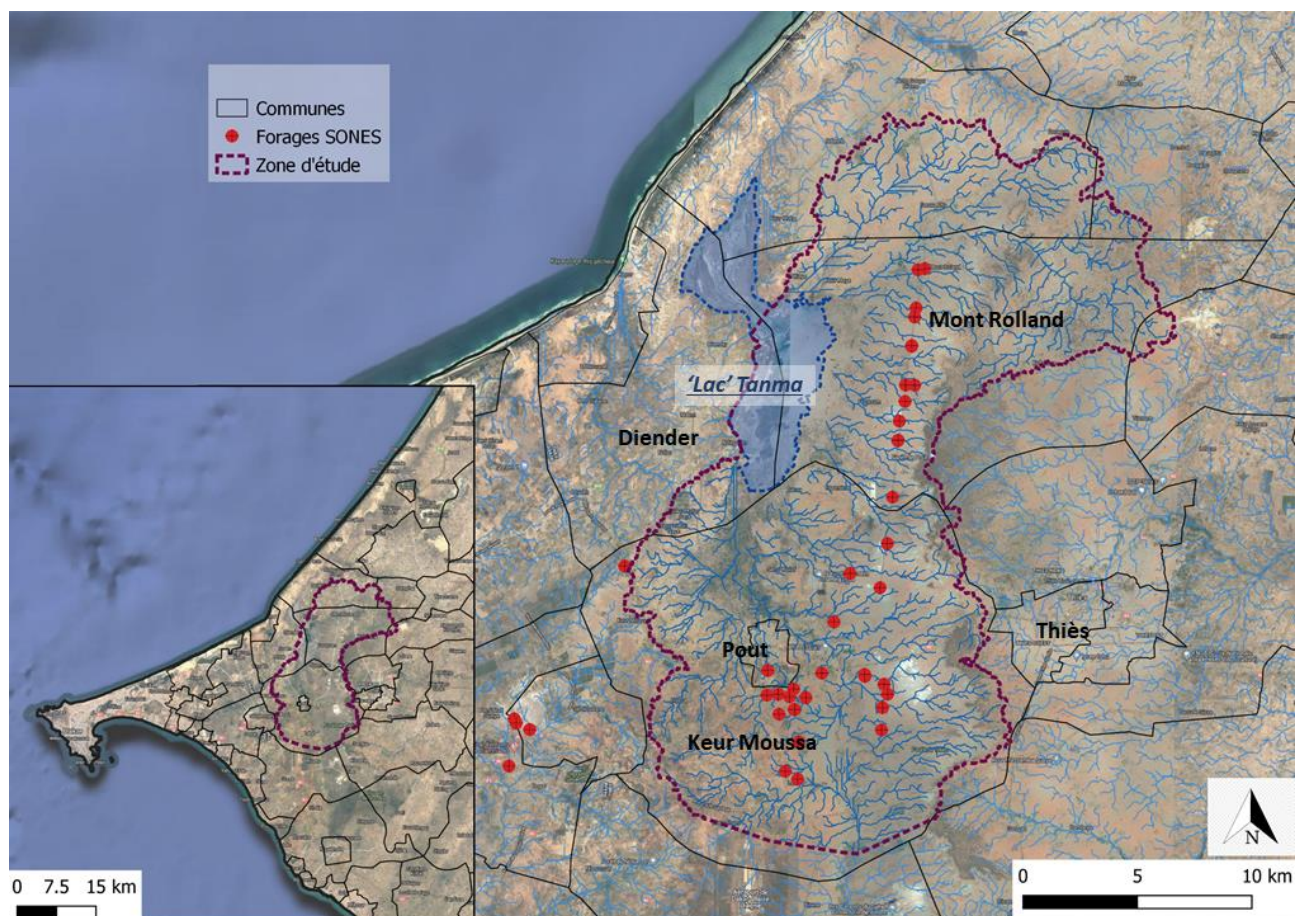


Figure 3-1. Localisation de la zone d'étude

<sup>4</sup> De la SONES

## 3.2 Contexte hydro-climatique

Dans le cadre de l'évaluation des ressources en eau les paramètres importants à mesurer ou à évaluer sont les précipitations et l'évapotranspiration. En effet ces paramètres permettent d'établir un bilan hydrique et d'évaluer la partie de l'eau qui 'retourne' à l'atmosphère et celle qui ruissèle et/ou s'infiltre dans le sol (partie utilisable). Les phénomènes intervenants dans le bilan hydrique sont présentés succinctement ci-après.

Lorsqu'il pleut :

- L'eau de pluie peut être interceptée par la végétation. Au niveau des feuilles, l'eau s'évapore ;
- Lorsque l'eau atteint le sol, l'eau de pluie va saturer les premiers centimètres du sol. L'eau peut alors ruisseler ;
- S'il continue à pleuvoir, l'eau va saturer la réserve libre du sol, et le surplus d'eau va s'infiltrer vers la nappe
- Au niveau du sol, l'eau va être absorbée par les racines des plantes puis elle va être évaporée au niveau de feuilles (transpiration). L'eau dans le sol peut aussi s'évaporer directement lorsqu'elle est à faible profondeur.

Ces différents phénomènes sont illustrés à la figure ci-dessous.

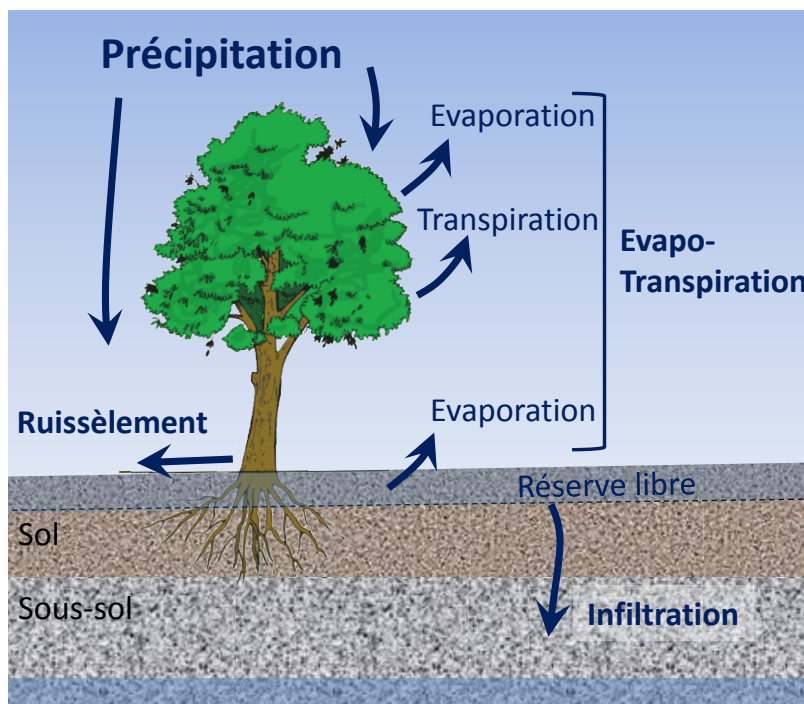


Figure 3-2. Phénomènes liés à l'évapotranspiration

Pour établir un bilan hydrique il importe donc de connaître à la fois les précipitations et de quantifier l'évapotranspiration. Ces deux paramètres sont obtenus via les mesures faites au niveau de stations hydrométriques.

### 3.2.1 Stations hydrométriques proches de la zone d'étude

Pour étudier les évolutions des précipitations sur le secteur d'étude il importe de sélectionner la ou les stations pluviométriques présentant les séries de données les plus longues et les plus complètes.

Les stations hydrométriques de la zone d'étude sont les suivantes :

- Mont Rolland ;
- Sebikhotane ;
- Thiès ;



- Pout.

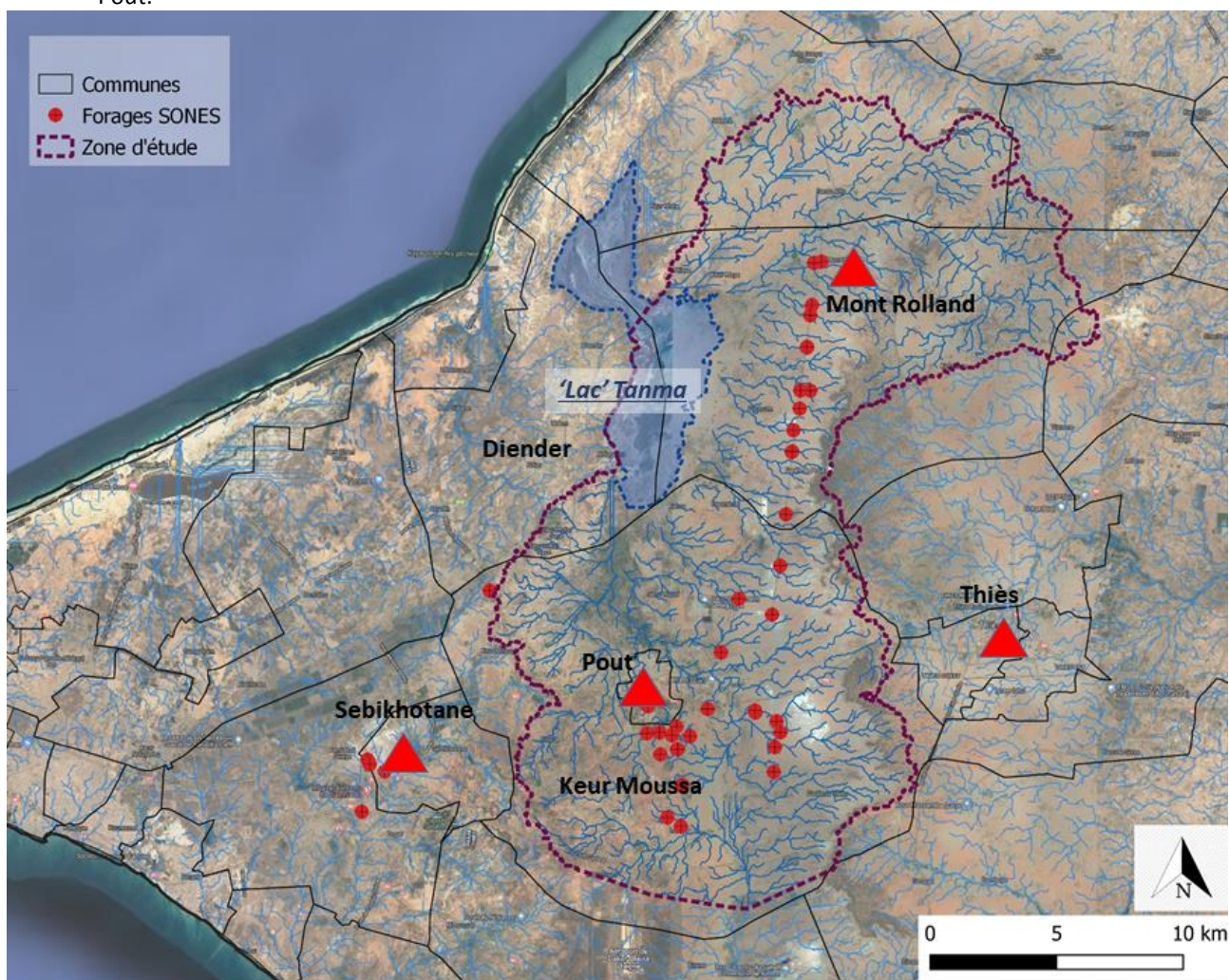


Figure 3-3. Localisation des stations hydrométriques proches de la zone d'étude

La figure suivante présente les lacunes dans les séries de données pour la période 1930-2013. Il apparaît que c'est la station de Thiès qui présente le moins de lacunes (i.e. c'est la série la plus complète). Dans le cas de lacunes, les données manquantes ont été reconstituées en utilisant la méthode du gradient régional.

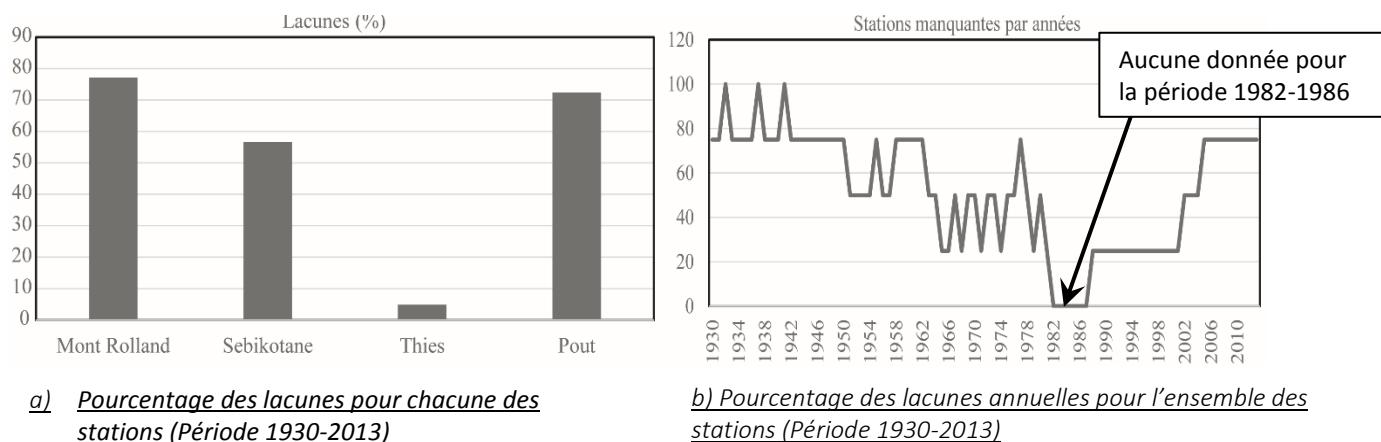


Figure 3-4. Pourcentage des lacunes dans les données à l'échelle annuelle pour l'ensemble des quatre stations et pour chacune des stations sur la période 1930-2013

L'analyse de la pluviométrie dans la zone du projet a donc été effectuée à partir des données de la station de Thiès.

Cette station, bien qu'en dehors de la zone d'étude reste la plus proche de cette zone. La détermination d'une pluviométrie plus précise sur la zone impliquerait l'installation et le suivi d'une ou de stations pluviométrique.

Il est à noter également que les stations précitées ne sont pas similaires car Thiès est une station hydro-climatologique<sup>5</sup> alors que les autres sont de simples postes pluviométriques<sup>6</sup>.

### 3.2.2 Evolution des précipitations depuis 1930

Pour analyser l'évolution des précipitations, un indice des pluies standardisé (IPS) (ou SPI – Standardized Precipitation Index) est construit. Sa construction est précisée dans l'encart qui suit.

*L'indice des pluies standardisé (IPS – SPI en anglais) est calculé de la façon suivante :*

$$IPS_t = \frac{P_t - \bar{P}}{\sigma_p}$$

*avec :*

*$IPS_t$  Indice de pluie standardisé de l'année t ;*

*$P_t$  pluviométrie annuelle de l'année t ;*

*$\bar{P}$  pluviométrie annuelle moyenne sur la période de référence ;*

*$\sigma_p$  écart-type de la pluviométrie annuelle sur la même période de référence.*

*Le calcul de l'indice IPS en un lieu, quel qu'il soit, est basé sur un historique de précipitations sur une longue durée correspondant au laps de temps étudié. Une distribution de probabilité est ajustée à cette longue série de relevés, puis elle est transformée en une distribution normale pour que l'indice IPS moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro ([19] . Les valeurs positives de l'indice IPS indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane. Cet indice permet également de comparer des stations entre elles.*

Cet indice traduit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la médiane de la période de référence. Il met également en évidence l'intensité du déficit ou de l'excès pluviométrique ([11] [12] . L'IPS pour la station de Thiès est présenté ci-après.

<sup>5</sup> D'autres paramètres que la pluie sont mesurés : température, humidité, ... Paramètres qui permettent notamment d'évaluer l'évapotranspiration potentielle.

<sup>6</sup> Mesurent uniquement la pluie.

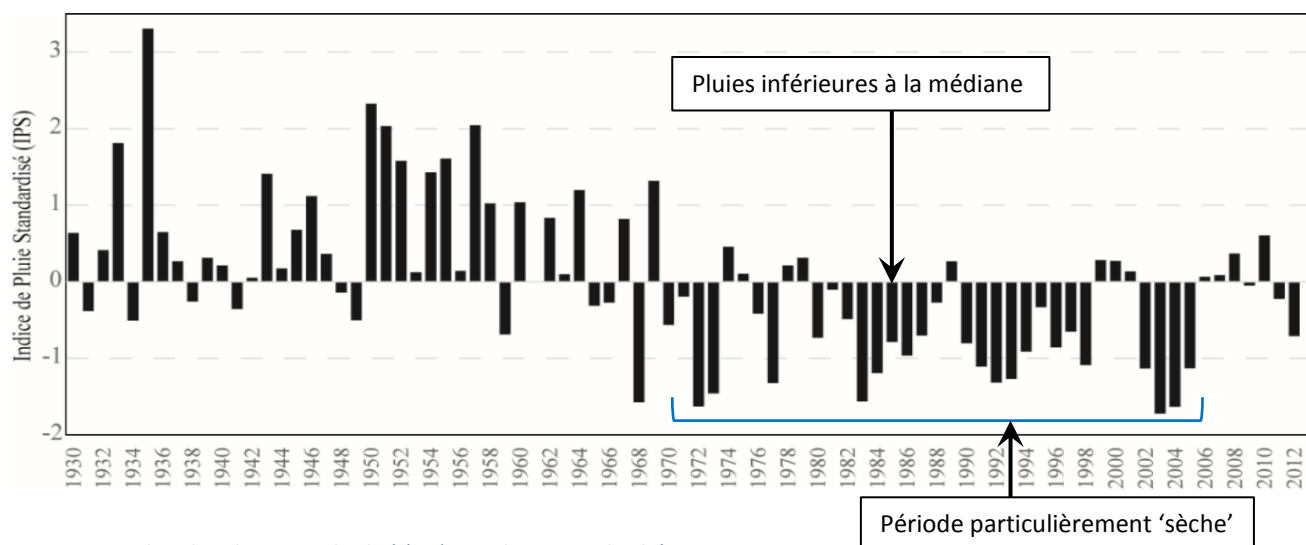


Figure 3-5. Indice des pluies standardisé (IPS) pour la station de Thiès

Sur la période 1930-2013, l'analyse des IPS montre trois périodes (Cf. Figure 3-5) :

- [1930 - 1969] : période très humide ;
- [1970 - 2003] : période déficitaire avec une baisse de 36% des pluies annuelles par rapport à la période humide ;
- [2004 - 2013] : période avec une légère reprise de la pluie annuelle (de +9% par rapport à la période sèche) mais avec une forte variabilité inter-annuelle de la pluie.

Par ailleurs, la variation temporelle de la pluviométrie à l'échelle du Sénégal a été analysée par Bodian (2014)<sup>7</sup> et par Diop et al. (2016)<sup>8</sup>. Ces travaux ont montré que la sécheresse des années 1970 a entraîné une baisse de 23,4% des pluies à l'échelle du territoire national.

En mettant une échelle de couleur dépendant de la déviation par rapport à la médiane, il est possible, à l'échelle du Sénégal, de 'visualiser' rapidement et globalement les périodes pluvieuses et les périodes sèches (sans que la vision globale ne soit trop perturbée par des particularismes locaux). La figure suivante confirme la période sèche très prononcée (et longue) sur l'ensemble du Sénégal depuis le début des années 70.

<sup>7</sup> Ref. [12]

<sup>8</sup> Ref. [18]

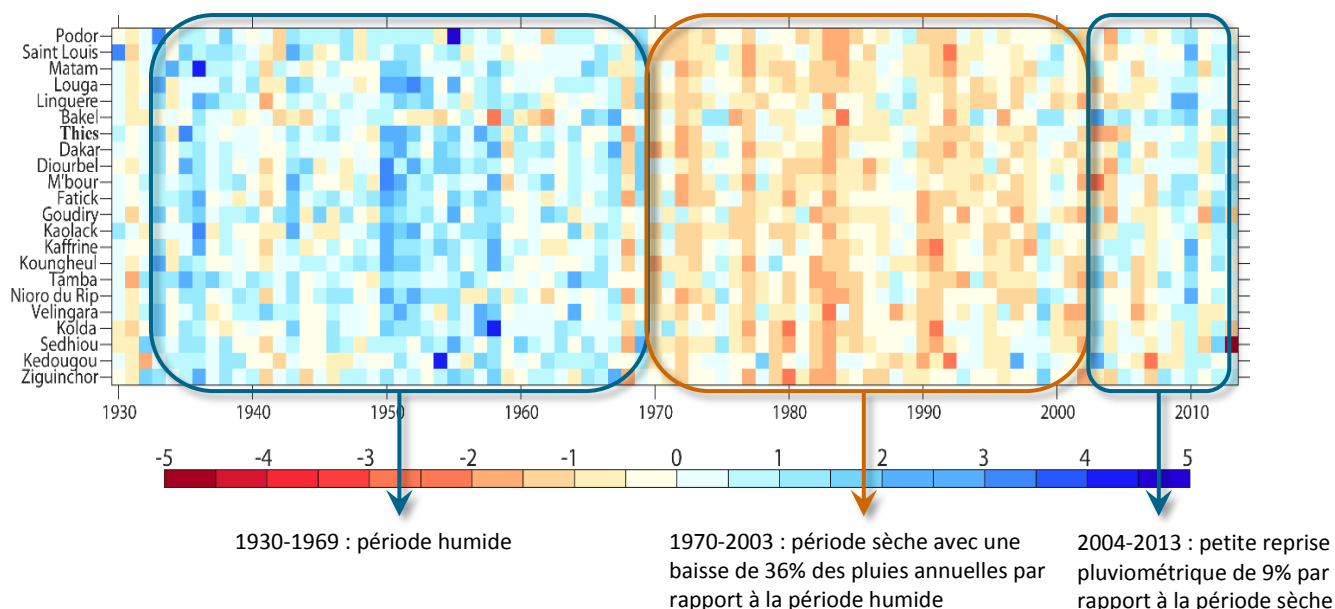


Figure 3-6. Indice des pluies standardisé (IPS) pour plusieurs stations du Sénégal

### 3.2.3 Evolution mensuelle des précipitations

Pour mettre en évidence la variation des pluies mensuelles, les précipitations moyennes mensuelles ont été calculées sur la période 1961-2015. L'analyse de la figure suivante montre que les pluies sont concentrées, dans la zone du projet, entre juin et octobre. Le maximum pluviométrique se situe en août-septembre avec des valeurs comprises entre 144 mm pour le mois de septembre et 193 mm pour celui d'août.

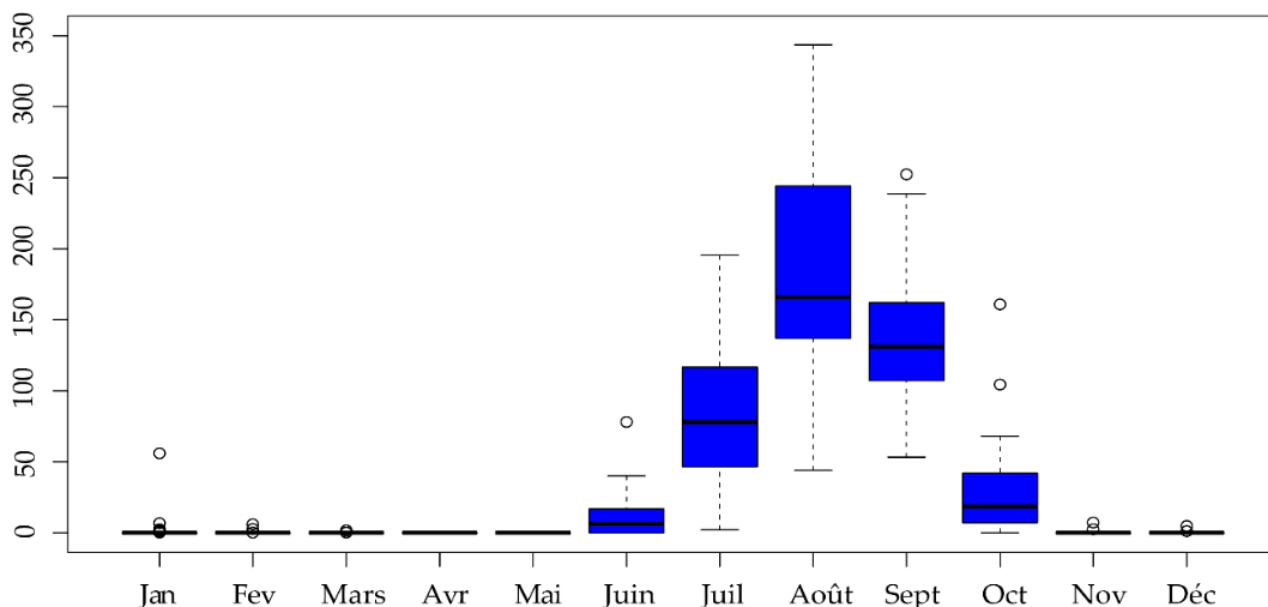


Figure 3-7. Variations mensuelles de la pluviométrie à la station de Thiès sur la période 1961-2015

Cela peut s'expliquer par l'évolution dans le temps de la position de l'équateur météorologique. L'équateur météorologique est la position du creux barométrique équatorial (qui se situe au nord de l'équateur géographique). Ce creux barométrique est à l'origine de formations nuageuses denses qui vont induire de fortes précipitations. A titre d'illustration, les positions de ce creux pour 2008 sont présentées ci-après.

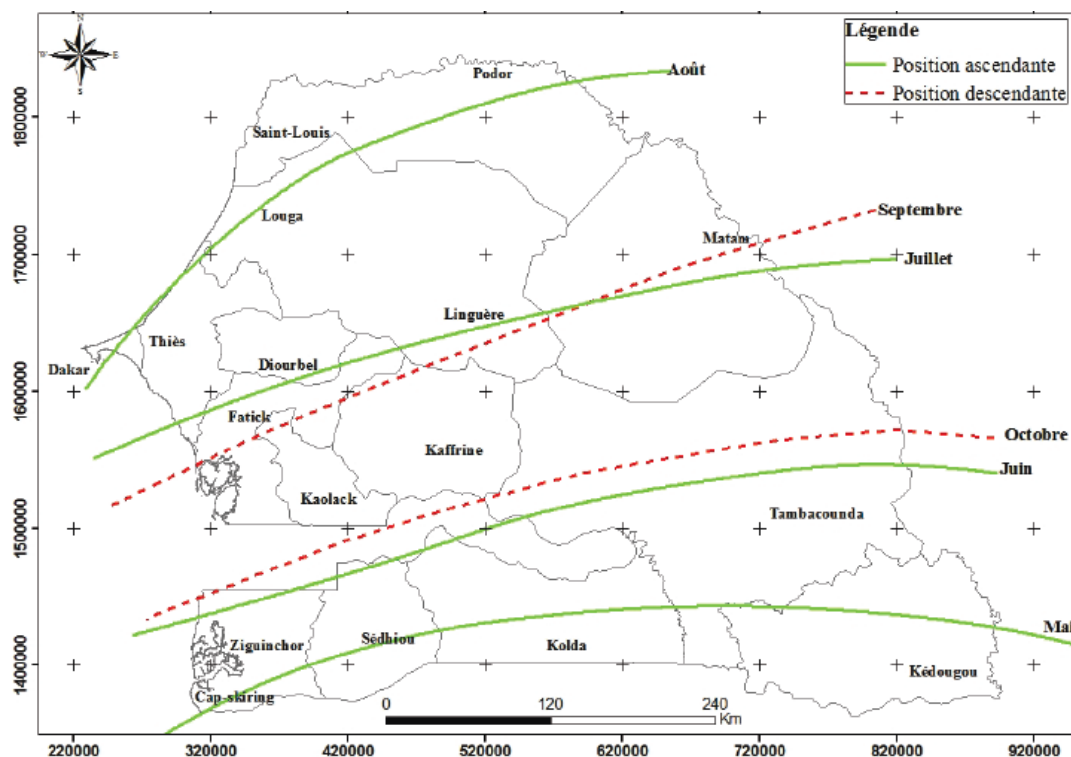


Figure 3-8. Positions de l'équateur météorologique au Sénégal pour l'année 2008 (d'après [36])

A partir du mois de d'octobre, l'équateur météorologique entame sa phase descendante de migration. Il en résulte ainsi, une diminution des pluies par rapport aux mois de juillet-septembre.

### 3.2.4 L'évapotranspiration

Ce phénomène est important à évaluer puisque notamment, à titre d'illustration :

- Une forte évapo-transpiration va induire une diminution de la recharge des nappes ;
- Une forte évapo-transpiration va augmenter les besoins en eau des plantes (et creuser le déficit ressource/besoins).

A l'échelle de la parcelle, l'estimation de l'ETP (EvapoTranspiration Potentielle) n'est possible que via la mesure de variables climatiques ([22]). Les valeurs de ces variables sont issues des mesures météorologiques effectuées par l'ANACIM à la station Thiès sur la période 1980-2015. Pour chaque paramètre la moyenne mensuelle a été calculée sur la durée d'observation dudit paramètre.

Tableau 3-1. Valeurs moyennes des variables climatiques de la station de Thiès sur la période 1980-2015

Paramètres	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$Hr_{\max}$ (%)	$Hr_{\min}$ (%)	$u_2$ (m/s)	Durée d'insolation (H)
Moyenne	33.3	20.3	86.7	39	2.6	8.2
Max	37.8	28.6	99.6	81	5.4	10.8
Min	28.7	9.8	47.2	9.3	0.9	2.9
Ecart type	1.5	3.1	9.7	16.3	0.9	1.6

avec,

- $Hr_{\max}$  : Humidité relative maximale
- $Hr_{\min}$  : humidité relative minimale
- $U_2$  : vitesse du vent mesurée à 2 m



L'évapotranspiration de référence (ou ETP) a été calculée avec la formule de Penman-Monteith ([7]).

L'équation de Penman-Monteith intègre les paramètres tels que la température, la radiation, la vitesse du vent et l'humidité relative. La surface de référence est caractérisée par une végétation courte et verdoyante (gazon), convenablement alimentée en eau, de hauteur uniforme (0,12 m), d'un albédo de 0,23 et d'une surface de résistance de 70 m/s ([7]). Sa formulation mathématique est la suivante :

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

où,

$ET_0$  est l'évapotranspiration de référence (en mm/jour),

$Rn$  : rayonnement net à la surface des cultures (en MJ/m<sup>2</sup>/jour),

$G$  est la densité de flux de chaleur du sol (en MJ/m<sup>2</sup>/jour),

$T$  est la température moyenne quotidienne de l'air à une hauteur de 2 m (en °C),

$u_2$  est la vitesse du vent à une hauteur de 2 m (en m/s),

$e_s$  est la pression de vapeur de saturation (en kPa),

$e_a$  est pression de vapeur réelle (en kPa),

$(e_s - e_a)$  est le déficit de saturation (en kPa),

$\Delta$  est la courbe de pente de la pression de vapeur (en kPa.°C<sup>-1</sup>),

$\gamma$  est la constante psychométrique (en kPa.°C).

L'ETP selon la formule de Penman-Monteith a été calculée d'après les données précitées. Le graphique ci-après présente l'évolution de l'ETP de 1981 à 2015 à Thiès.

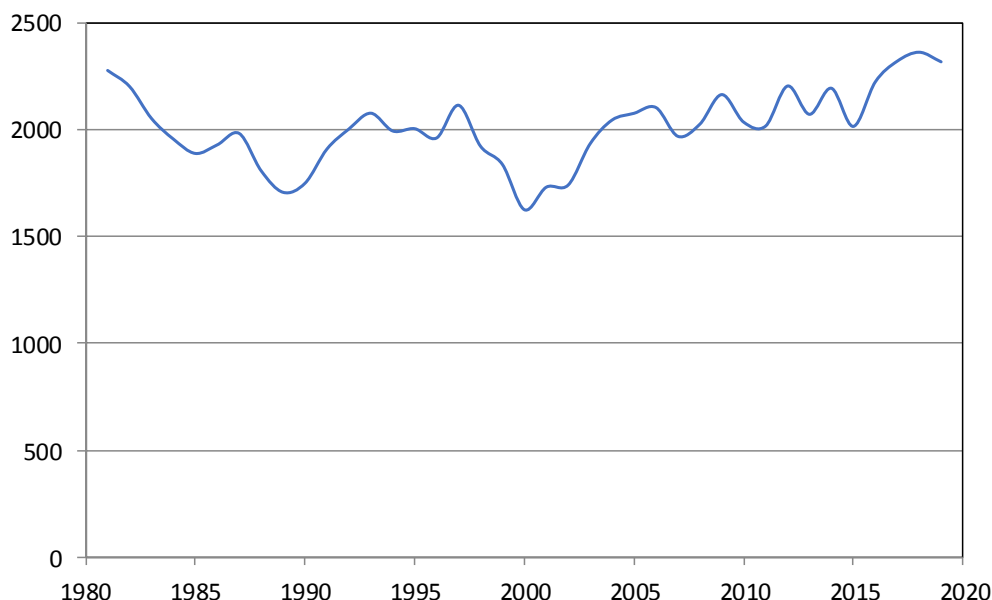


Figure 3-9. Evolution de l'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) en mm de 1981 à 2019 à Thiès

L'ETP présente des valeurs relativement élevées (de l'ordre de 2000 mm/an) et avec une forte variabilité (de ≈1630 à ≈ 2280 mm).

La figure ci-après présente la répartition mensuelle de l'ETP.



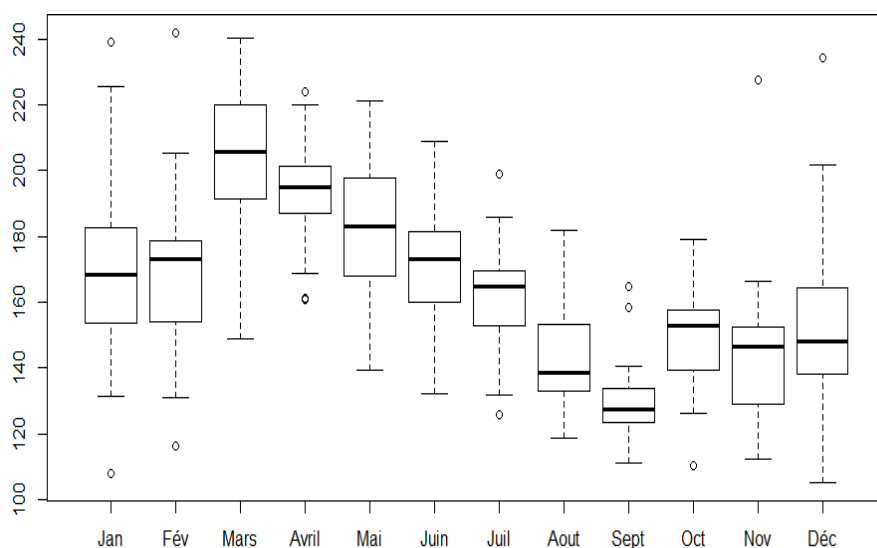


Figure 3-10. Evolution de l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne (ETP) en mm de 1981 à 2015 à Thiès

Cette figure montre que l'évapotranspiration varie en fonction des saisons. En effet, durant l'hivernage (juillet à septembre), l'ETP moyenne mensuelle varie de 130 à 172 mm et la valeur minimale est observée au mois de septembre. Durant la saison sèche (octobre à juin), l'ETP varie en moyenne de 145 à 205 mm et sa valeur maximale (240 mm) est observée au mois de mars. Par contre, les valeurs maximales de la température moyenne sont observées entre juin et octobre (27 et 28°C) où les valeurs d'ETP sont plus faibles. Cette baisse de l'évapotranspiration durant cette période s'explique par l'importance des précipitations et l'augmentation de l'humidité relative durant la saison des pluies.

Ainsi il est possible d'anticiper une recharge des nappes très contrastée : durant l'hivernage il y a de fortes précipitations et une évapotranspiration relativement faible, une certaine recharge des nappes pourra avoir lieu. Alors qu'en période sèche, il ne pleut quasiment pas et l'évapotranspiration est élevée : il n'y aura pas de recharge (ou très peu) durant cette période.

Ainsi la conjugaison d'une période sèche prolongée (depuis le début des années 70 jusqu'au début des années 2000) et d'une ETP globalement élevée a eu un impact fort sur les écoulements de surface et sur l'assèchement progressif du 'lac' Tanma.

### 3.3 Ressources en eau superficielle

#### 3.3.1 Délimitation des bassins versants

La Figure 3-11 présente la localisation des bassins versants étudiés. Le réseau hydrographique de ces bassins versants est intermittent. Il s'agit de ruisseaux anacлинаux<sup>9</sup> dont l'activité dépend des grosses averses qui provoquent un écoulement de type torrentiel très circonscrit dans le temps ([16]). Tous ces ruisseaux convergent vers la zone dépressionnaire du 'lac' Tanma à l'exception de la partie extrême sud de la zone d'étude qui s'écoule vers la Somone.

<sup>9</sup> i.e. le sens d'écoulement est opposé au sens de pendage des couches des formations géologiques

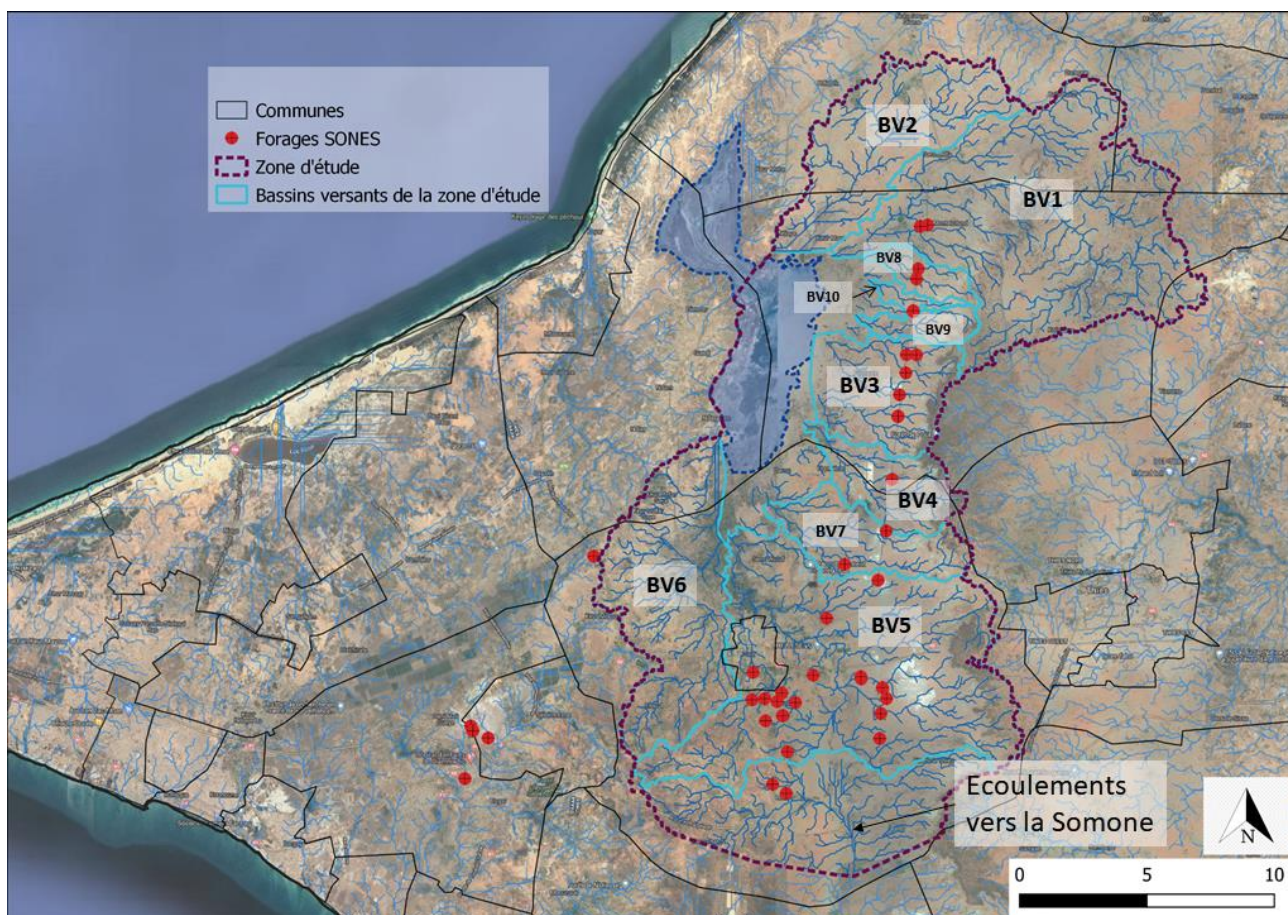


Figure 3-11. Localisation des bassins versants de la zone d'étude

Il peut être noté que la zone d'alimentation des forages de la SONES sur la région de Pout ne correspond pas au découpage des UGP et sous-UGP instauré par le code de l'eau. En effet, ces délimitations (UGP et Sous-UGP) correspondent à des limites de bassins versants (d'eau de surface).

Les cours d'eau drainent de petits bassins versants, sans réseau hydrométrique, qui se jettent directement quelque fois, en dehors du 'lac' Tanma, dans des dépressions fermées telles que les carrières. Ces petits bassins ont des crues parfois très fortes (en fonction de volumes précipités) qui provoquent une importante érosion détruisant les voies de communications et une dégradation des sols dont les effets cumulés sont très perceptibles autour du plateau de Thiès et du massif de Diass.



Figure 3-12. Inondation de la piste reliant Pout à Mont Rolland durant l'hivernage

Tableau 3-2. Caractéristiques des bassins versants de la zone de projet

Code BV	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Kc	L (km)	I (km)	Dénivelée (m)	I <sub>g</sub> (m/km)	D <sub>s</sub> (m)
BV1	85.86	83.75	2.53	39.71	2.16	133	3.35	31.03
BV2	33.89	49.1	2.36	23.08	1.47	49	2.12	12.36
BV3	22.03	28.52	1.70	12.50	1.76	142	11.36	53.33
BV4	13.9	29.2	2.19	13.58	1.02	137	10.09	37.62
BV5	89.28	86.27	2.56	40.96	2.18	122	2.98	28.15
BV6	44.1	54.42	2.29	25.48	1.73	91	3.57	23.72
BV7	16.12	34.07	2.38	16.03	1.01	126	7.86	31.56
BV8	5.04	18.22	2.27	8.52	0.59	108	12.68	28.46
BV9	4.73	17.27	2.22	8.05	0.59	124	15.41	33.51
BV10	1.89	14.7	2.99	7.08	0.27	104	14.68	20.18

avec,

Kc : Indice de compacité (correspond au rapport du périmètre du bassin au périmètre d'un cercle de même superficie)

L : Longueur du rectangle équivalent

I : Largeur du rectangle équivalent

I<sub>g</sub> : Indice de pente globale (est égal au ratio D sur L. Il caractérise le relief d'un bassin)

D<sub>s</sub> : Dénivelée spécifique (produit de l'indice de pente global (I<sub>g</sub>) par la racine carrée de la superficie du bassin (S)). Elle s'exprime en mètres et est indépendante, en théorie, de l'aire du bassin. On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de D<sub>s</sub> :

Relief faible	D <sub>s</sub> < 50
Relief modéré	50 < D <sub>s</sub> < 100
Relief fort	100 < D <sub>s</sub>

Sur le secteur d'étude, les bassins versants ont un relief faible à légèrement modéré.

### 3.3.2 Méthode de calcul des pluies moyennes annuelles des bassins versants

Pour estimer les débits ruisselés sur les différents bassins versants (Cf. §3.3.3) il importe, dans un premier temps, d'estimer les quantités d'eau précipitées sur chaque bassin versant à partir de mesures localisées ponctuellement (Station de Thiès).

Pour estimer la pluie moyenne sur un bassin versant plusieurs méthodes existent. La plupart des méthodes (isohyètes, polygones de Thiessen,...) reposent sur un réseau de pluviomètres et consistent en une interpolation entre les valeurs mesurées aux stations.

Dans le cas présent seule la station de Thiès est représentative des pluies à long terme sur la zone de Pout. Dans ce cas l'évaluation d'une pluie moyenne (équivalente) sur toute la surface du bassin versant – qui correspond à la notion de « lame d'eau » - à partir des mesures ponctuelles mesurées à Pout est réalisée en utilisant un coefficient d'abattement.

La notion de coefficient d'abattement repose sur le fait que des événements pluvieux peuvent avoir une extension limitée. Pour certains événements pluvieux particuliers, la hauteur des précipitations tombant sur une surface diminue lorsqu'on s'éloigne de l'épicentre de l'averse. Il est donc nécessaire d'introduire un coefficient d'abattement des pluies mesurées ponctuellement de telle façon que le produit des pluies 'corrigées' par la surface du bassin versant donne une bonne représentation du volume d'eau précipité sur le bassin versant.

Dans la pratique, il existe des formules théoriques permettant d'estimer le coefficient d'abattement. Compte tenu de la faible densité des postes pluviométriques dans la zone du projet mais aussi de la taille relativement modeste des bassins versants (Cf. Tableau 3-2 ), la pluie moyenne des différents bassins versants a été déterminée en multipliant la hauteur de précipitation ponctuelle annuelle  $P_a$  par le coefficient d'abattement  $A$ , déterminé par l'équation simplifiée de Vuillaume (1974) :

$$P_{ma} = A \times P_a$$

$$A = 1 - \left[ \frac{161 - 0.042 \times \overline{P_{an}}}{1000} \times \log(S) \right]$$

où  $A$  est le coefficient d'abattement (sans dimension),

$\overline{P_{an}}$  est la hauteur moyenne des précipitations annuelles sur l'ensemble de la chronique disponible, en mm,

$S$  est la superficie du bassin versant, en  $Km^2$ .

Le tableau ci-dessous donne les coefficients d'abattement obtenus.

*Tableau 3-3. Coefficients d'abattement pour les bassins versants de la zone de projet*

	$\overline{P_{an}}$	$S$	$A$
<b>BV1</b>	543	85.86	0.73
<b>BV2</b>	543	33.89	0.79
<b>BV3</b>	543	22.03	0.81
<b>BV4</b>	543	13.9	0.84
<b>BV5</b>	543	89.28	0.73
<b>BV6</b>	543	44.1	0.77
<b>BV7</b>	543	16.12	0.83
<b>BV8</b>	543	5.04	0.90
<b>BV9</b>	543	4.73	0.91
<b>BV10</b>	543	1.89	0.96

### 3.3.3 Estimation des écoulements des cours d'eau intermittents de la zone de Pout

Sur la zone de Pout il n'y a pas de station de jaugeage permettant de mesurer les débits des cours d'eau. Il a donc été nécessaire de procéder par analogie avec le bassin de la Somone proche (où des mesures de débits existent) pour estimer les débits des cours d'eau de la zone de Pout.



A partir du module<sup>10</sup> de la Somone, mesuré au niveau de la station hydrométrique du pont routier, et de la surface du bassin versant, une lame d'eau équivalente (au débit) est évaluée<sup>11</sup>. Une pluie moyenne est par ailleurs évaluée à partir des stations pluviométriques de Pout, Tassete, Bambylor et Nguekhoke. Ensuite un coefficient de ruissèlement est estimé : c'est le ratio 'lame d'eau correspondant au débit du cours d'eau'/hauteur de pluie.

Les valeurs des coefficients de ruissèlement (CR) issues de l'étude « Etude bathymétrique de la lagune de Somone, 2015 »<sup>12</sup> sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 3-4. Coefficients de ruissèlement de la Somone au pont routier – période 1975-1992

Année	Pluie moyenne (mm)	Module (m <sup>3</sup> /s)	Lame d'eau (mm) correspondant au module	CR
1975	591.9	0.047	4.029	0.68%
1976	453.7	0.001	0.1	0.02%
1977	221.9	0.061	5.214	2.35%
1986	380.5	0.048	4.108	1.08%
1988	548.3	0.041	3.5	0.64%
1989	558.9	0.002	0.2	0.04%
1991	340.9	0.010	0.869	0.25%
1992	317.4	0.014	1.185	0.37%
<b>Moyenne</b>				<b>0.68%</b>

Il en est déduit un coefficient de ruissèlement moyen de 0.68%. C'est-à-dire que le débit moyen en extrémité de bassin correspond à seulement 0.68% du volume moyen des pluies. En particulier, il y a des années où les pluies ne sont pas suffisantes pour générer un débit à l'aval du bassin versant comme l'illustre la figure suivante<sup>13</sup>.

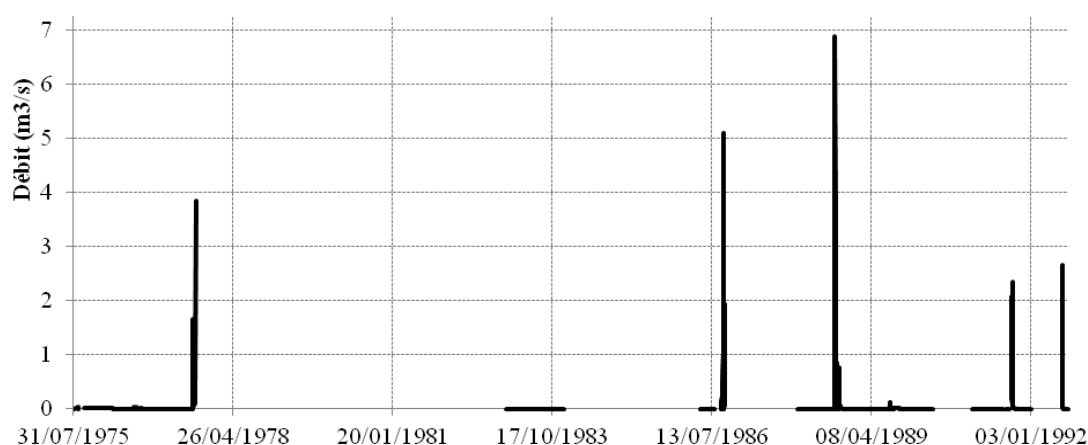


Figure 3-13. Débit de la Somone au Pont routier (1975-1992)

Le coefficient de ruissèlement moyen est particulièrement faible et s'explique notamment, dans le cas du bassin de la Somone, par la présence de plusieurs 'barrages' qui bloquent une très grande partie des écoulements. L'analogie (par défaut de mesures de débits sur la zone de Pout) doit donc être considérée avec prudence et aboutira probablement à une sous-estimation des débits de ruissèlement.

<sup>10</sup> Le module correspond au débit hydrologique moyen interannuel d'un cours d'eau

<sup>11</sup> C'est-à-dire que le volume correspondant au produit de la lame d'eau par la surface du bassin versant correspond au débit cumulé mesuré à la station de jaugeage à l'aval du bassin versant

<sup>12</sup> Ref. [28]

<sup>13</sup> L'étude précitée indique même qu'aucun débit n'a été remarqué lors des observations de terrain effectuées sur la période 2007-2010 même en saison des pluies

Il ressort également de cette approche que dans le cas d'une amélioration de la gestion des ressources en eau de la zone de Pout il serait pertinent d'installer une ou des stations de jaugeage sur la zone de Pout pour connaître plus précisément les débits de ruissèlement.

Les volumes précipités et ruisselés estimés des différents bassins versant de la zone de Pout sont indiqués aux tableaux Tableau 3-5 et Tableau 3-6 pour la période 1930-2013.

Tableau 3-5. Volumes précipités par bassins versants en  $10^3 \text{ m}^3$

	Moyenne	Ecart-type	Maximum
<b>BV1</b>	34 169	12 652	75 750
<b>BV2</b>	14 514	5 374	32 176
<b>BV3</b>	9 744	3 608	21 601
<b>BV4</b>	6 357	2 354	14 092
<b>BV5</b>	35 417	13 114	78 515
<b>BV6</b>	18 508	6 853	41 030
<b>BV7</b>	7 294	2 701	16 170
<b>BV8</b>	2 472	915	5 479
<b>BV9</b>	2 329	862	5 164
<b>BV10</b>	987	366	2 189

Tableau 3-6. Volumes ruisselés par bassins versants en  $10^3 \text{ m}^3$

	Moyenne	Ecart-type	Maximum
<b>BV1</b>	232	86	515
<b>BV2</b>	99	36	219
<b>BV3</b>	66	24	147
<b>BV4</b>	43	16	96
<b>BV5</b>	241	89	534
<b>BV6</b>	126	46	279
<b>BV7</b>	50	18	110
<b>BV8</b>	17	6	37
<b>BV9</b>	16	6	35
<b>BV10</b>	7	2	15

## 3.4 Ressources en eau souterraine

### 3.4.1 Système aquifère du Horst de Diass

Le système aquifère du Horst de Diass est composé essentiellement des formations du Maastrichtien, du Paléocène, de l'Eocène et du Quaternaire. La structure hydrogéologique est complexe en raison de l'existence de quatre failles majeures qui découpent le horst en quatre compartiments ([15] (voir Figure 3-14 et Figure 3-15) :

- Le compartiment de Sébikotane, délimité par la faille de William Ponty (limite occidentale du Horst) et la faille de Sébikotane caractérisée par l'affleurement des marnes éocènes.
- Le compartiment de NDiass, délimité en son flanc ouest par la faille de Sébikotane et en son flanc est par les failles de Pout et de Fouloume, est divisé en deux secteurs au niveau du 'lac' Tanma :
  - le secteur sud, caractérisé par l'affleurement du Maastrichtien ;
  - le secteur nord, correspondant à l'affleurement des calcaires paléocènes et des marnes éocènes.



- Le compartiment de Pout, entre les failles de Pout/Fouloume à l'ouest et la faille de Thiès, caractérisé par l'affleurement des calcaires paléocènes, localement recouverts par les marnes éocènes au nord (compartiment de Pout nord).
- Le compartiment de Thiès, correspondant au plateau des marnes éocènes situé à l'est de la faille de Thiès.

Chaque compartiment renferme une ou plusieurs nappes individualisées, mais à l'échelle du bassin celles-ci peuvent être regroupées en deux grands ensembles hydrogéologiques superposés ([9], [25] [35] :

- Un ensemble inférieur constitué par la nappe profonde du Maastrichtien qui occupe les formations gréseuses et sablo-argileuses du Maastrichtien profond et du Campanien supérieur ;
- Un ensemble supérieur hétérogène constitué d'aquifères superficiels et semi-profonds. Il s'agit des formations perméables du quaternaire, notamment au niveau de certaines vallées fossiles quaternaires, de l'Eocène (marno-calcaire), du Paléocène (calcaires karstifiés) et des niveaux supérieurs du Maastrichtien.

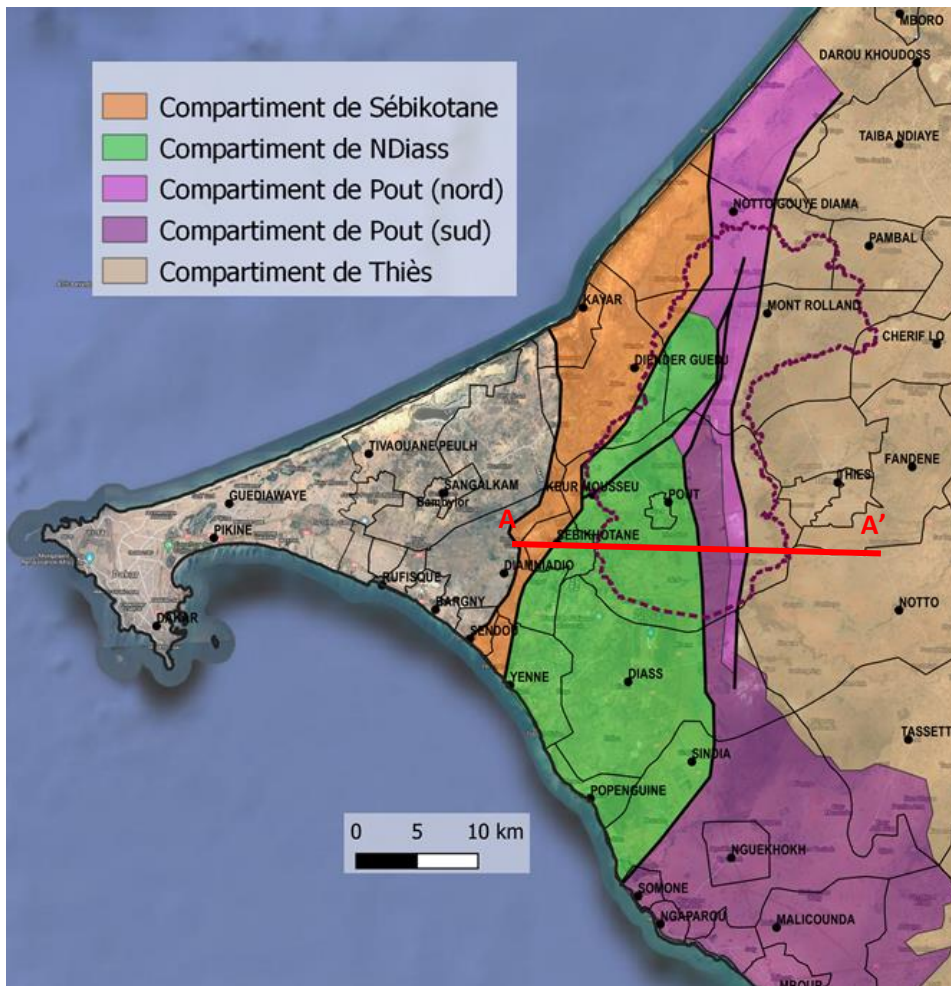


Figure 3-14. Carte hydrogéologique présentant les principaux aquifères et délimitation de la zone d'étude

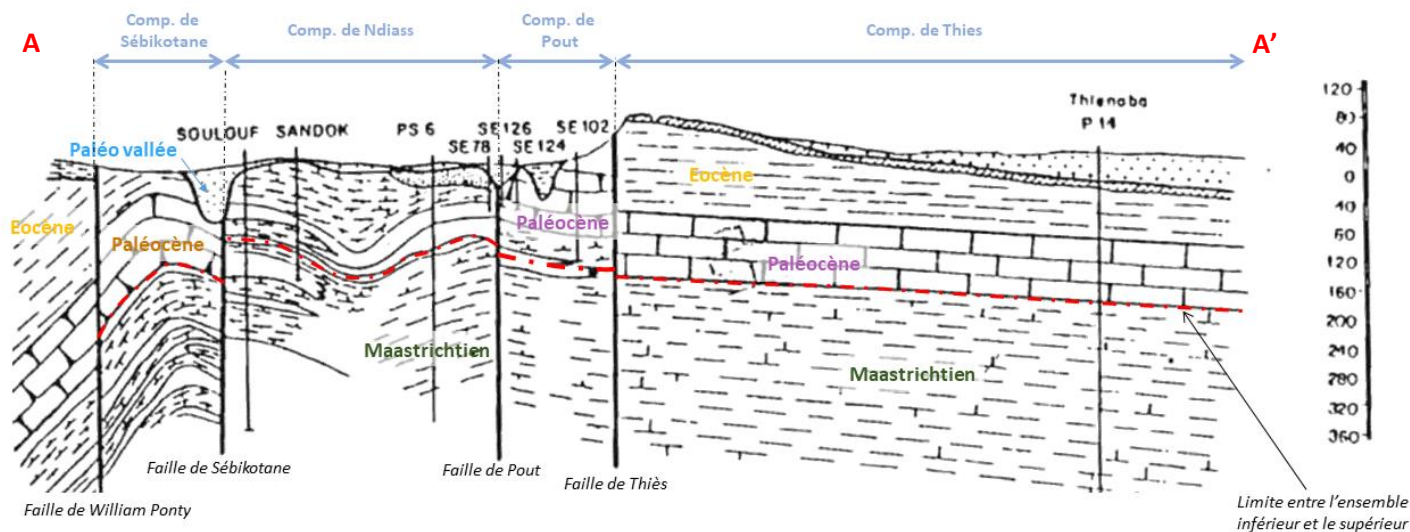


Figure 3-15. Coupe transversale de la zone d'étude AA'<sup>14</sup> (localisation de la coupe AA' sur la figure précédente)

#### 3.4.1.1 L'ensemble inférieur

L'ensemble inférieur est constitué par les formations grésocalcaires et sablo-argileuses du Maastrichtien et du Campagnien supérieur. C'est un aquifère à nappe captive sous les calcaires et marnes du Paléocène et de l'Eocène inférieur. Son épaisseur varie entre 300 et 500 m. La limite hydrogéologique inférieure est constituée par une interface eau-douce eau salée ([25] [35]). Cette salinité est d'origine naturelle et liée aux mouvements de transgression-régression de la mer lors de la mise en place du bassin et donc aux caractéristiques intrinsèques des formations<sup>15</sup> ([26]).

Dans le Horst, i.e. le compartiment de Ndiass, l'aquifère profond est recouvert par des formations peu perméables (grès calcaires et sables argileux) du Maastrichtien supérieur et des formations latéritiques et sableuses du Quaternaire. Ces dernières contiennent une nappe phréatique qui est en continuité hydraulique avec la nappe profonde ([25]).

Vers l'ouest du Horst, l'aquifère du Maastrichtien disparaît progressivement, les faciès sableux cèdent la place à des niveaux argileux et marneux. A l'est un système de failles nord-sud le met en contact avec l'aquifère profond du Maastrichtien qui occupe l'ensemble du bassin sédimentaire sénégalais et les dépôts paléocènes sus-jacents. Au nord du Horst, l'aquifère s'ennoie sous la dépression du 'lac' Tamna où il est recouvert, en discordance, par les marnes et argiles de l'Eocène inférieur ([35]).

Les valeurs des transmissivités sont comprises entre  $1 \cdot 10^{-4}$  et  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  à l'exception du secteur de Pout sud où l'on trouve des valeurs plus élevées (jusqu'à environ  $6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ) attribuées à faciès de sables propres ([2] [9] [35]). Le coefficient d'emmagasinement est d'environ  $1 \cdot 10^{-4}$  ([9] [35])<sup>16</sup>.

#### 3.4.1.2 L'ensemble supérieur

L'ensemble supérieur regroupe les formations superficielles du Maastrichtien supérieur, les calcaires du Paléocène souvent maintenus captifs par des formations marneuses et marno-argileuses de l'Eocène qui les surmontent, et les formations du Quaternaire.

<sup>14</sup> Coupe transversale : Ref. [35] [35].

<sup>15</sup> Eaux salées datant de très longtemps (eau connée)

<sup>16</sup> Valeur caractéristique d'une nappe captive

Dans le compartiment de Sébikotane, les calcaires karstifiés du Paléocène reposent sur les grès calcaires du Maastrichtien faiblement aquifères. Ces grès calcaires, sont en relation hydraulique avec la nappe des calcaires paléocènes. Dans les limites du compartiment les calcaires sont très perméables et se comportent comme une crépine naturelle qui connecte l'aquifère du Maastrichtien et l'aquifère du paléocène. Antérieurement à l'exploitation intensive et à la sécheresse de ces dernières années, les différences de charge indiquaient une drainance ascendante de l'aquifère maastrichtien vers l'aquifère paléocène aux abords immédiats du Horst de N'Diass ([9] [21], [35] <sup>17</sup> ce qui n'est plus le cas actuellement. Les calcaires sont surmontés par des marnes plus récentes ou par des dépôts sableux constituant des zones d'échanges privilégiés (vallées fossiles de Ndoyène et Santhia, qui sont comblées par un remplissage de sables quaternaires).

Dans le compartiment de Pout, les calcaires karstifiés du Paléocène sont en contact direct avec les formations grésocalcaires du Maastrichtien. Les calcaires affleurent depuis l'océan au sud jusqu'au village de Fouloum (compartiment Pout Sud) au nord où ils s'ennoient sous les marnes de l'Eocène inférieur (compartiment Pout Nord). La nappe contenue dans ces calcaires est donc libre jusqu'au village de Fouloum et devient captive au nord de Pout ([35] .

Les valeurs des transmissivités de l'aquifère du Paléocène sont très variables. Elles sont comprises entre  $8.10^{-3}$  à  $3.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s dans le compartiment de Sébikotane, entre  $1.10^{-2}$  et  $1.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s dans celui de Pout et de  $1.10^{-3}$  à  $1.10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s dans la région de Mbour-Fatick. Cette très grande variation est liée à l'hétérogénéité de la structure de l'aquifère paléocène due à la présence de nombreuses failles, aux fréquentes variations latérales de faciès et au degré de karstification des calcaires ([8], [9] [35] .

Dans le compartiment de N'Diass l'ensemble supérieur est représenté par les formations supérieures du Maastrichtien (sables et argiles) et les gravillons latéritiques du Quaternaire. Ces formations s'étendent sur l'ensemble du massif de N'diass jusqu'au rivage sud du 'lac' Tamna et au sud du compartiment de Pout ([35] . Elles sont séparées du Maastrichtien profond ou du Paléocène par plusieurs assises géologiques ([35] .

Dans l'ensemble du système, les formations quaternaires sont constituées principalement par ([35] :

- de latérite, d'argiles sableuses et d'une alternance argiles / sables jaunes à ocres dans la partie méridionale du Horst ;
- de sables ocres à jaunes très peu épais, passant latéralement à des argiles sableuses avec des galets et des rognons de silex au centre du Horst ;
- de niveaux sableux (donc potentiellement aquifères) qui comblent les anciennes vallées fossiles (Pout, Mt Rolland, Santhia et Ndoyène). De manière très localisée, au niveau de certaines vallées fossiles quaternaires, des couches de sable superficielles sont en relation hydraulique avec les formations aquifères sous-jacentes du Paléocène ou du Maastrichtien. Ces vallées peuvent favoriser la recharge de la nappe superficielle pendant les périodes de pluie en stockant l'eau qui éventuellement pourra recharger par percolation les aquifères plus profonds ([15] .

### 3.4.2 Recharge du système aquifère

#### 3.4.2.1 Recharge du Maastrichtien sur le territoire de Sénégal

Deux zones de recharge de l'aquifère Maastrichtien sont identifiées sur le territoire sénégalais<sup>18</sup> ([2] [15] (Figure 3-16) :

<sup>17</sup> Les niveaux piézométriques du Maastrichtien étaient plus élevés que ceux du Paléocène jusqu'à environ 1980. Les mesures des niveaux plus récents, depuis 2009, montrent une inversion du gradient hydraulique entre les deux aquifères, avec un niveau d'eau du Maastrichtien plus bas que celui du Paléocène.

<sup>18</sup> L'aquifère Maastrichtien s'étend sur l'ensemble du bassin sénégal-mauritanien, cependant il n'est pas exploité en Mauritanie en raison de la faible conductivité hydraulique et de la salinité élevée [2] .



- la zone du Horst de Ndiass, où l'affleurement du Maastrichtien peut permettre l'infiltration directe des pluies et des eaux de surface ;
- la bordure sud-est de l'aquifère à proximité du socle cristallin (à l'est du Sénégal), où la faible profondeur de l'aquifère et les fortes pluviosités constituent des conditions favorables à la recharge.

Une troisième zone potentielle de recharge de l'aquifère Maastrichtien a été identifiée dans les bordures nord-est et est du bassin le long du fleuve Sénégal, où les alluvions quaternaires recouvrent quasi directement le Maastrichtien ([15] (Figure 3-16). Cependant, d'après de récentes études isotopiques, le fleuve Sénégal n'alimenterait pas considérablement l'aquifère du Maastrichtien ([2] .

Sur le territoire sénégalais la recharge de l'aquifère profond du Maastrichtien a été estimée à environ 103 Mm<sup>3</sup>/an ([2] <sup>19</sup>(voir figure ci-dessous).

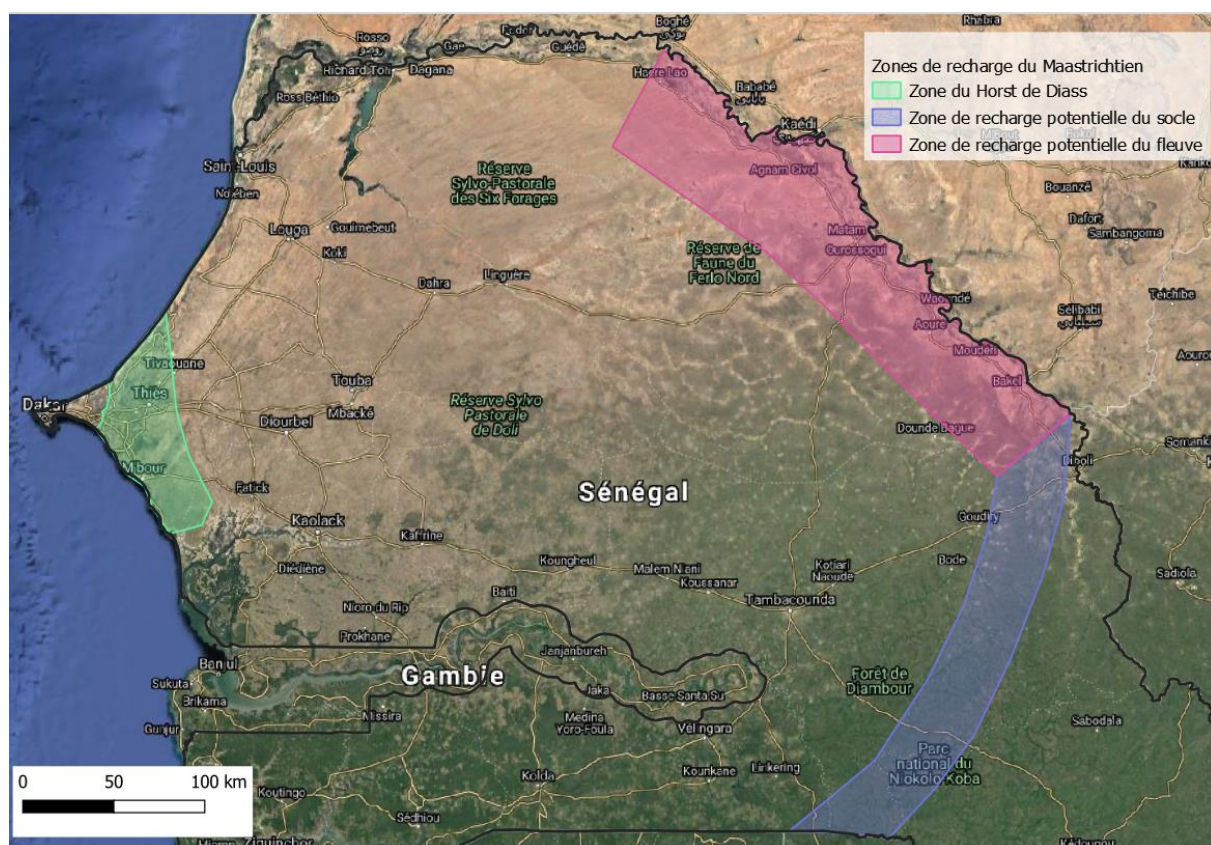


Figure 3-16. Zones de recharge de l'aquifère Maastrichtien en Sénégal ([15]

Des études isotopiques montrent que la recharge du Maastrichtien s'est produite principalement lors des épisodes pluvieux du Quaternaire, il y a plusieurs milliers d'années. Dans la zone de Pout les eaux du Maastrichtien ont été datées jusqu'à 28 000 ans BP ([23] . La recharge actuelle, due aux processus d'infiltration superficielle, n'est pas nulle mais correspond à un très faible pourcentage du volume total stocké dans l'aquifère.

La recharge directe et locale du système du Horst de Diass est précisée ci-après.

<sup>19</sup> Il peut être noté que les prélèvements de l'aquifère du Maastrichtien au Sénégal (y compris la partie ouest (Horst de Diass), centre (Touba) et est) sont estimés à 177 Mm<sup>3</sup>/an en 2017 par la DGPRES ([26] . ce qui souligne la surexploitation de l'aquifère.

### 3.4.2.2 Recharge locale du Maastrichtien et du Paléocène affleurant sur la zone d'étude

Dans le système aquifère du Horst de Diass, la recharge locale du Maastrichtien se produit par les mécanismes suivants ([15]) :

- (1) L'infiltration directe des précipitations et des eaux de surface sur la partie sub-affleurante et libre de la nappe maastrichtienne dans la partie centrale du Horst, compartiment de NDiass (au travers des formations quaternaires). Celle-ci se produit également, par endroits et de manière très localisée, au niveau de certaines vallées fossiles quaternaires de couches de sable superficielles (donc potentiellement aquifères), en relation hydraulique avec les formations aquifères sous-jacentes du Paléocène ou du Maastrichtien ([8]) ;
- (2) L'infiltration verticale différée dans les zones recouvertes par les parties aquifères du Paléocène (notamment sur le compartiment Pout sud, où celui-ci est affleurant) ;
- (3) Le déversement latéral à la faveur de la mise en contact des panneaux aquifères maastrichtiens et paléocènes.

La recharge se produit principalement pendant la saison pluvieuse, de juin à octobre, lorsque l'eau pluviale 'se concentre' au niveau du réseau hydrographique (cours d'eau intermittents) et dépasse temporairement l'évapotranspiration potentielle ([30]) . Bien que la recharge par infiltration directe de la précipitation à la surface du sol soit possible – hors talwegs –, ce processus est limité i) par les forts taux d'évapotranspiration potentielle et ii) surtout par le fait que la recharge se fait principalement lors d'événement pluvieux intenses (où l'eau précipitée ruissèle sur le sol pour atteindre les talwegs – zone préférentielle de recharge). L'infiltration hors zone de concentration des écoulements n'est donc pas le mode principal de recharge.



*Figure 3-17. Cours d'eau intermittent dans la zone d'étude vers Mont Rolland. Le calcaire du Paléocène est découvert et la recharge naturelle de la nappe se produit lors que les eaux de ruissèlement se concentrent dans les cours d'eau pendant la saison des pluies.*



La recharge estimée du système *Horst de Diass*, à partir de la modélisation numérique menée par la DGPRE en 2018, varie entre environ 10 et 36 Mm<sup>3</sup>/an<sup>20</sup> ([8]).

D'après cette modélisation numérique, dans la *zone d'étude du projet*, la recharge locale estimée varie entre 2 et 7 Mm<sup>3</sup>/an<sup>21</sup>. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que la recharge estimée par la méthode du bilan des chlorures - bilan entre la concentration des eaux de la pluie et de celle du sol (ou de la nappe phréatique)<sup>22</sup> -, qui évalue la recharge à environ 23 mm/an, soit environ 9 Mm<sup>3</sup>/an dans la zone d'étude ([30]).

Dans le *compartiment de Ndiass* (voir Figure 3-14), la recharge moyenne annuelle, estimée par balance hydrique (étude COWI), pendant les années 'humides'<sup>23</sup> est d'environ 36 mm/an, soit 18 Mm<sup>3</sup>/an<sup>24</sup> ([15]). L'impact de la sécheresse des années 1970 sur la recharge du compartiment de Ndiass, a été estimé comme correspondant à un déficit d'environ 6 Mm<sup>3</sup>/an. In fine la recharge moyenne pendant la période de sécheresse est évaluée environ 12 Mm<sup>3</sup>/an<sup>25</sup>.

Le tableau ci-dessous synthétise les recharges estimées dans les différentes zones mentionnées précédemment.

Tableau 3-7. Synthèse des estimations de la recharge

	Recharge estimé
Aquifère Maastrichtien (sur le territoire sénégalais)	Environ 103 Mm <sup>3</sup> /an
Système Aquifère Horst de Diass (Quaternaire, Paléocène et Maastrichtien entre failles de Sebikotane et Thiès)	Entre 10 et 36 Mm <sup>3</sup> /an par calage du modèle DGPRE
Compartiment de Ndiass	Entre 6 et 18 Mm <sup>3</sup> /an par balance hydrique (COWI) Entre 5 et 17 Mm <sup>3</sup> /an par calage du modèle DGPRE
Zone du projet <sup>26</sup>	Entre 2 et 7 Mm <sup>3</sup> /an par calage du modèle DGPRE Environ 9 Mm <sup>3</sup> /an par bilan des chlorures (Mudry & Travi)

- La recharge directe par infiltration des eaux de ruissèlement est très localisée et se produit principalement au niveau de zones de 'concentration' : cours d'eau intermittents, marigots temporaires et bas-fonds pendant la saison pluvieuse.
- L'évaluation du potentiel de recharge artificielle des aquifères, dans la zone d'étude, doit donc se concentrer au niveau des cours d'eau intermittents et des vallées fossiles quaternaires, zones qui bénéficient d'apports localisés et de bonnes capacités d'infiltration.

<sup>20</sup> Cette estimation a été réalisée de façon indirecte par le calage du modèle numérique du système Horst de Diass ([8]). Il faut noter que l'incertitude est importante du fait de robustesse toute relative du calage du modèle (qui est impacté notamment par des données d'observations limitées et par des incertitudes importantes sur les données d'entrée du modèle – comme par exemple les prélèvements des maraichers-).

<sup>21</sup> Calcul estimatif réalisé d'après Antea (2018) [2] pour la zone du projet (403 Km<sup>2</sup>) ([8]).

<sup>22</sup> L'évapotranspiration concentre les chlorures, donc le rapport entre la concentration de l'eau de la pluie et de celle du sol (ou de la nappe) représente le coefficient d'alimentation de la nappe.

<sup>23</sup> Période avant la sécheresse des années 70, 1920-1970

<sup>24</sup> Pour une surface d'environ 450 km<sup>2</sup>

<sup>25</sup> La recharge estimée par Antea (2018) varie entre 5 et 17 Mm<sup>3</sup>/an dans le *compartiment de Ndiass* ([8]).

<sup>26</sup> La zone du projet a une surface d'environ 403 Km<sup>2</sup>. Elle est située que partiellement dans la zone du compartiment de Ndiass (voir Figure 3-14).



### 3.4.3 Prélèvements dans le système du Horst de Diass

Le système aquifère du Horst de Diass est exploité principalement pour l'eau potable par la Société Nationale des Eaux du Sénégal (SONES). Les nappes sont également exploitées pour l'eau potable rurale par l'Office des Forages Ruraux – (OFOR) et pour l'agriculture et les activités industrielles (industries minières et agro-alimentaires).

Les débits estimés en 2016 sont de l'ordre de  $92 \text{ Mm}^3/\text{an}$ <sup>27</sup> dont environ  $50 \text{ Mm}^3/\text{an}$  utilisés pour l'approvisionnement en eau de Dakar et Mbour<sup>28</sup>. Les débits d'exploitation augmentent globalement de façon continue depuis les années 60.

Il est à noter que l'ensemble des prélèvements (tous les usages) est sous-estimé. A titre d'exemple, un grand nombre de puits, utilisés par les maraichers, ne sont pas enregistrés. Ces puits sont en général peu profonds, de moins de 30 m, et exploitent la nappe du Quaternaire à des débits faibles (par rapport aux débits de la SONES). Toutefois, le nombre de puits est très important et le cumul des débits prélevés pourrait être significatif. De ce point de vue la réalisation d'une estimation des volumes prélevés par les maraichers serait très souhaitable notamment dans le cadre d'une amélioration de la gouvernance des ressources en eau.

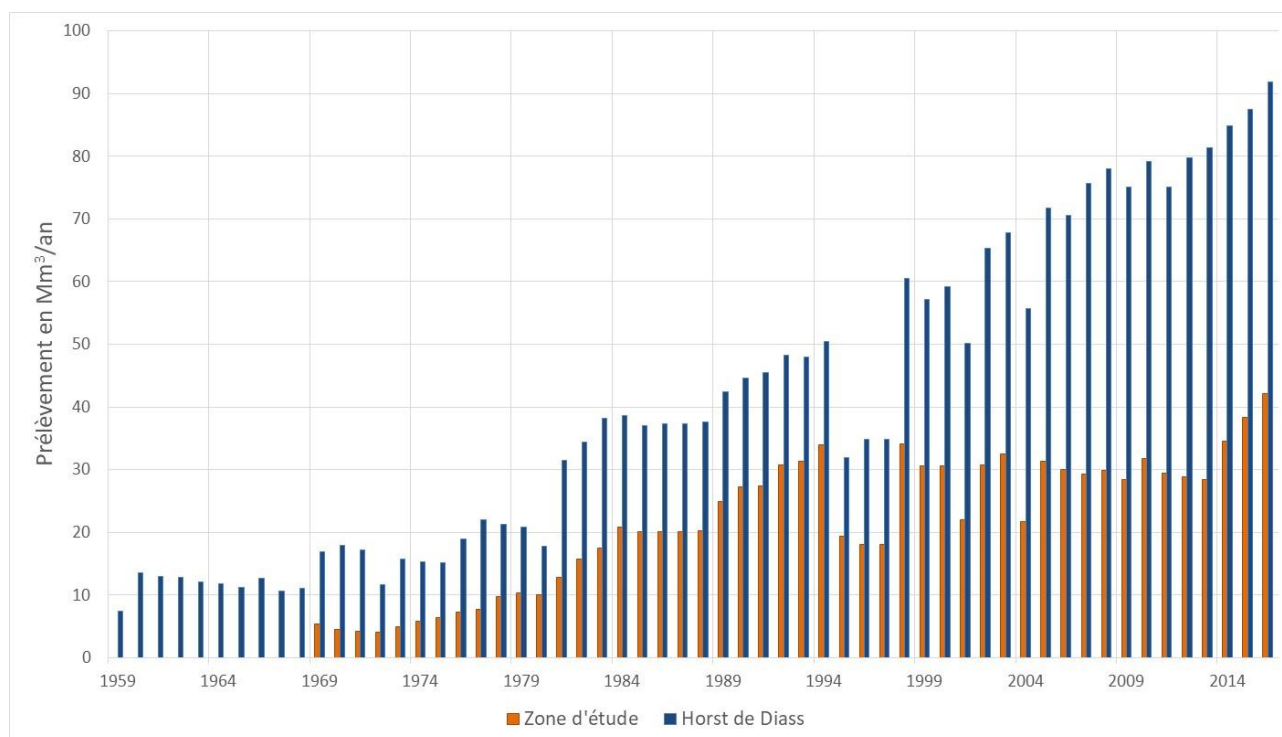


Figure 3-18. Chroniques des prélèvements de la nappe dans le Système Hors de Diass et dans la zone du projet ([14])

Dans la zone du projet les débits estimés en 2016 sont de l'ordre de  $42 \text{ Mm}^3$ <sup>29</sup>, dont environ  $32 \text{ Mm}^3$  utilisés par la SONES dans les trois champs captant de Pout (Pout Nord, Pout Sud et Pout Kirène),  $3 \text{ Mm}^3$  par les mines et carrières<sup>30</sup>,  $5 \text{ Mm}^3$  par des forages privés (agro-business, industries, ...) et  $1 \text{ Mm}^3$  par les forages ruraux ([14]).

La table ci-dessous présente le bilan entre la recharge et les prélèvements annuels. Le système du Horst de Dias et l'aquifère du Maastrichtien (sur le territoire sénégalais) sont surexploités. Les volumes prélevés atteignent jusqu'à 21 fois la recharge des années les plus sèches.

<sup>27</sup> Par rapport à une recharge estimée entre 10 et  $36 \text{ Mm}^3/\text{an}$

<sup>28</sup> Basse des données DGPRES ([14])

<sup>29</sup> Par rapport à une recharge estimée entre 5 et  $17 \text{ Mm}^3/\text{an}$  ([8])

<sup>30</sup> Les mines et carrières, bien qu'étant des opérateurs privés, sont mentionnés de façon spécifique dans les données de la DGPRES (Privés au sens DGPRES : tous les privés sauf Mines et carrières)

Tableau 3-8. Comparaison entre la recharge estimée et les prélèvements annuels.

	Recharge Estimé	Prélèvements
Aquifère Maastrichtien (sur le territoire sénégalais)	Environ 103 Mm <sup>3</sup> /an	177 Mm <sup>3</sup> /an
Système Aquifère Horst de Diass (Quaternaire, Paléocène et Maastrichtien entre failles de Sebikotane et Thies)	Entre 10 et 36 Mm <sup>3</sup> /an	92 Mm <sup>3</sup> /an en 2016
Zone du projet (403 Km <sup>2</sup> )	Entre 2 et 7 Mm <sup>3</sup> /an  Environ 9 Mm <sup>3</sup> /an	42 Mm <sup>3</sup> /an en 2016

En 2016, les prélèvements de la SONES correspondent à environ 76% des prélèvements de la nappe *dans la zone d'étude*. Les évolutions prévues des pompages par la SONES dans les champs captant de Pout consistent en une diminution des volumes prélevés. En 2019, le débit d'exploitation des trois champs captant était d'environ 29 Mm<sup>3</sup>/an et il est envisagé de le diminuer jusqu'à 13 Mm<sup>3</sup>/an en 2033. Cette réduction est associée au programme d'investissement pour l'alimentation en eau potable de Dakar et de la Petite Côte. Ce programme comprend la construction d'une troisième usine de traitement d'eau potable à Keur Momar Sarr sur le lac de Guiers (KMS 3) et la construction de l'usine de dessalement des Mamelles à Dakar.

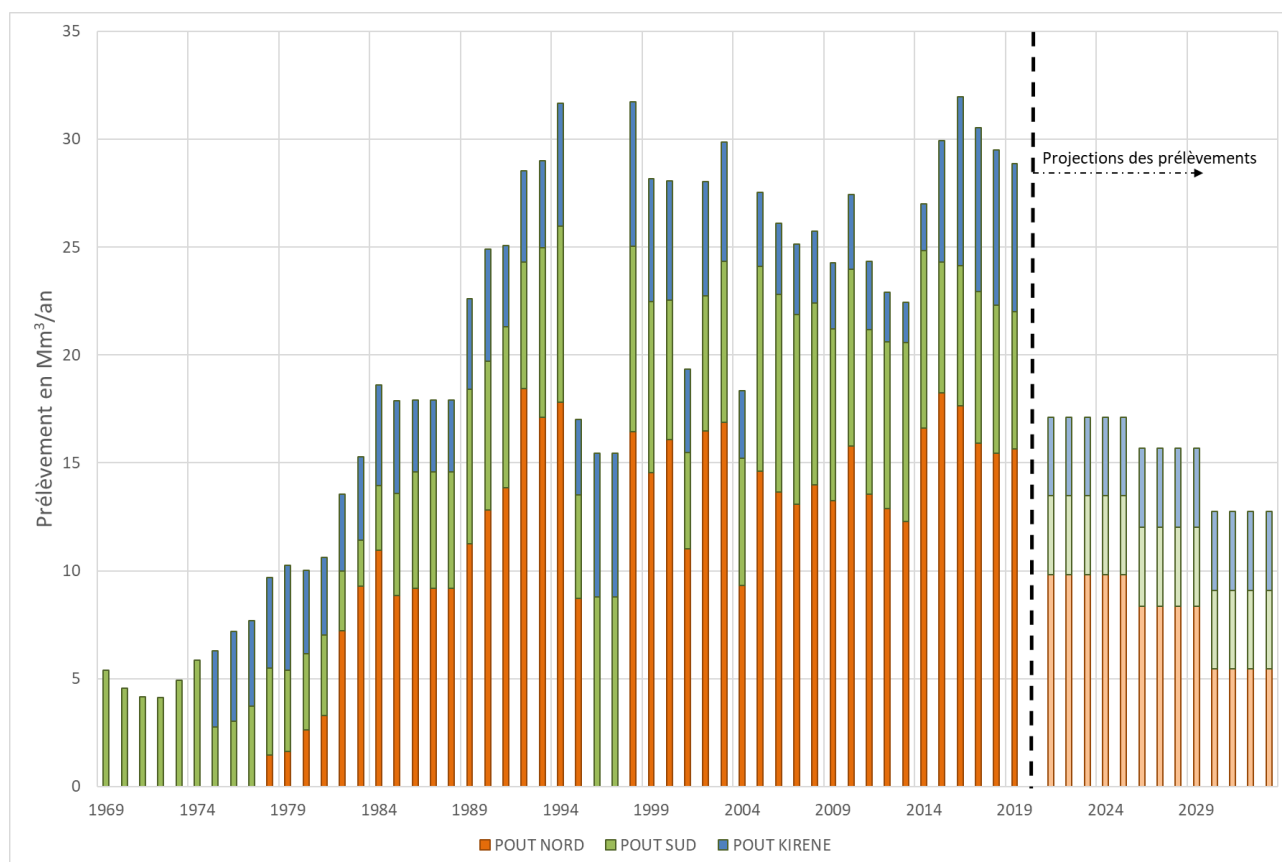


Figure 3-19. Choriques et projection futures des prélèvements de la SONES dans les trois champs captant de Pout ([8], [14])

Malgré les réductions envisagées des prélèvements de la SONES dans la nappe, l'exploitation des eaux souterraines de la zone de Pout reste importante pour la sécurisation de l'approvisionnement en eau de Dakar. En effet, cette

ressource en eau constitue une ressource disponible en cas de panne d'une usine ou du système de distribution. A titre d'illustration, en réponse à la forte évolution de la demande, et face au retard dans la mise en place des investissements structurants (usines des Mamelles et KMS 3), les autorités sénégalaises ont élaboré, depuis 2013, un programme d'urgence qui a consisté en la réalisation de forages supplémentaires.

Les débits des forages ruraux ils ont connu une augmentation sensible à partir des années 2000. Les scénarios futurs envisagent que cette évolution à la hausse pourrait se poursuivre.

Les pompages des forages des sociétés minières ont aussi augmenté sensiblement après 2013. La figure ci-dessous montre la distribution par usage des prélèvements historiques dans la *zone du projet*.

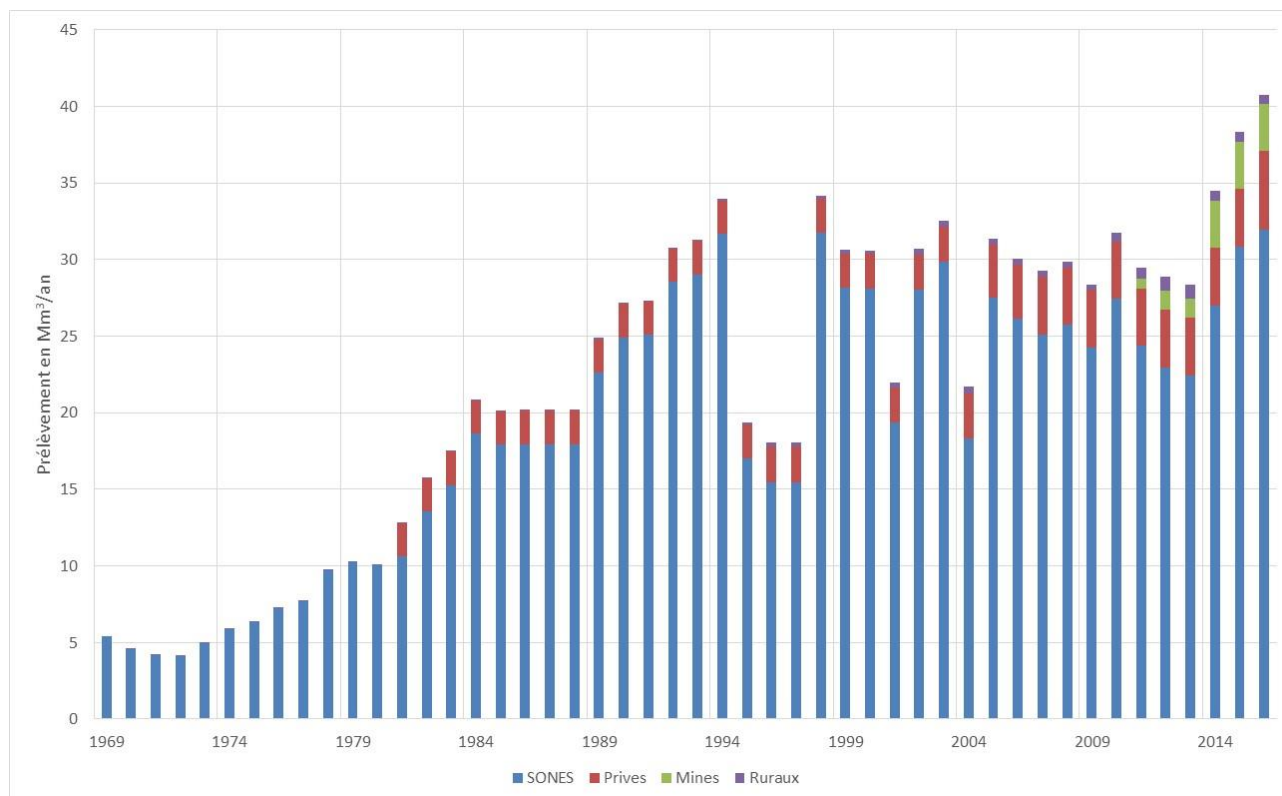


Figure 3-20. Evolution des prélèvements dans la zone du projet par usage ([14])

### 3.4.4 Evolution des niveaux piézométriques

En 2019, les niveaux de la nappe du Paléocène variaient entre +2,2 m et -46 m. Les écoulements d'eau souterraine sont essentiellement dirigés vers les différents champs captant de Sebikotane, Pout nord et Pout sud. Les niveaux du Maastrichtien sont compris entre +4,7 m et -67 m et les écoulements souterrains sont également dirigés vers les différents champs captant (Pout Kirène, Mbour, Pout nord et sud).

Les paragraphes suivants décrivent les évolutions piézométriques dans les compartiments du système aquifère du Horst de Diass (*zone du projet*).

Dans le compartiment *Pout nord* l'évolution de la piézométrie montre deux tendances ou périodes bien définies :

- un état de "régime permanent" de la nappe jusqu'à 1971, qui se traduit par une stabilité du niveau de la nappe. Pendant cette période, des variations saisonnières sont observées dans les deux aquifères du compartiment, Paléocène et Maastrichtien. Les variations saisonnières étaient d'environ 0.75 m/an dans l'aquifère Paléocène et de 1 m/an dans l'aquifère Maastrichtien. Durant cette période la recharge était en équilibre avec les prélèvements.

Les niveaux piézométriques du Maastrichtien étaient plus élevés que ceux du Paléocène.

- un état de "régime transitoire" depuis 1971, qui se traduit par une baisse continue du niveau de la nappe, de l'ordre de 0.60 m/an dans l'aquifère du Paléocène et d'entre 0.23 à 1 m/an dans l'aquifère du Maastrichtien. Cette baisse est le fait de l'action conjuguée de la baisse pluviométrique depuis les années 1970 et des prélèvements pour l'AEP de Dakar, en forte augmentation depuis les années 1970.

Les niveaux entre le Maastrichtien et le Paléocène montrent une inversion du gradient hydraulique entre les deux aquifères, avec actuellement des niveaux égaux ou plus élevés dans Paléocène.

La figure ci-dessous montre l'évolution de la piézométrie dans le compartiment de Pout nord.

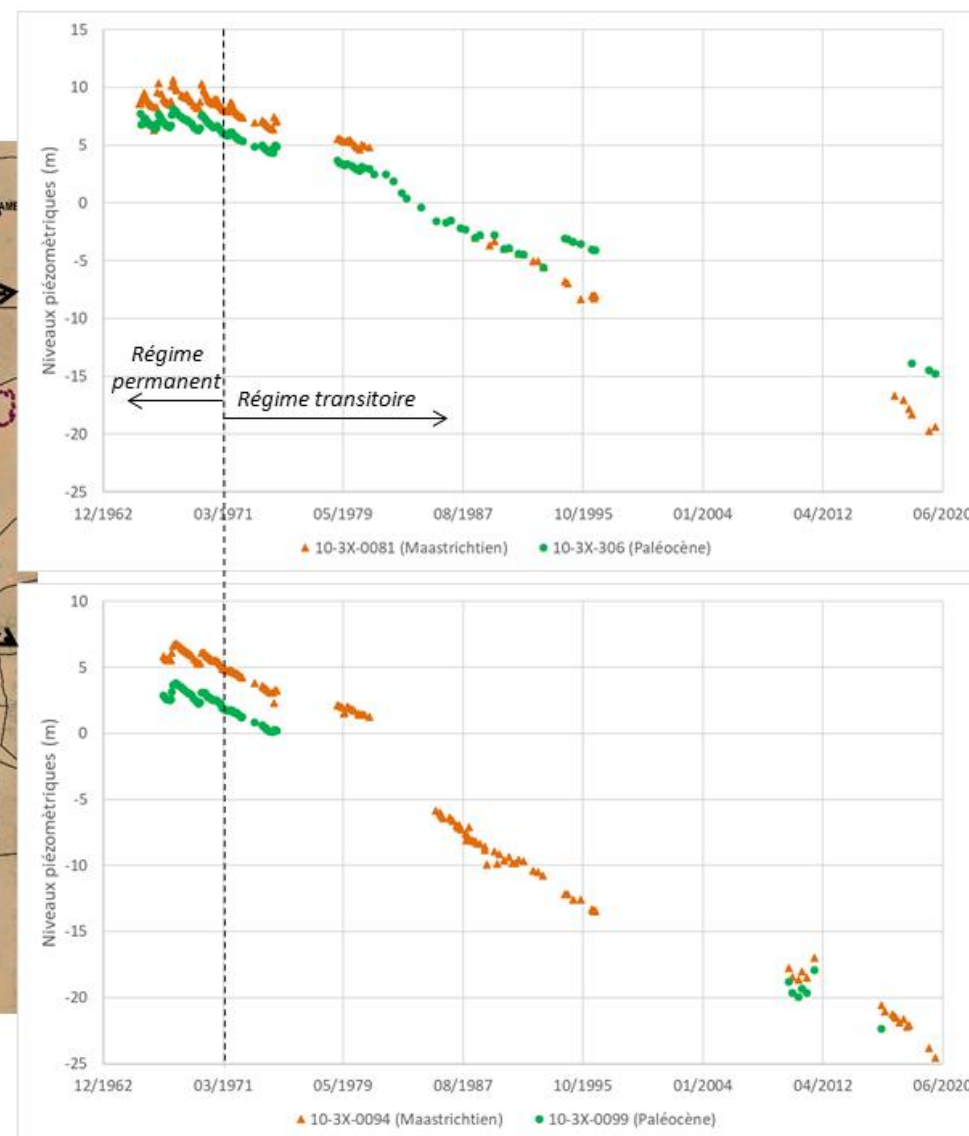
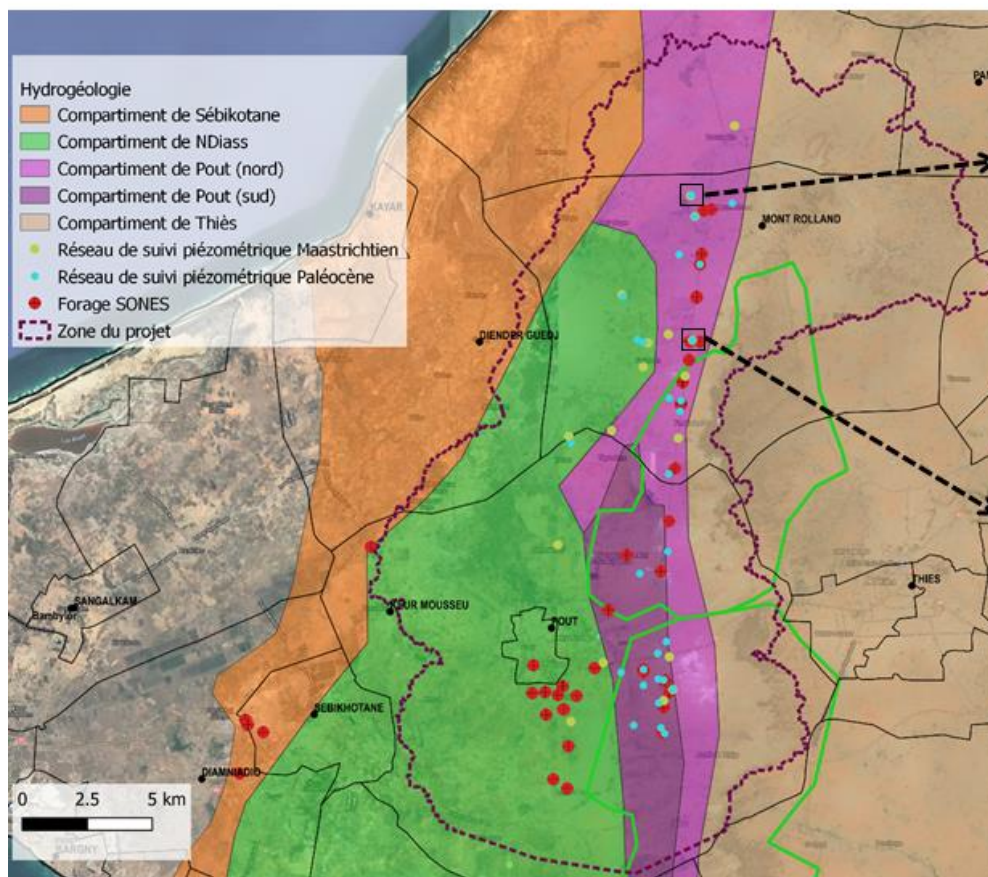


Figure 3-21. Chronique de l'évolution piézométrique des aquifères Maastrichtien et Paléocène dans le compartiment de Pout nord.



Dans le *compartiment de Pout sud*, les prélèvements du Paléocène ont commencé en 1965 et sont passés de 5 500 à 16 000 m<sup>3</sup>/jour en 1974 induisant une forte baisse des niveaux de la nappe d'environ 0.52 m/an. Les prélèvements ont été progressivement réduits jusqu'à 5 000 m<sup>3</sup>/jour en 2019. Ces débits de pompage ont impacté en continu l'aquifère du Paléocène avec un rabattement moyen de 0.3 m/an entre 1974 et 2019.

Les niveaux piézométriques du Maastrichtien étaient plus élevés que ceux du Paléocène jusqu'à environ 1980. Les mesures des niveaux plus récents, depuis 2009, montrent une inversion du gradient hydraulique entre les deux aquifères, avec un niveau piézométrique du Maastrichtien plus bas que celui du Paléocène.

La Figure 3-22 montre l'évolution de la piézométrie dans le compartiment de Pout sud.

Dans le *compartiment du Diass*, où le Maastrichtien affleure, les prélèvements ont commencé en 1989 et ont induit une baisse continue du niveau de la nappe. Cette baisse est relativement variable selon les secteurs considérés ; elle est de l'ordre de 0,60 m/an au nord et de 0,4 m/an dans le secteur Pout Kirène.

L'évolution piézométrique montre que le système aquifère Horst de Diass est dans un état de surexploitation qui concerne aussi bien le système aquifère du Paléocène que celui du Maastrichtien.

Dans le système Horst de Diass, la recharge estimée varie entre environ 10 et 36 Mm<sup>3</sup>/an ([8]) alors que les prélèvements en 2016 sont de l'ordre de 92 Mm<sup>3</sup><sup>31</sup>. Ces chiffres et la baisse continue des niveaux piézométriques, montrent un déséquilibre dans le bilan hydrique du système.

---

<sup>31</sup> Dans la zone du projet, la recharge estimée varie entre 2 et 7 Mm<sup>3</sup>/an<sup>31</sup> alors que les prélèvements en 2016 sont de l'ordre de 42 Mm<sup>3</sup>. Ce calcul est une simplification en tenant compte que la zone du projet fait partie intégrante du système hydraulique du Horst de Diass avec des compartiments en communication hydraulique verticale et horizontale.

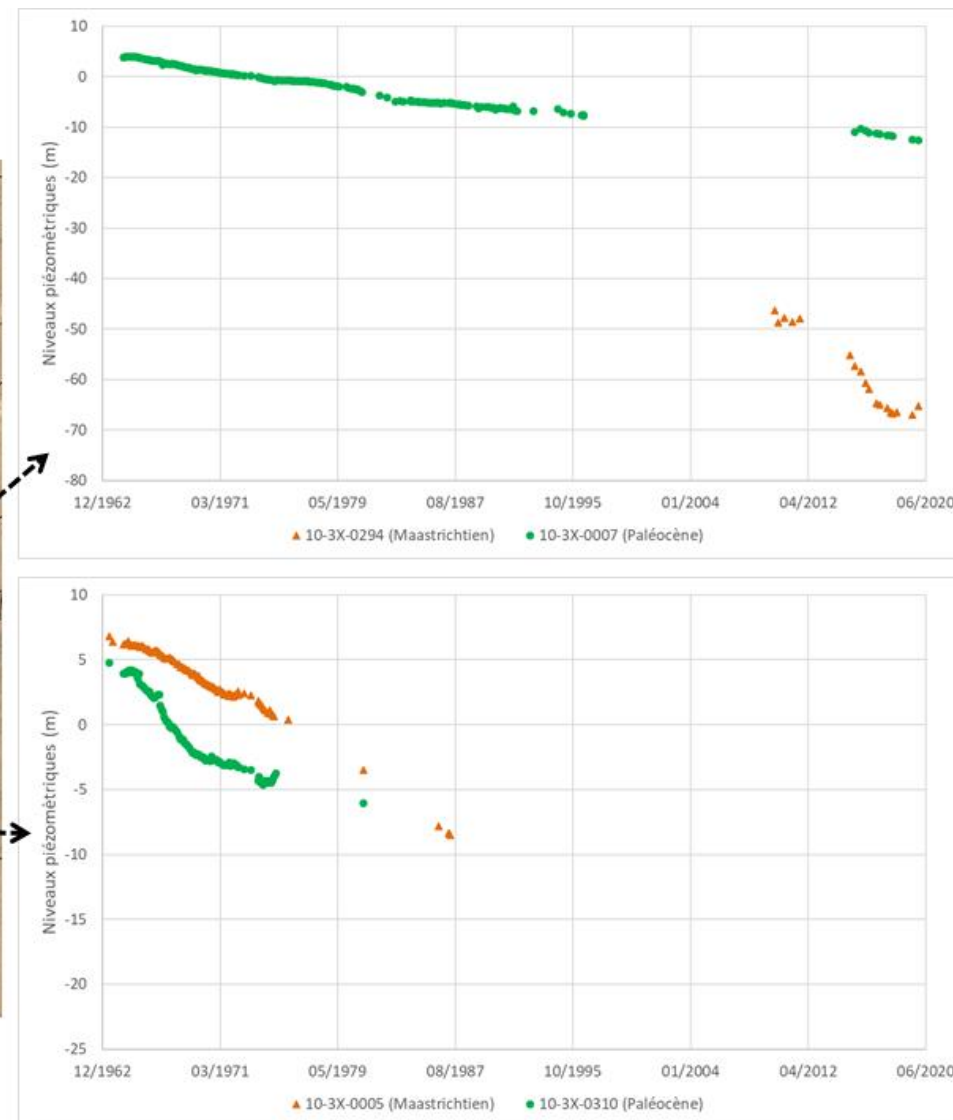
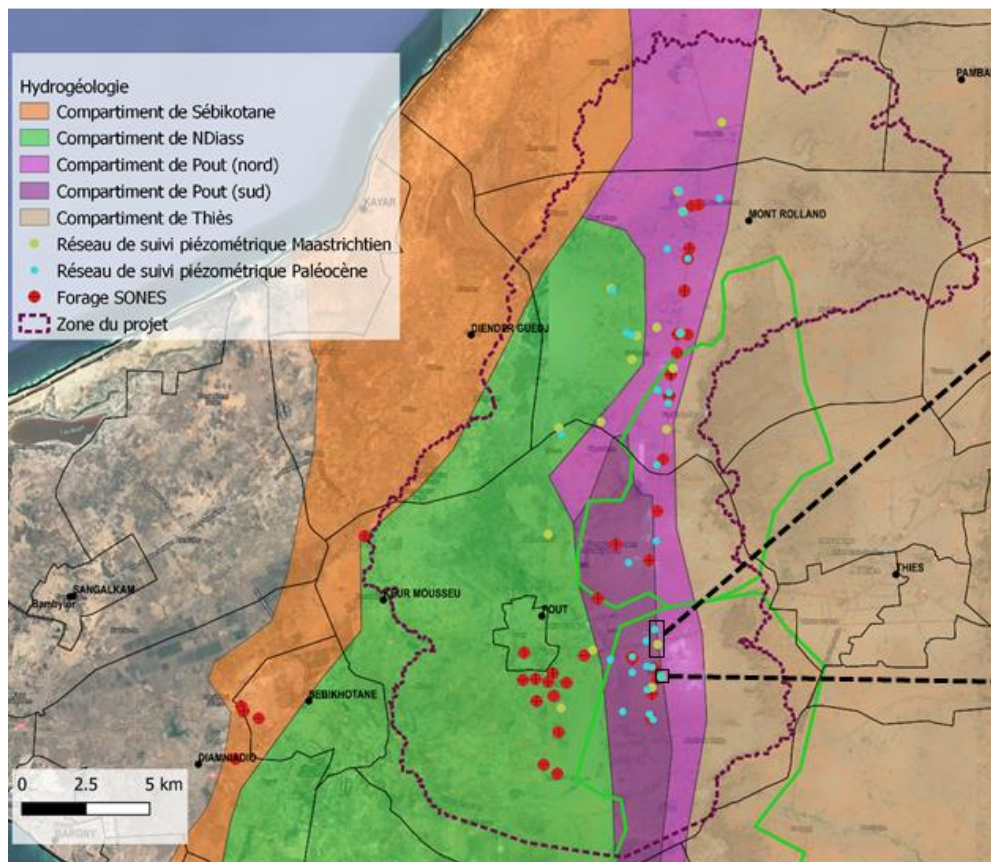


Figure 3-22. Chronique de l'évolution piézométrique des aquifères Maastrichtien et Paléocène dans le compartiment de Pout sud.

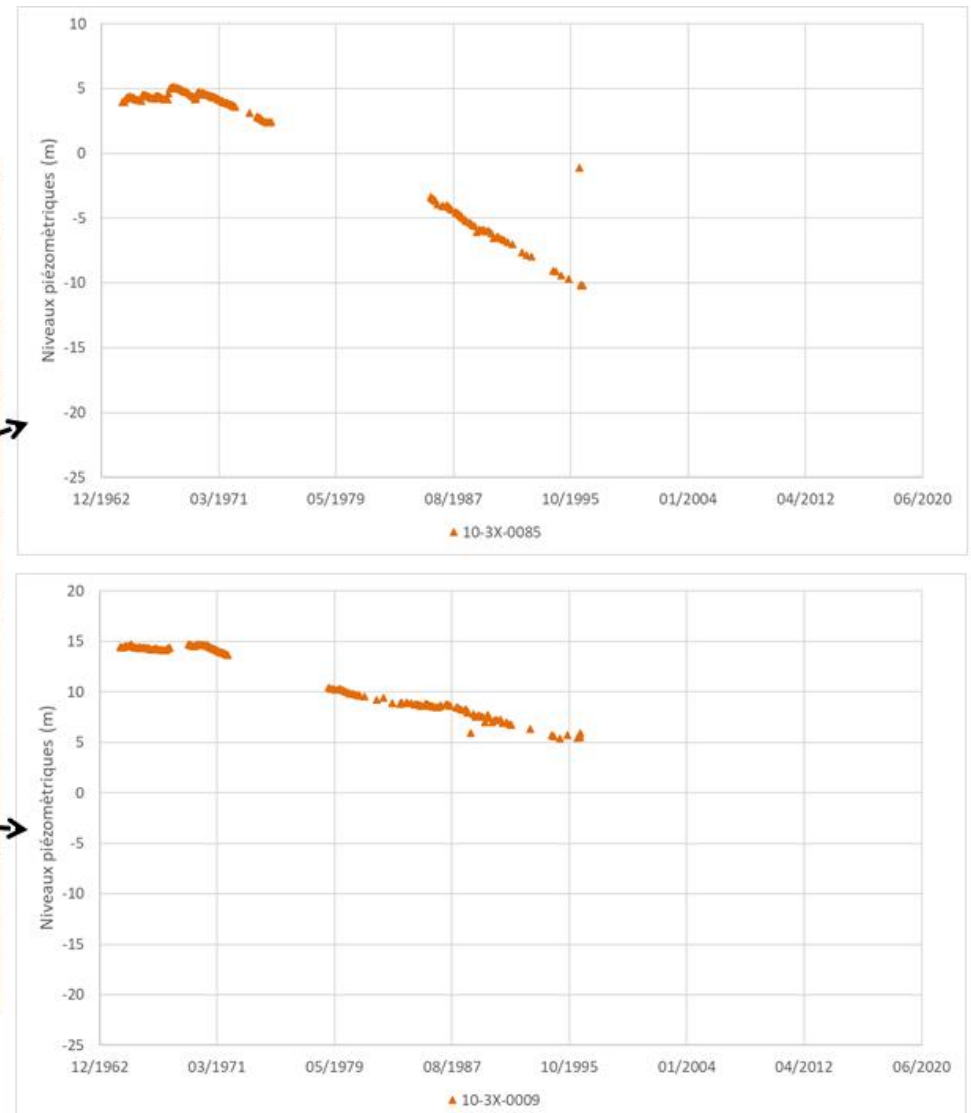
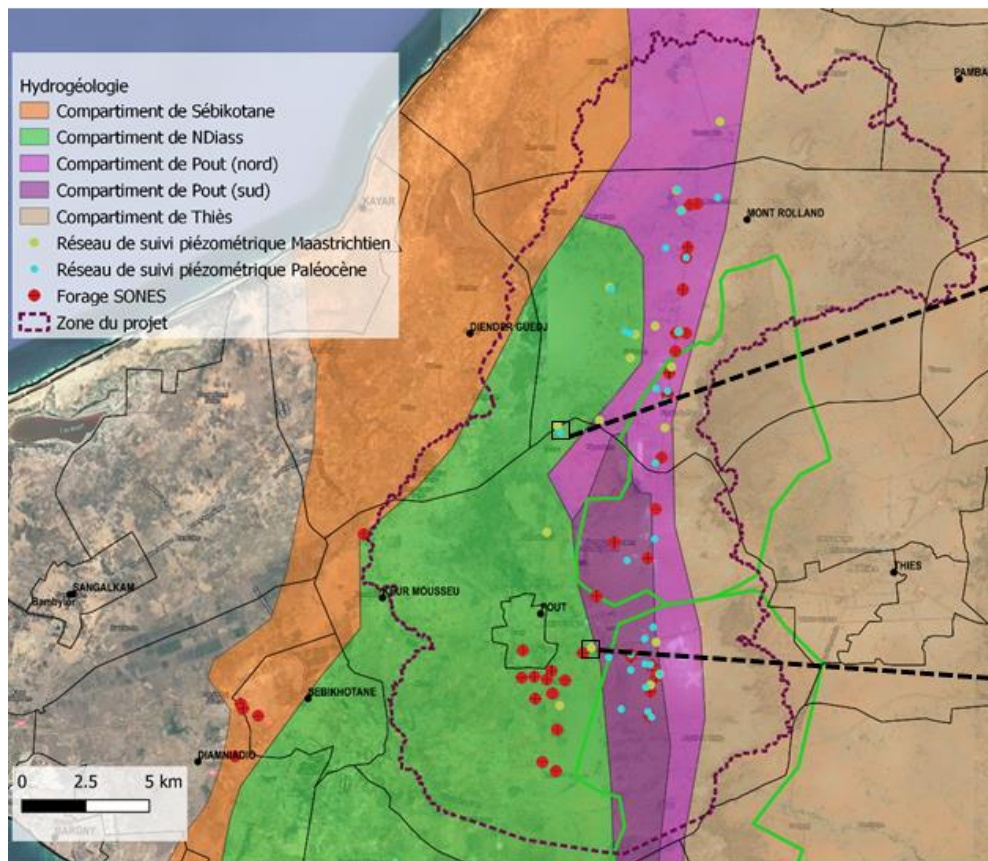


Figure 3-23. Chronique de l'évolution piézométrique de l'aquifère du Maastrichtien dans le compartiment de Diass.

## 4 USAGES ACTUELLES DE LA RESSOURCE EN EAU

Les sections suivantes présentent les différents usagers des ressources en eaux dans la zone du projet, les problématiques associées aux ressources en eau (stress hydrique, tensions entre usagers, ...) et les capacités d'adaptation. Les usages sont divisés en alimentation en eau potable, mines et carrières, agriculture, et écosystèmes.

### 4.1 Alimentation en eau potable

#### 4.1.1 Caractéristiques des prélèvements de la SONES

La Société Nationale des Eaux du Sénégal (SONES) est la société publique en charge de la gestion<sup>32</sup> des infrastructures de production et d'adduction en eau potable en zone urbaine et semi-urbaine.

Avant la mise en œuvre de la troisième station de traitement des eaux du lac de Guiers (KMS3), l'approvisionnement en eau du Grand Dakar, centres urbains et périurbains, dépend des eaux de surface du Lac de Guiers, situé à 250 km de Dakar (stations de traitement Nguith, KMS1&2), et des eaux souterraines captées à l'est de Dakar. La production des eaux de surface contribuait à hauteur de 40 à 45%<sup>33</sup> de la production totale le restant étant fournis par neuf champs captant répartis dans quatre régions : Dakar, Thiès, Louga et St Louis ([3] [9] ).

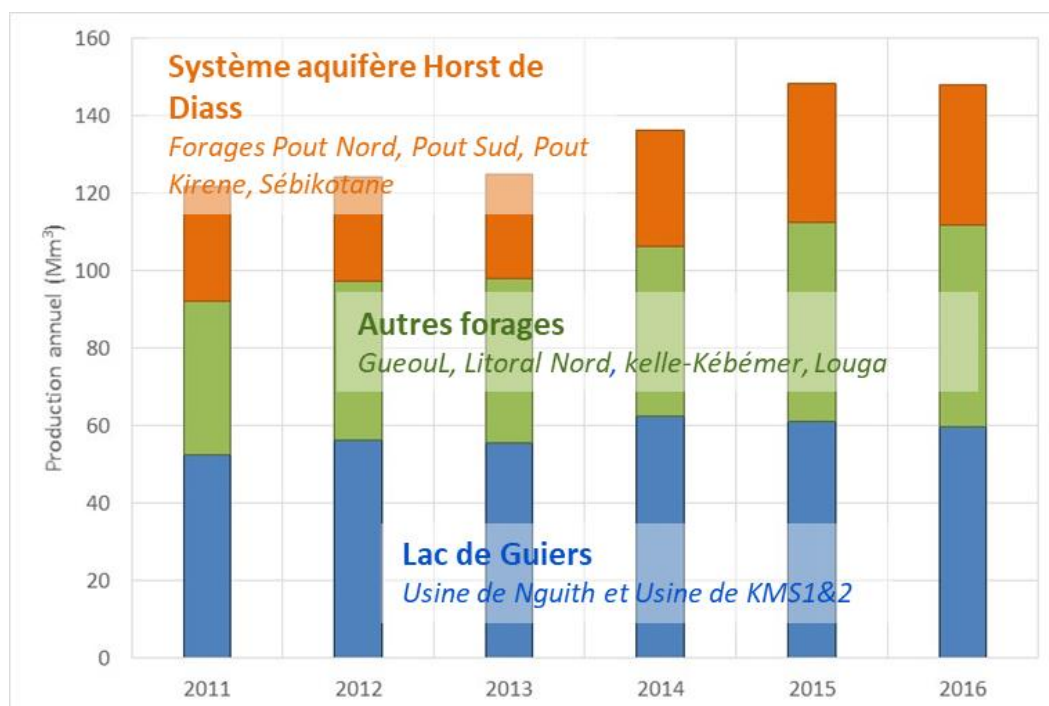


Figure 4-1. Répartition de ressources en eau pour l'alimentation en eau potable du Grand Dakar (2011-2016)

<sup>32</sup> La SONES est en charge de la gestion du patrimoine, la maîtrise d'ouvrage des travaux de renouvellement et d'extension de l'infrastructure, le contrôle de la qualité de l'exploitation

<sup>33</sup> Le système d'adduction du lac de Guiers (dit « système ALG ») était constitué alors de deux canalisations d'adduction de grand diamètre (dites « ALG1 » et « ALG2 »). Ces canalisations transportent l'eau potable en provenance de i) l'usine de Nguith, sur le lac de Guiers (alimenté par le fleuve Sénégal) avec une capacité de production moyenne de 40.000 m³/j, et ii) les usines de Keur Momar Sarr (KMS 1 & 2), également sur le lac de Guiers, pour une capacité de production totale de 130.000 m³/j.



En 2016 le système aquifère de Horst Diass contribuait à environ 35% des besoins en eau potable du Grand Dakar, et la *zone d'étude* (champs captant de Pout Sud, Pout Nord et Pout Kirène) à 24 % de ces besoins. Les caractéristiques principales des champs captants de la zone d'étude sont les suivantes :

- Champ de captage de Pout Sud : Les forages captent l'aquifère libre du Paléocène et l'aquifère captif du Maastrichtien. Les forages ont une profondeur de 81 à 326 m. Les volumes journaliers pompés estimés en 2019 étaient d'environ 17 000 m<sup>3</sup>/jour (6.3 Mm<sup>3</sup>/an).
- Champ de captage de Pout Kirène : Les forages captent l'aquifère Maastrichtien libre. Les forages ont une profondeur allant de 201 à 317 m. Les volumes journaliers pompés estimés en 2019 étaient de 19 000 m<sup>3</sup>/jour (6.7 Mm<sup>3</sup>/an).
- Champ de captage de Pout Nord : Les forages captent l'aquifère Paléocène captif et l'aquifère Maastrichtien captif. Les forages ont une profondeur allant de 305 à 378 m. Les volumes journaliers pompés estimés en 2019 étaient de 43 000 m<sup>3</sup>/jour (15.6 Mm<sup>3</sup>/an).

Les évolutions prévues des pompages par la SONES dans les champs captant de Pout consistent en une diminution des volumes prélevés. Cette réduction est associée au programme d'investissement pour l'alimentation en eau potable de Dakar et de la Petite Côte. Ce programme comprend la construction d'une troisième usine de traitement d'eau potable à Keur Momar Sarr sur le lac de Guiers (KMS 3)<sup>34</sup> et la construction de l'usine de dessalement des Mamelles à Dakar.

Dans les *centres urbains et périurbains*, la gestion des ouvrages et du service de l'eau potable est contractualisée par l'État avec la SONES pour le développement et la gestion du patrimoine et à des opérateurs privés sous forme d'affermage pour la gestion des services de l'eau. Cette gestion est actuellement assurée par Sen'Eau sur l'ensemble du périmètre urbain. Ainsi, les 4 communes de la zone d'étude sont alimentées à partir du réseau urbain de la SONES.

#### 4.1.1 Problématiques associées aux prélèvements

Les problématiques de la SONES associées aux ressources en eau dans la zone d'étude sont notamment :

- La baisse de la nappe des deux aquifères (Paléocène et Maastrichtien) qui induit des coûts énergétiques plus élevés (coûts associés aux travaux pour descendre les pompes, diminution de la vie utile des forages et donc besoin de construction de nouveaux forages).
- La mauvaise qualité de l'eau en termes de concentration en fer : Certains forages présentent des taux en fer assez importants, supérieurs à la norme OMS en matière d'eau potable (0.3 mg/l)<sup>35</sup>. Ces concentrations élevées en fer induisent des problèmes de colmatage des crépines des forages (avec des coûts associés au décolmatage voire à la réalisation de nouveaux forages).
- Il existe également un ressentiment fort des maraîchers et des arboriculteurs envers la SONES. Le Code de l'Eau, qui détermine les régimes d'utilisation des eaux et organise la préservation et la protection qualitative de la ressource en eaux, fixe le régime de priorité d'utilisation de l'eau à la satisfaction des besoins humains, soit l'eau potable. Ainsi il a été interdit aux maraîchers et arboriculteurs d'utiliser des forages<sup>36</sup> du fait de la priorité donnée à l'utilisation de la nappe pour l'alimentation en eau potable de Dakar. La baisse régulière de la nappe (depuis les années 70) et l'interdiction de réaliser des forages contribuent à ce que les activités de maraîchages et d'arboriculture soient sous tension dans la zone de Pout.

<sup>34</sup> Associée à une nouvelle canalisation ALG3. KMS3 a été inauguré en juillet 2021

<sup>35</sup> L'eau brute est ensuite défermée notamment à la station de défermation de Pout Kirène

<sup>36</sup> i.e. forages 'profonds' (ne concerne pas les puits de faible profondeur)



#### 4.1.2 Capacité d'adaptation de la gestion des prélèvements face au stress hydrique

Les évolutions récentes de la SONES pour l'alimentation en eau potable du Grand Dakar reposent notamment sur la mise en route de la station de dessalement des Mamelles, la réalisation de KMS3 (station de traitement des eaux du lac de Guiers) et, de façon induite, par la forte diminution des prélèvements des forages de la zone de Pout à court terme.

Ainsi, les champs captant de Pout constituent maintenant une ressource d'appoint et de sécurité (par la diversification des approvisionnements de l'alimentation en eau potable de Dakar). Il peut être souligné que récemment 4 forages supplémentaires ont été réalisés en urgence pour palier le retard de mise en exploitation des nouvelles ressources.

## 4.2 Mines et carrières

L'industrie minière est très importante dans la zone avec la présence de carrières pour la production de ciment. L'exploitation minière se fait en grande partie dans les domaines déclassés des 'forêts' classées de Pout et de Thiès. Dangote est l'entreprise la plus connue dans la zone d'étude (voir Figure 4-2)<sup>37</sup>. Dangote gère à la fois une carrière et la seule cimenterie sur la zone de Pout.

Il n'existe pas de base de données sur les carrières existantes dans la zone du projet. Les forages déclarés pour l'usage activité minière dans la zone du projet, sont seulement ceux de Dangote.

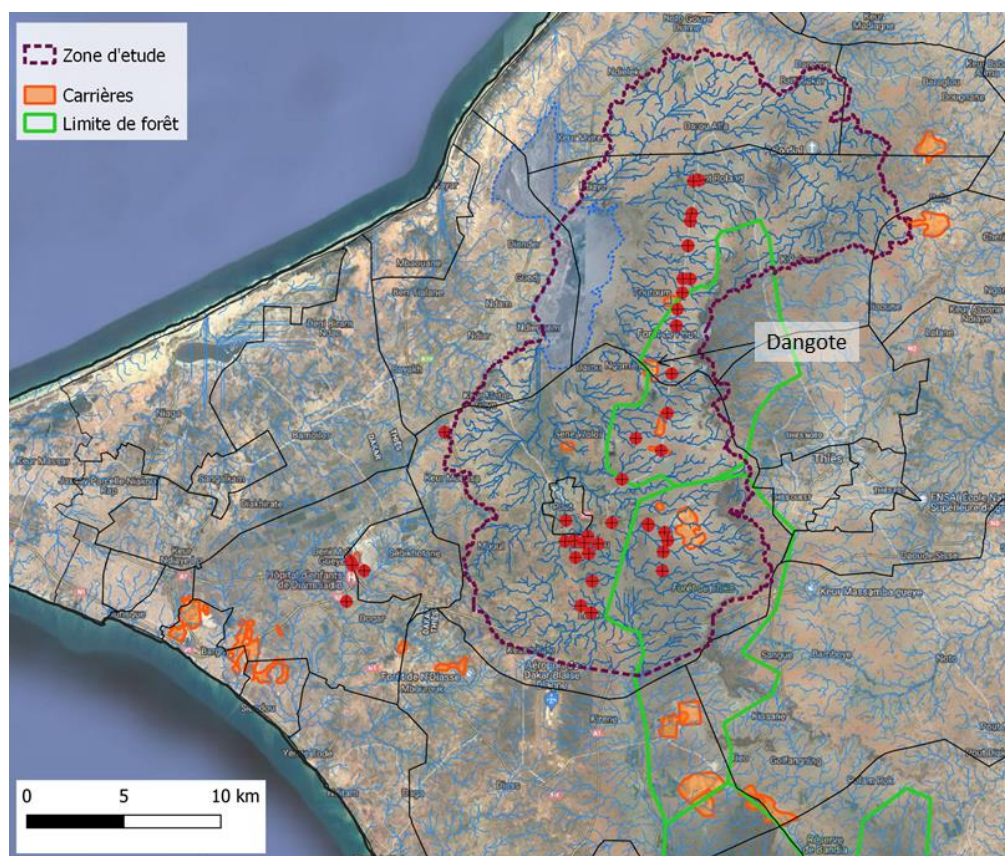


Figure 4-2. . Localisation des mines et carrières dans la zone du projet<sup>38</sup>

<sup>37</sup> D'après la base des données de la DGPPE, dans la zone de Pout, Dangote est la seule entreprise minière qui apparaît enregistrée pour l'exploitation des eaux souterraines. Les forages et les débits d'exploitation des autres carrières (s'ils exploitent les eaux souterraines) sont inconnus.

<sup>38</sup> La localisation des carrières et les limites des forages a été digitalisé d'après le SDADT ([5]

Les sections suivantes présentent la description des usages de l'eau prélevée spécifiquement pour Dangote.

#### 4.2.1 Caractéristiques des prélèvements de Dangote

Dangote utilise l'eau prélevée pour son usine de production de ciment et pour deux carrières dont une seule est située sur la zone d'étude.

Pour ses carrières, Dangote utilise l'eau souterraine pour l'arrosage des pistes et pour l'extraction pour limiter l'émission de poussières. Dangote dispose d'un forage exploitant l'aquifère du Maastrichtien pour sa carrière située sur la zone d'étude. Le débit moyen d'exploitation du forage est de 70 m<sup>3</sup>/h.

Au niveau de l'usine de production de ciment, l'eau est utilisée pour le refroidissement. Un circuit fermé est utilisé ce qui limite les prélèvements. Dangote dispose de quatre forages au niveau de l'usine. Ces forages sont utilisés en alternance. Deux forages sont exploités en permanence et les deux restants servent de secours. Une rotation des forages utilisés est réalisée chaque 4 mois. Les forages de l'usine captent l'aquifère du Maastrichtien et sont exploités avec un débit moyen de 100 m<sup>3</sup>/h (i.e. 4800 m<sup>3</sup>/j).

#### 4.2.1 Problématiques associées aux prélèvements

Les problématiques de Dangote associées aux ressources en eau sont :

- La baisse de la nappe de l'aquifère qui induit des coûts énergétiques plus élevés (coûts associés aux travaux pour descendre les pompes, diminution de la vie utile des forages et donc besoin de construction de nouveaux forages). Dangote indique que leurs forages ont en général une vie utile de 10 ans seulement.
- La mauvaise qualité de l'eau en termes de concentration en fer : Certains forages présentent des taux en fer assez importants. Ces concentrations élevées en fer induisent des problèmes de colmatage des crépines des forages (avec des coûts associés au décolmatage voire à la réalisation de nouveaux forages).
- Tensions avec les maraichers : il y a globalement une perception négative des populations de la zone contre les carrières qui génèrent de la poussière, la poussière allant ensuite se déposer sur les cultures. Assez souvent les carrières de la zone sont considérées comme étant gérées par Dangote (alors que Dangote ne dispose que d'une seule carrière sur la zone de Pout, carrière peu émettrice de poussière<sup>39</sup>).
  - Les producteurs maraichers lient la baisse de la nappe aux forages de Dangote. D'après leur perception, la baisse de la nappe est devenue plus importante depuis l'installation de l'industriel dans la zone. A titre d'exemple, l'Association des Maraichers de Diender se plaint d'un recul de la nappe d'environ 2 m/an depuis l'installation de Dangote. Cependant, il faut noter que Dangote n'exploite pas le même aquifère que celui exploité par les maraichers : les forages de Dangote captent le Maastrichtien et les maraichers locaux captent les nappes superficielles (qui sont en connexion hydraulique avec le Paléocène).
  - Les populations environnantes des carrières (pas exclusivement Dangote) se plaignent d'une dispersion importante de poussières résultant du processus d'extraction du calcaire.

---

<sup>39</sup> Notamment par l'utilisation de Surface miner - machine fonctionnant en continu et coupant les formations consolidées et les roches semi-solides sans forage ni dynamitage, le matériau coupé est pré-broyé et transporté par bande - avec arrosage intégré pour limiter très fortement l'émission de poussière alors que les autres carrières utilisent des tirs de mines gérant beaucoup de poussière.

#### 4.2.2 Capacité d'adaptation de la gestion des prélèvements face au stress hydrique

La capacité d'adaptation de Dangote face aux problèmes de sécurité hydrique est très forte. Tout d'abord Dangote a la capacité économique de réaliser de nouveaux forages si cela s'avérait nécessaire<sup>40</sup>.

Par ailleurs, Dangote développe une politique pour réduire ses prélèvements. Ainsi Dangote est en train de développer un projet pilote de réduction des consommations d'eau dans ses carrières. Le projet consiste à élaborer un produit de substitution contenant très peu d'eau pour l'arrosage des pistes. L'objectif du projet est de réduire de 80% la consommation d'eau pour l'arrosage des pistes.

Par rapport aux problèmes de qualité d'eau, Dangote utilise une station de traitement de l'eau pour diminuer les concentrations de fer avant que l'eau ne soit utilisée dans le système de réfrigération de l'usine.

Il est à noter également que Dangote développe un projet de 'Muraille Vert de Ngomène'. Le projet a pour objectif de planter 5.000 arbres sur une distance de 1,2 kilomètre (i.e. de part et d'autre de la bande transporteuse amenant le minerai depuis la carrière jusqu'à l'usine) en utilisant notamment des espèces locales. Les espèces utilisées sont Acacia Mellifera et Eucalyptus. Le but étant d'abattre les poussières qui pourraient être générées par le transport du minerai par la bande transporteuse.

### 4.3 Agriculture

La zone du projet fait partie des principales zones de culture maraîchère du Sénégal. Elle constitue le prolongement de la zone des Niayes littorale où les activités agricoles dominantes sont l'arboriculture et les cultures maraîchères.

L'agriculture peut être divisée en deux groupes de producteurs :

- Le maraîchage (s.l.)<sup>41</sup> réalisé par les petits producteurs : C'est la principale activité de la zone. Elle occupe la majeure partie de la population et reste la première source de revenu. Elle se modernise aujourd'hui grâce à l'introduction de l'exhaure motorisée qui permet d'irriguer de très vastes surfaces ([17] . Aujourd'hui, malgré la baisse continue du niveau des nappes, les rendements restent satisfaisants grâce à l'introduction de nouvelles techniques comme le système d'irrigation par goutte à goutte.
- Les Agro-business : Exploitants (souvent non autochtones) qui louent de vastes surfaces pour les mettre en valeur. La plupart des exploitations sont équipées de forages profonds, ce qui permet d'irriguer de vastes surfaces. Ces surfaces sont transformées en de véritables fermes exclusivement vouées à l'agriculture et parfois à l'élevage ([9] .

#### 4.3.1 Agrobusiness

La superficie totale des agrobusiness dans la zone du projet n'est pas recensée. Une estimation réalisée à partir des images satellite indique une surface d'environ 500 ha. L'agro-business le plus important dans la zone d'étude est 'Quality Fruits Senegal' (QFS) (voir Figure 4-3), avec une surface d'environ 280 ha destiné à l'arboriculture et les cultures maraîchères. A titre d'illustration, les activités de QFS sont présentées de façon plus détaillée ci-après.

<sup>40</sup> D'autant plus que le coût lié à la ressource en eau est faible par rapport aux autres coûts de production

<sup>41</sup> Par maraîchage, il sera entendu dans ce rapport les activités de maraîchage et d'arboriculture



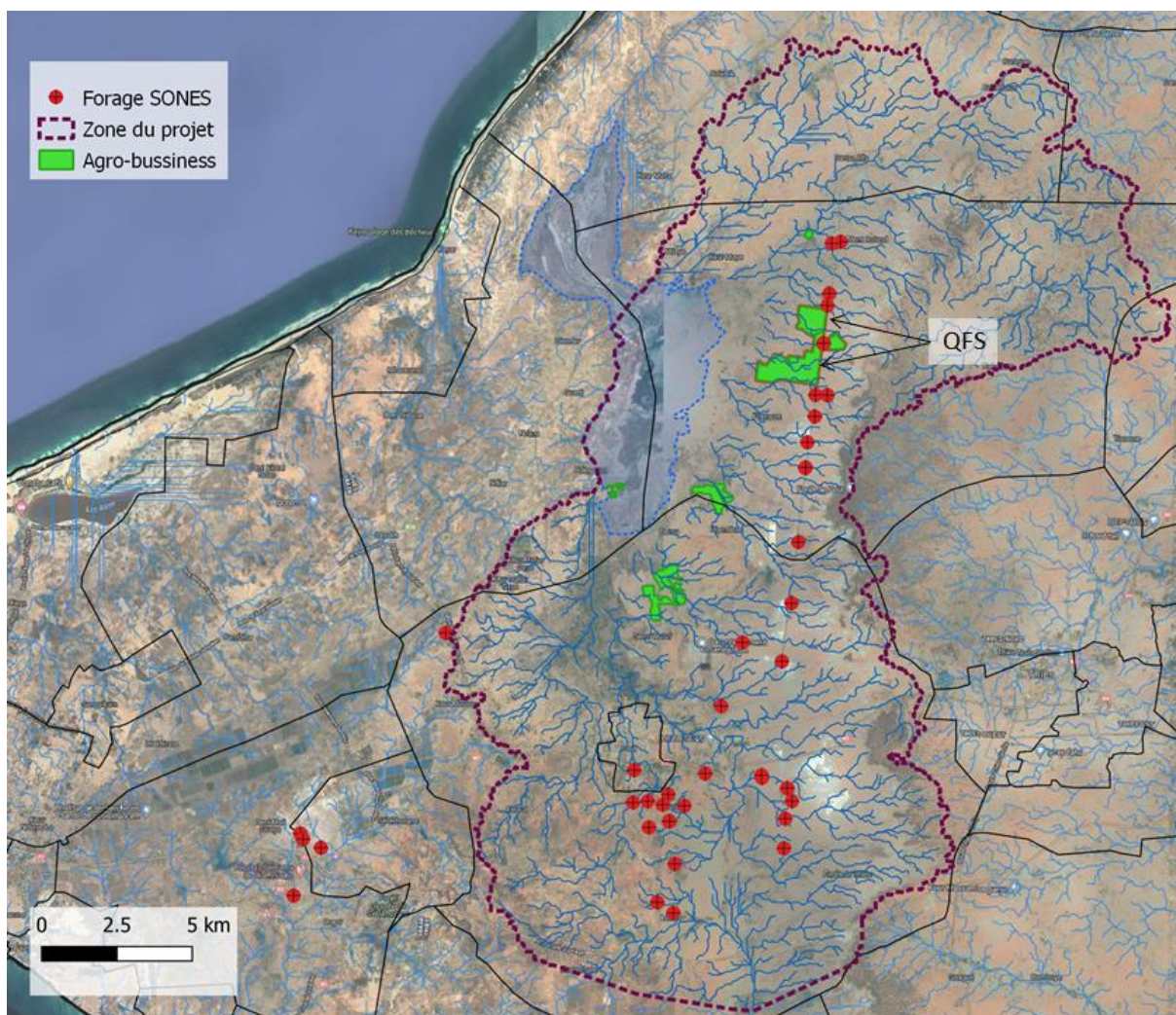


Figure 4-3. Localisation des agro-business à partir des images satellites

#### 4.3.1.1 Activités de Quality Fruits Sénégal

En arboriculture, QFS produit de la mangue et de la banane. Le maraîchage couvre une superficie de 140 ha avec l'exploitation de spéculations comme le haricot, le piment, les plantes aromatiques, l'oignon et d'autres variétés locales. La principale spéculation est le haricot vert destiné à l'exportation exclusivement. Les autres spéculations sont réparties entre le marché d'exportation et le marché local. Pour ce dernier, QFS dispose des points de vente spécialisés à Dakar.

Sur le plan foncier, les terres utilisées sont localisées dans la commune du Mont Rolland. Des propriétaires de droit coutumier volontaires ont accepté de signer une convention de cession de leurs terres pour une durée de 35 ans, en échange d'un emploi pour la famille dans l'exploitation et un intéressement au chiffre d'affaires. Au total, la surface potentielle d'exploitation de QFS est de 320 ha clôturés. Ce potentiel de terres disponibles pourrait augmenter si d'autres propriétaires de terres acceptent de collaborer avec QFS.

QFS emploie annuellement environ 1.300 personnes pour les activités de production maraîchère, dont 80% sont des femmes. L'impact socio-économique de l'implantation de QFS est bien perçu dans la commune de Mont Rolland (où est situé QFS) d'autant plus que le chômage et en conséquence l'exode rural vers Dakar a baissé<sup>42</sup>.

<sup>42</sup> Il est à noter également que d'autres activités connexes se sont installées à Mont Rolland dont une pharmacie.

L'impact social du projet QFS se perçoit à travers la formation des jeunes et femmes, l'augmentation de revenu chez les ménages de la localité, et l'amélioration du niveau de santé (ouverture d'une infirmerie sur le site, organisation de journées médicales, ...).

Par ailleurs, la population locale mentionne une inversion des rôles de genre : les repas à midi, préparés à l'aube par les femmes, sont servis par les hommes à midi car les femmes sont à QFS. Ce changement dans les habitudes domestiques n'est pas perçu de manière négative par les hommes car les femmes contribuent de manière considérable aux dépenses du ménage grâce au travail offert par l'agrobusiness.

### **Gestion des ressources en eau par QFS**

QFS dispose d'un forage dans le Maestrichtien à 360 m de profondeur exploité à  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ <sup>43</sup>. QFS indique que le niveau piézométrique ne montre pas de variations significatives. En termes de qualité d'eau, les hautes concentrations en fer et en carbonate induisent un colmatage du goutte à goutte. En moyenne la durée de vie du goutte-à-goutte est d'environ 2 ans<sup>44</sup>.

QFS utilise le goutte à goutte afin d'optimiser la consommation en eau (voir Figure 4-4). Cependant, l'utilisation du goutte-à-goutte reste encore à améliorer<sup>45</sup>, car il existe une forte tendance à trop arroser de la part des travailleurs locaux. Ceci a des conséquences négatives qui se traduisent par une baisse des rendements<sup>46</sup> : pour se développer les racines des plantes ont besoin d'un milieu humide *et aéré* – une saturation en eau limite le développement des racines. De plus un arrosage trop important peut induire la création d'un milieu particulièrement humide qui va attirer des organismes nuisibles. Les conséquences indirectes sont alors un usage accru de pesticides, ce qui va avoir un impact sur la structure des sols et sur l'économie de l'exploitation.

Pour limiter l'évapotranspiration et protéger les plants de l'effet mécanique du vent, QFS délimite les parcelles avec des *brise-vent artificiels* (en plastique) d'environ 2 m de hauteur.

Par ailleurs, pendant la saison des pluies QFS plante les terres avec des cultures intermédiaires. Celles-ci sont fauchées régulièrement et en fin de saison des pluies les résidus sont broyés et incorporés au sol. Cette approche permet de limiter l'érosion des sols pendant l'hivernage et d'enrichir les sols en matière organique.

---

<sup>43</sup> En avril 2021 un deuxième forage était en train d'être réalisé

<sup>44</sup> Il peut être noté que QFS a testé récemment la mise sous forte pression du goutte-à-goutte, ce qui a eu pour effet de le décolmater. Cette approche permettrait, selon QFS, de prolonger la durée de vie du goutte-à-goutte jusqu'à 10 ans.

<sup>45</sup> D'après un entretien avec l'expert agronome de QFS

<sup>46</sup> et par une pression accrue sur les ressources en eaux



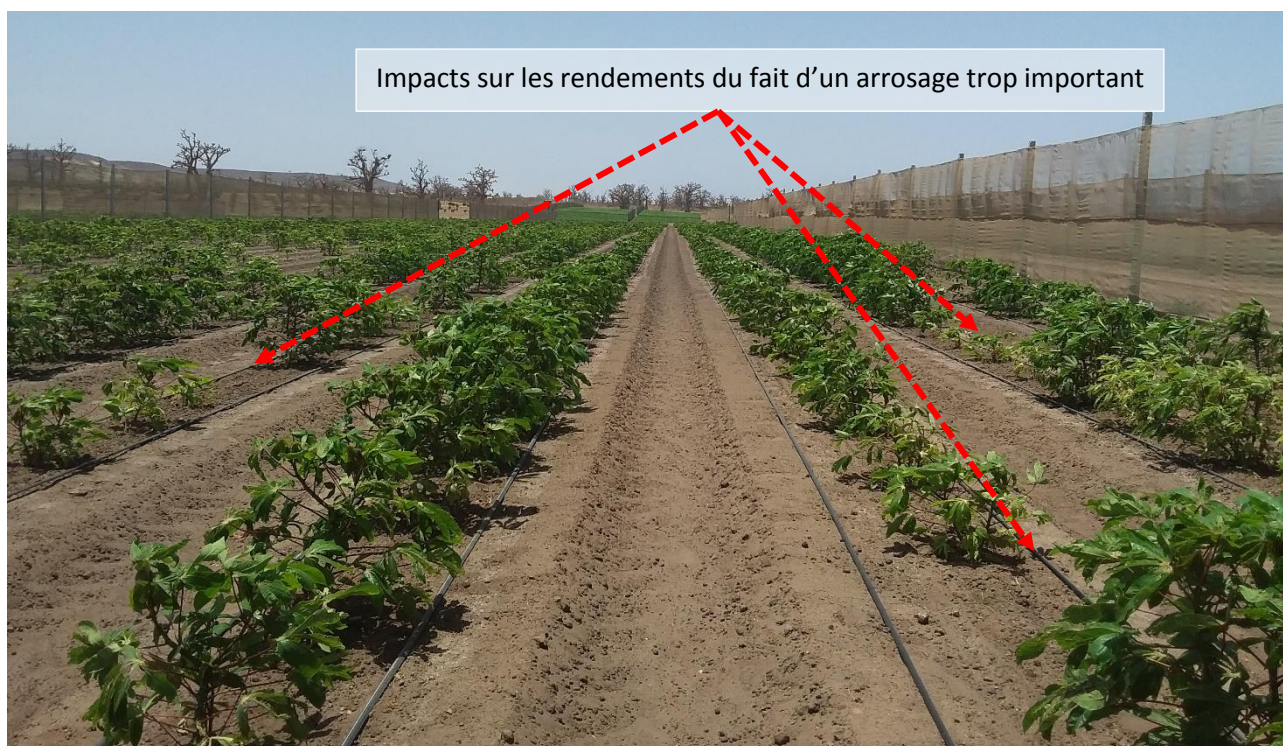


Figure 4-4. Système goutte à goutte sur les parcelles de QFS montrant les impacts sur les rendements d'une irrigation excessive

#### **Problématiques associées à la disponibilité des ressources en eau**

Les problématiques identifiées dans l'agro-business sont :

- La qualité de l'eau induit une durée de vie limitée des systèmes de goutte à goutte ;
- La tendance à trop arroser de la part des travailleurs locaux a un impact significatif (négatif) sur les rendements des cultures.

#### **Capacité d'adaptation de la gestion des prélèvements face au stress hydrique**

La capacité d'adaptation des agro-business face aux problèmes de sécurité hydrique est très forte. Tout d'abord les agro-business ont la capacité économique de réaliser de nouveaux forages si cela s'avérait nécessaire<sup>47</sup>.

Par ailleurs, ils ont développé (Cf. QFS) des techniques pour économiser l'eau (goutte-à-goutte) et les besoins en eau des plantes (Brises-vent). Le principal défi est plutôt du ressort de la formation pour que l'approche consistant à irriguer juste la quantité d'eau nécessaire soit perçue comme pertinente et soit appliquée.

Enfin, QFS envisage de développer des techniques basées sur la télédétection pour évaluer en temps réel le besoin en eau des plantes et ajuster en conséquent les doses d'irrigation.

Il peut être noté que la motivation de ces différentes approches est pour le moins autant d'obtenir des rendements optimaux et d'avoir une qualité de production permettant l'exportation que de réaliser des économies d'eau.

<sup>47</sup> D'autant plus que le coût lié à la ressource en eau est faible par rapport aux autres coûts de production



### 4.3.2 Maraichers

L'agriculture constitue la principale activité économique des populations de la zone. Sur la zone d'étude l'agriculture pluviale est limitée (elle dépend exclusivement des aléas de l'hivernage). Les cultures pluviales sont essentiellement le mil, l'arachide, le niébé et le manioc (et parfois l'aubergine). Certains maraichers profitent de la décrue progressive des zones inondables dans la zone d'Alou Kagn (Pout) pour une culture 'de décrue' de la tomate.

Le maraîchage par irrigation est développé et est pratiqué dans les endroits où la nappe phréatique est peu profonde ou à proximité de retenues d'eau de surface. L'agriculture par irrigation occupe la majeure partie de la population et reste la première source de revenu. Elle comprend le maraîchage et l'arboriculture qui se superposent de manière générale. Les spéculations les plus importantes sont l'oignon (la zone est la principale productrice d'oignon au Sénégal), le chou, la tomate, le piment et la laitue. L'arboriculture est principalement constituée par les manguiers et les agrumes. L'exploitation des palmiers rôniers est également observée. L'agriculture par irrigation implique aussi bien les hommes, les jeunes et les vieux encore en activité que les femmes (ces dernières s'occupent principalement de la commercialisation).



Figure 4-5. Maraîchage et arboriculture (citrons) au sud du 'lac' Tanma avec système d'irrigation goutte à goutte

Les parcelles ont généralement une taille comprise entre 0.5 ha et 2 ha (avec une taille moyenne d'environ 1 ha). Généralement sur une parcelle d'1 ha seulement la moitié est cultivée de façon à limiter les coûts de production, dont notamment les coûts liés à la ressource en eau (que ce soit les coûts énergétiques et d'amortissement des investissements dans le cas de pompage ou les coûts d'approvisionnement au réseau SONES sur le quota maraîchage).



#### 4.3.2.1 Les ressources en eau utilisées

Les ressources en eau utilisées par les maraichers de la zone d'étude sont les eaux de pluie, les eaux des bassins de rétention, la nappe phréatique peu profonde (aquifère quaternaire), l'eau fournie par le réseau SONES (quota maraicher) et très ponctuellement l'eau du 'lac' Tanma<sup>48</sup>.



Figure 4-6. Prise d'eau du 'lac' Tanma pour le maraichage saisonnier

Les volumes pompés dans la nappe phréatique ne sont pas quantifiés car les forages des maraichers ne sont pas déclarés.

Différents types d'ouvrages de retenue des eaux de surface sont répertoriés dans la zone. Il s'agit principalement de bassins de rétentions (Cf. Figure 4-7). Ces ouvrages ont été réalisés par la DBRLA<sup>49</sup>. Il existe également des zones où l'eau d'hivernage est retenue du fait soit de dépressions naturelles ou de remblais routiers bloquant les écoulements (Cf. Figure 4-8). Dans ces zones un maraichage de décrue est souvent pratiqué.

<sup>48</sup> Pendant les visites réalisées dans le cadre du projet, il a été constaté que le 'lac' Tanma s'assèche complètement quelques mois après la fin de l'hivernage

<sup>49</sup> Direction des Bassins de Rétention et des Lacs Artificiels



*Figure 4-7. Bassin de rétention de Mont Rolland endommagé pendant une crue de la période hivernale de 2019.*



*Figure 4-8. Irrigation de décrue : Maraichage autour de la zone inondable d'Alou Kagn, Pout*



#### 4.3.2.2 Le maraichage par irrigation

Les maraichers de la zone d'étude rencontrent des difficultés pour accéder aux ressources en eau, du fait principalement du déficit pluviométrique et de la surexploitation de la nappe phréatique. Ils confirment une baisse soutenue du niveau phréatique de l'aquifère quaternaire (dont les maraichers sont les utilisateurs principaux), et ils sont obligés d'approfondir leurs puits chaque année pour accéder à la nappe.

Il existe également des contraintes pour les maraichers relatifs au coût des forages profonds. Les maraichers n'ont pas les moyens d'accéder aux aquifères plus profonds (Paléocène et Maastrichtien), aquifères moins sensibles aux variations saisonnières mais également surexploités par d'autres utilisateurs.

Cette rareté de l'eau a donné place à l'introduction progressive de techniques modernes d'économie de l'eau pour l'irrigation, telles que le goutte à goutte, notamment dans les communes de Keur Moussa et Diender. Bien utilisé, le goutte à goutte permet une économie de l'eau de 50 à 70 % par rapport au système gravitaire et d'environ 30% par rapport à l'aspersion<sup>50</sup> ([9] ).

Cependant, l'irrigation semble être pratiquée de manière non raisonnée. Les maraichers semblent obéir à la règle : « Plus d'eau, plus de récolte ». D'après une étude de la banque mondiale ([9] ), les doses d'eau apportées dans les parcelles dépassent de 4 à 6 fois les besoins préconisés. Il y a donc un gaspillage important d'eau et d'énergie. De plus une sur-irrigation entraîne une baisse des rendements et l'apparition de parasites (ce qui induit ensuite l'usage de pesticides alourdissant encore les coûts de production).

L'arrosage est effectué quotidiennement, de manière systématique, sans considérations relatives au développement optimum des cultures. Le maraîcher intègre rarement la gestion de l'eau dans la conduite de son périmètre irrigué :

- Il ne considère pas l'eau comme un facteur de production, mais plutôt comme une source intarissable (quoique coûteuse en terme de coût de prélèvement) ;
- Il n'est pas conscient que le sol, est un réservoir, avec une capacité de rétention d'eau ;
- Les inconvénients liés à l'excès d'eau (lessivage, pollution de la nappe, asphyxie des plantes, apparition de maladies cryptogamiques et accidents mécaniques des plantes, achats de pesticides), lui semblent inconnus ou ne font pas l'objet d'une préoccupation.

Le maraichage exerce donc une forte pression sur la ressource en eau en raison de :

- La forte tendance à trop arroser de la part des maraichers,
- Le cumul des débits prélevés par puits peu profonds qui pourrait être significatif.

#### 4.3.2.3 La gouvernance de l'activité de maraichage

Les maraichers sont très souvent regroupés dans des structures : Association, GIE et fédérations de producteurs. Dans la zone du projet il est possible de citer notamment :

- L'association des maraichers de Pout (300 membres)
- La fédération des agropasteurs de Diender - FADP (3000 membres)
- La fédération des maraichers de Keur Moussa/Diender - FMKD (900 membres)
- Le GIE DEGGO (Alou Kagn, Pout, Palal)

Ces organisations ont des difficultés récurrentes en matière de mobilisation des cotisations des membres aux fins de constitution d'un fond de roulement. En conséquence il existe une dynamique organisationnelle très faible (régularité

<sup>50</sup> Cependant il existe encore une pratique d'arrosage par aspersion voire directement avec une lance d'arrosage



des réunions, renouvellement des instances, défaut de renforcement de capacités sur les techniques d'irrigation et l'économie d'eau, ...).

Malgré ces difficultés, le groupement de producteurs permet le développement d'investissements importants. A titre d'exemple, la fédération des agropasteurs de Diender a réalisé un investissement de 400 millions de CFA pour l'extension du réseau électrique sur 10 km pour les besoins de pompage de l'eau. Cela démontre l'engagement et la capacité des producteurs à s'organiser et l'importance de l'horticulture dans la zone.

Des efforts sont également réalisés par les ONGs. Une plateforme locale de gestion de l'eau a été avec l'appui du GRET dans les communes de Mont Rolland, Diender et Darou Khoudoss dont les objectifs sont : i) la sensibilisation des usagers pour une rationalisation de l'utilisation de l'eau et ii) une représentation de leurs intérêts auprès des autorités locales.

La Plateforme a élaboré un Plan Local de Gestion Intégrée de l'Eau dont les principales activités sont : i) la mise en place de cordons pierreux pour freiner la vitesse de ruissellement des eaux et favoriser les infiltrations autour du bassin de rétention, ii) l'assainissement en milieu scolaire et iii) la gestion des bassins de rétention. Parmi les objectifs de la plateforme figure le diagnostic approfondi des 3 bassins de rétention de la commune afin de pouvoir discuter des solutions de réhabilitation et de remise en service.

En outre, des possibilités d'initiative existent à travers la structure intercommunale KEMOPODI regroupant les communes de Keur Moussa, Pout et Diender. Cette plateforme existante peut intégrer dans sa lettre de mission des éléments relatifs à la gestion intégrée de l'eau ou du suivi de la nappe.

#### **4.3.2.4 Problématiques associées à la disponibilité des ressources en eau**

Les problématiques des maraichers associées aux ressources en eau sont nombreuses, notamment :

- La baisse de la nappe de l'aquifère quaternaire oblige les maraichers à approfondir les puits chaque année pour pouvoir continuer à exploiter la nappe phréatique<sup>51</sup>. Du fait des techniques utilisées pour la réalisation des puits, la profondeur des puits est limitée dès que la nappe est rencontrée. Il en résulte que les puits sont à sec quelques mois après la période d'hivernage<sup>52</sup>. Les implications économiques sont significatives, avec des coûts élevés pour l'approfondissement des puits et des coûts énergétiques plus élevés. Par ailleurs ils n'ont pas les moyens de réaliser des forages profonds qui leur assureraient un accès à l'eau de façon permanente et en quantité suffisante.
- Le Code de l'Eau a fixé le régime de priorité d'utilisation de l'eau souterraine dans la zone du projet à la satisfaction des besoins humains (eau potable). En conséquence, il a été interdit d'utiliser des forages profonds pour les activités de maraichage du fait de la priorité donnée à l'utilisation de la nappe pour l'alimentation en eau potable de Dakar.
- Les maraichers qui utilisent les eaux de surface, à partir de structures hydrauliques de rétention ou du 'lac' Tanma, ont des difficultés pour avoir des ressources en eau disponibles pendant la fin de la période sèche. A titre d'exemple, le bassin de rétention de Mont Rolland permet aux maraichers d'irriguer pendant 4 ou 5 mois après la fin de la période de pluies. Après cette période ils n'ont pas de revenus liés au maraichage (et doivent donc exercer une autre activité). L'ensablement des bassins de rétention et des périodes hivernales courtes réduisent les mois pendant lesquels les maraichers ont des ressources en eau pour l'irrigation.
- Les maraichers pratiquant le maraichage pluvial n'ont aucun accès aux ressources en eau après la saison hivernale. Leurs revenus sont très saisonniers et variables (en fonction des volumes de pluie) et ils sont obligés de trouver d'autres moyens de subsistance.

<sup>51</sup> Les témoignages recueillis indiquent que dans les années 70 la nappe était à environ 5 m et qu'actuellement les puits doivent atteindre une vingtaine de mètres (voire une trentaine dans certains secteurs) pour atteindre la nappe.

<sup>52</sup> Dans le secteur de Keur Moussa, à proximité du 'lac' Tanma, les puits sont secs vers mi-janvier ce qui induit un arrêt de l'irrigation et une forte baisse de l'activité de maraichage

- Bien que le goutte à goutte soit relativement répandu, il reste des difficultés pour certains maraichers pour accéder au goutte à goutte.
- Les maraichers ont une forte tendance à irriguer plus que nécessaire. Ceci a pour conséquences une baisse des rendements, la création d'un milieu humide qui peut attirer des organismes nuisibles, donc l'usage accru de pesticides, des impacts sur la structure des sols et sur l'économie de l'exploitation.

#### 4.3.2.5 Capacité d'adaptation de la gestion des prélèvements face au stress hydrique

Les maraichers ont peu de moyens d'adaptation face aux problématiques des ressources en eau dans la zone du projet. La variabilité des pluies, des ressources en eau superficielle et la baisse de la nappe phréatique ont un impact direct sur leur revenu. Pour s'adapter ils sont obligés de changer d'activité et d'émigrer vers les grands centres urbains, notamment Dakar.

Il est à noter cependant que l'existence de structures rassemblant les maraichers est un facteur positif (mais non suffisant) pour mettre en œuvre des approches d'adaptation.

#### 4.3.2.6 Aspects spécifiques relatifs au genre

L'approche comparative de la situation des hommes et des femmes dans le cadre de l'étude diagnostic des vulnérabilités a permis de mettre en exergue les rapports de genre en matière d'accès à l'eau/aux ressources productives et de contrôle des ressources, de charge de travail, d'accès aux marchés, d'exercice et de contrôle du pouvoir décisionnel. Les inégalités constatées se déclinent comme suit :

- analphabétisme ;
- lourdeur de la charge de travail des femmes qui limite leur productivité ;
- faible accès aux ressources (terre, eau, crédit, moyens de production, etc.) ;
- faible contrôle des bénéfices tirés du maraîchage ;
- faible participation des femmes dans les sphères de décision.

L'objectif spécifique du diagnostic relatif au genre était de permettre :

- d'évaluer la participation des femmes dans les activités de maraîchage ;
- d'évaluer le degré de vulnérabilité des maraîchères et des maraîchers à la sécurité hydrique ;
- d'analyser le niveau de participation des femmes aux sphères de décision ;

##### 4.3.2.6.1.1 Participation des femmes dans les activités de maraîchage

Il est estimé, sous réserves de validation et de mise à jour sur 2021, un total de 60 000 agriculteurs évoluant dans le secteur agricole dans la zone (les 4 communes) ;

Les enquêtes du PADEN démontrent que le maraîchage est pratiqué par environ 48% des femmes et environ 52% des hommes<sup>53</sup>.

##### 4.3.2.6.1.2 Contraintes et vulnérabilités

Les contraintes et vulnérabilités sont précisées ci-après suivant les différentes tâches associées au maraîchage.

- La production

<sup>53</sup> Programme d'aménagement et de développement économique des Niayes (PADEN) - Etude diagnostique sur l'égalité entre les femmes et les hommes (EFH) dans les Niayes – 2012

La production constitue un moment clé dans le maraîchage. Il s'agit des étapes qui vont de la pépinière à la récolte en passant par le repiquage, le semis direct et les travaux d'entretien.

#### Des inégalités face à l'accès aux ressources

Les difficultés majeures sont relatives à l'accès aux ressources (s.l.) : l'eau, la terre, l'investissement, les ressources humaines (main d'œuvre). Les coûts de production élevés pour certaines spéculations, comme l'oignon et la tomate induisent souvent le recours au crédit.

À ce niveau, il faut souligner que la majorité des femmes disent avoir des difficultés d'accès au crédit pour financer leurs campagnes. Ainsi sur le plan de l'accès aux facteurs de production, il y a un accès inégal au crédit entre hommes et femmes. En effet, si les hommes disposent de garanties pour bénéficier de crédit auprès des banques, les femmes, quant à elles, comptent principalement sur leur caisse d'épargne et leur tontine pour mener leurs activités (la seule alternative qui leur est offerte est le recours à des commerçants pour le préfinancement de leurs activités). Cette situation fait qu'elles ne peuvent disposer que de petits montants de crédit (quelques dizaines de milliers de CFA par femme) et qu'elles doivent faire face à des taux d'intérêt pouvant atteindre 30 % du prêt alors que les coûts de production sont généralement élevés. En matière d'accès aux intrants et matériel agricole, à superficie égale, les hommes ont plus du double des quantités d'intrants et de matériel agricole que les femmes.

Les hommes et les femmes mènent des activités de production toute l'année, mais les femmes doivent également s'occuper des activités domestiques. Dans le secteur horticole, on note que le volume de production des hommes est plus important, aussi la taille de leurs parcelles est plus grande que celles des femmes. L'accès à la terre est inégal entre hommes et femmes. Sauf dans des cas exceptionnels, la terre est détenue par les hommes qui mettent à la disposition de leurs épouses des lopins. Cependant, les femmes dotées d'une certaine capacité financière peuvent acquérir la terre par achat ou par affectation par le conseil territorial. L'accès à la terre est le principal frein au plein épanouissement des femmes dans le maraîchage (avec comme facteur aggravant la pression foncière de plus en plus accrue dans cette zone en périphérie du développement de Dakar et de Thiès).

#### Des tâches spécifiques

Les femmes participent activement au développement des productions maraîchères dans la zone d'étude et pour l'essentiel constituent la main d'œuvre opérationnelle. Cette main d'œuvre sollicitée autour des exploitations est plus importante chez les femmes que chez les hommes notamment pour les opérations de repiquage, de récolte et de commercialisation.

##### ➤ La transformation et la conservation

La limite des circuits de commercialisation dans la zone est marquée par la quasi inexistence de chaînes de froid. Cela a des implications sur toute la problématique de la conservation et de la transformation des productions. Le séchage est le mode de conservation le plus pratiqué pour les produits périssables. Le manque d'unités de conservations et de transformations des productions est pour la majorité des femmes productrices des sources de perte de gains financiers (dans le cas de surproduction il n'y a pas de possibilité de stockage et les produits sont soit bradés, soit pourrissent sur place).

##### ➤ La commercialisation

La commercialisation est marquée par une pluralité des acteurs/actrices. Les femmes souvent collectrices sont des acheteuses-revendeuses qui sillonnent les marchés des différents centres urbains. Les principales difficultés rencontrées par les femmes peuvent être résumées par :

- un caractère spéculatif des prix sur les marchés résultant d'un manque d'organisation de la production. Ceci déséquilibre la couverture d'une demande permanente et contribue à la fragilisation du système de commercialisation.
- le caractère saisonnier de la production et les difficultés liées à la conservation constituent d'autres types de contraintes que les producteurs (trices) rencontrent.
- la redistribution des produits avec des quantités faibles (2 à 5 sacs) pour certaines spéculations.

- le coût du transport des marchandises vers les marchés locaux ou d'autres lieux de vente.

A côté de ces difficultés, il faut aussi souligner la forte capacité d'absorption du marché local, en progression constante, constitué de chaînes hôtelières, de restaurants de rue et de ménages solvables dont la majorité se trouve dans les villes. La manne financière issue de la commercialisation des tonnes de légumes et de fruits à partir de la zone des Niayes, estimée à des centaines de milliards de FCFA, est souvent captée par les intermédiaires du système de commercialisation.

Si les femmes interviennent dans le système d'intermédiation, elles ne contrôlent cependant pas, en valeur absolue et relative, cette manne financière issue de la commercialisation. Elles se concentrent plutôt dans la revente et l'achat au détail. Rares sont celles qui ont des capacités financières qui leurs permettent de traiter avec les grands consommateurs constitués par les hôtels et les grands restaurants. À cela, il faut ajouter la mise souvent à l'écart des femmes productrices dans le circuit de commercialisation des récoltes, circuit contrôlé en majeure partie par les maris. Elles s'activent pour la plupart dans la vente et revente de petites quantités destinées à la prise en charge de leurs besoins familiaux immédiats. Ceci traduit des pratiques informelles de commercialisation qui ne permettent pas aux femmes productrices de constituer des épargnes conséquentes pour réinvestir dans leur production.

À cela il faut ajouter l'absence d'informations fiables, pour les producteurs et productrices, sur la situation des marchés de destination de leurs produits. Ceci amène souvent ces dernières, une fois sur le marché, à brader leurs productions. Cette réalité doit être comprise en rapport avec le statut social des femmes qui ne leur permet pas de s'absenter pendant longtemps loin des ménages, le temps d'avoir de meilleurs prix, ce qui n'est pas le cas des hommes.

#### Focus sur les organisations féminines

L'étude a recensé les groupements féminins de maraîchères.

*Tableau 4-1. Estimation du nombre potentiel de femmes dans le secteur de l'agriculture dans la zone*

Communes	Nombre de Groupement de promotion féminine (s.l.)	Nombre de membres femmes
Pout	44	2 200
Mont Rolland	41	2 384
Diender	33	1 935
Keur Moussa	47	3 017
<b>Total</b>	<b>165</b>	<b>9 536</b>

Les périmètres maraîchers enregistrés exclusivement au nom des femmes connaissent les mêmes difficultés d'approvisionnement en eau que ceux des hommes même si le phénomène peut paraître plus accentué chez les femmes à cause des facteurs socioculturels ne militant pas en faveur d'une égalité homme-femme. A titre d'exemple, les quelques jardins maraîchers féminins existants au niveau de la commune de Pout sont confrontés à des difficultés d'approvisionnement en eau pérenne et les femmes n'ont pas des facilités d'accès aux autres moyens de production ou de valorisation. La faible organisation des GIE/GPF (Groupement d'intérêt économique/ Groupement de promotion féminine) et l'absence de moyens ne contribuent pas au développement de jardins maraîchers féminins. En effet, les femmes exploitantes sont encore plus vulnérables par rapport aux activités maraîchères du fait d'un manque d'encadrement et de formation sur la valorisation durable des périmètres. Les stratégies de résilience se limitent à profiter de la période hivernale et à recourir à la petite commercialisation (non maraîchère) en période de contre saison froide et chaude.

### Focus sur la place des femmes à QFS (agro-business)

Dans les agro-business, les femmes travaillent plus volontiers que les hommes car ce modèle leur permet de sécuriser un revenu stable. A Quality Fruits Sénégal (QFS), les femmes constituent la majeure partie du personnel (sur un effectif de 1200 employés, 80% du personnel sont femmes, les femmes occupent généralement les postes de récolteuses et de trieuses - 500 femmes récolteuses, 400 femmes trieuses). Il est à noter que les terres agricoles louées par QFS ne leur appartiennent pas. En termes de changement social, les rôles de genre ont changé (au niveau des agro-business) : les repas à midi, préparés à l'aube par les femmes, sont servis par les hommes à midi car les femmes sont dans les champs. Ce changement dans les habitudes domestiques n'est pas perçu de manière négative par les hommes car les femmes contribuent de manière considérable aux dépenses du ménage grâce au travail fourni par l'agro-business.

#### 4.3.2.6.1.3 Gouvernance locale et participation aux prises de décision

Dans les organisations non spécifiquement féminines le pourcentage des femmes est très variable, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Tableau 4-2. Nombre de membres (dont nombre de femmes) dans certaines organisations liées au maraîchage

Nom de la structure	Nombre de membres
Association des maraîchers de la zone de Pout (GIE DEGGO)	300 membres dont 10 femmes
Fédération des maraîchers de Keur Moussa/Diender	900 membres dont 0 femme
Association des agropasteurs de Diender Commune	400 membres dont 160 femmes
Fédération des producteurs de Kayar et Diender	3000 membres dont 1200 femmes

Source : Enquêtes de diagnostic des vulnérabilités auprès des collectivités territoriales\_2021

Les femmes sont généralement plus présentes dans les organisations communautaires de base de type groupement de promotion féminine – GPF.

Cette sous-représentativité des femmes dans les organisations communautaires de base mixtes tient à une tradition associative qui confine les femmes dans les GPF et limite leur statut dans les organisations mixtes à des rôles de mobilisation et non de prise de décision. Généralement au niveau des comités de gestion de l'eau ou d'associations d'usagers d'eau, les postes de président ou de vice-président reviennent aux hommes. Les femmes occupent des positions secondaires réduisant véritablement leurs pouvoirs d'action. Du coup, elles ne sont pas en mesure de peser sur les décisions en leur faveur en termes de contrôle des ressources et de redistribution équitable des bénéfices issus de la production ou de la valorisation économique.

Au niveau du ménage, en général, les grandes décisions sont prises de manière partagée, mais le mari est le chef de ménage. Dans certains cas, les femmes sont consultées, mais ne disposent que de peu de marge de manœuvre même si par ailleurs, elles contribuent de façon significative à la gestion financière.

Leur faible implication dans les instances de prise de décision ne milite pas en faveur de la maîtrise parfaite de la chaîne de valeur, depuis l'aménagement jusqu'à la commercialisation des produits en passant par la contractualisation avec les structures financières décentralisées (SFD) pour la pérennisation et la performance de l'activité socioéconomique.



## 4.4 Ecosystèmes

Dans le cahier des charges de la présente étude, les écosystèmes sont mentionnés de façon non spécifique à l'exception de la forêt classée de Pout<sup>54</sup>.

Dans ce paragraphe les différents écosystèmes identifiés dans cette phase de l'étude (activité 1) sont présentés ainsi que les problématiques associées aux ressources en eau.

### 4.4.1 Les « forêts » classées de Pout et de Thiès

La forêt classée de Thiès a été déclarée classée en 1934 sur une superficie de 11600 ha, et la forêt classée de Pout en 1933 sur une superficie de 8342 ha ([4] ). En 2013, la superficie classée de ces forêts était réduite à 11081 ha et 7288 ha respectivement (soit 1573 ha déclassés) ([6] ).

Les délimitations actuelles des forêts classées de Pout et de Thiès sont indiquées à la Figure 4-2.

Ces forêts ont subi de nombreuses modifications. Ces modifications sont liées :

- à son exploitation,
- aux dérogations accordées notamment pour le développement de l'activité économique (industrie minière, agro-business),
- à l'impact de la très longue période de sécheresse qui a commencée au début des années 70 pour s'achever au début des années 2000.

Les forêts classées ont été soumises à des restrictions portant notamment sur l'interdiction de la coupe de bois, l'incendie de tous végétaux, l'enlèvement des produits naturels du feu, l'exercice de la chasse, etc. Toutefois le pâturage y était autorisé en dehors des zones d'interdiction correspondant aux parcelles en régénération. Ensuite à partir des années 50, elle fût aménagée pour satisfaire aux besoins en bois de chauffe des trains à vapeur. Ainsi, à titre d'illustration, la forêt de Pout a été dotée d'un plan d'aménagement décidé par un arrêté de 1953 (exploitation en taillis qui a commencé en 1954-1955) ([32] ).

---

<sup>54</sup> La forêt classée de Bandia est évoquée dans le cahier des charges mais elle se situe en dehors de la zone des forages (de la SONES) de Pout. Il est fait également mention de 'zones humides' mais le climat de la zone d'étude est semi-aride et il n'y a pas de zones humides permanentes.

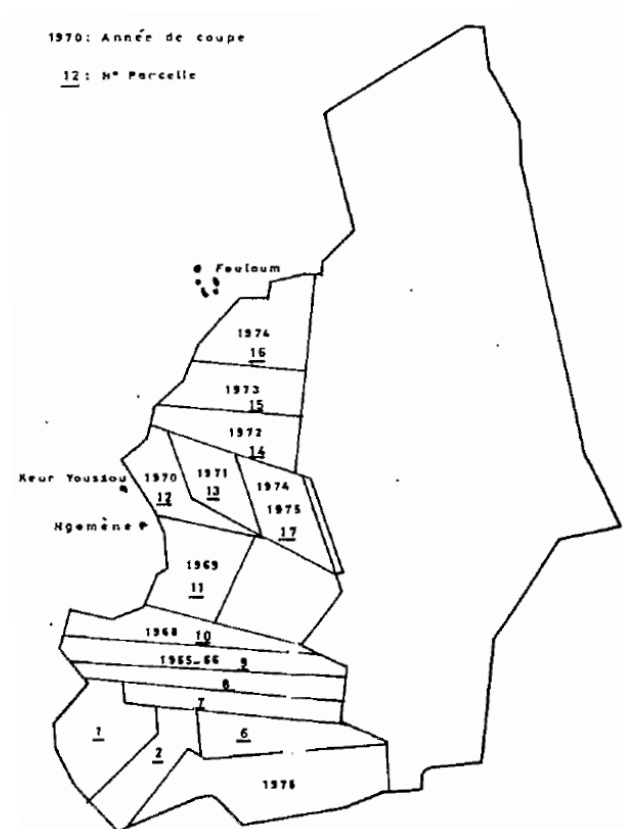


Figure 4-9. Plan d'aménagement de la forêt de Pout avec n° des parcelles et années de coupe (d'après [32] )

Avant les années 70, la végétation était très fournie et composée d'arbres, d'arbustes et de buissons, mais en 1990 elle correspondait déjà à une savane arbustive fortement dégradée dominée par des épineux de la famille des Mimosacées.

Depuis les années 1970, un important déficit de précipitations a été observé au Sahel. Le phénomène est bien visible sur la répartition des précipitations cumulées, qui présente un point de brisure vers 1970 (la pente est plus faible pour les années plus récentes) ([30] ). L'analyse statistique de la série pluviométrique de Thiès montre une rupture de la distribution à partir de l'année 1971 (Cela est aussi très net au niveau de Dakar, Cf. figure ci-après). La pluviosité moyenne passe ainsi de 656 mm/an entre 1921 et 1971 à 420 mm/an après cette date ([8]).

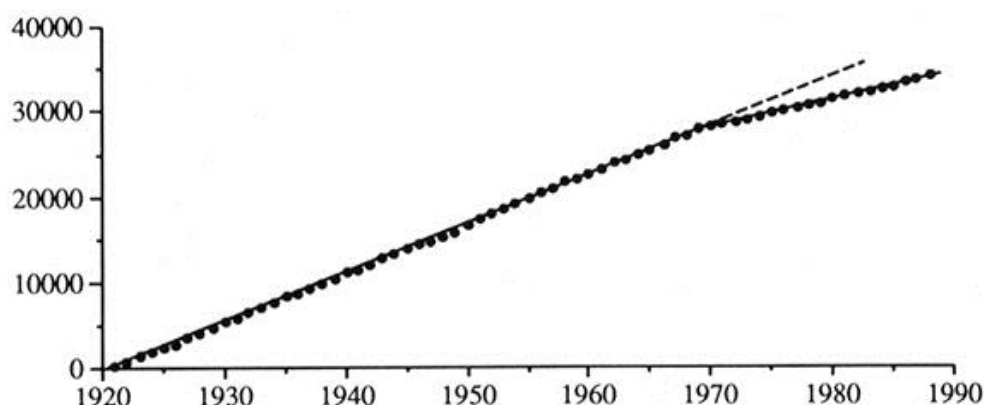


Figure 4-10. Pluviométrie cumulée à Dakar (avec point d'inflexion au début des années 60) (d'après [30])

Cette péjoration climatique a pour conséquence l'assèchement des zones humides, le recul du niveau piézométrique, la salinisation des bas-fonds et la mortalité de la végétation subguinéenne dont les exigences écologiques ne sont plus adaptées aux conditions environnementales.

L'étude publiée en 1990 ([32]) a effectué un recensement des espèces végétales dans la forêt classée de Pout et 64 espèces ont été inventoriées<sup>55</sup>. Sur 49 espèces arborescentes et arbustives, 13 espèces (plus du quart) étaient alors menacées de disparition à terme car elles n'étaient représentées que par quelques rares individus vieillissant et peu, ou pas, de jeunes éléments. Il était même indiqué alors que 8 autres espèces ligneuses soudanaises, signalées dans la forêt classée de Pout au début des années 1950, n'avaient pas été retrouvées.

P. Ndiaye ([32]) indiquait (en 1990) que la dégradation observée équivalait à un appauvrissement de la flore et une banalisation de la végétation. Il soulignait en particulier que l'élimination des arbres allait « remettre en question le caractère forestier du territoire ». Selon lui, la dégradation de la flore était un processus lent, susceptible d'aboutir à une « sahélisation »<sup>56</sup>.

Du fait de la durée très significative de la période sèche, ce processus a continué de se développer par la suite. Actuellement la zone classée ne présente plus de caractère forestier.

En effet la plupart des définitions de la forêt sont basées sur la présence d'arbre (hauteur supérieur à 5 m), une surface minimum et sur une densité de couvert forestier.

Ainsi la FAO définit les forêts comme des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectare (5 000 m<sup>2</sup>) avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert forestier de plus de 10 %<sup>57</sup>.

Du point de vue botanique, une forêt est une formation végétale, caractérisée par l'importance de la strate arborée, mais qui comporte aussi des arbustes, des plantes basses, des grimpantes et des épiphytes.

Actuellement les strates intermédiaires sont peu présentes, voire inexistantes dans de nombreux secteurs, et la strate arborée présente une densité très faible (très largement inférieure à 10%).

Les figures suivantes illustrent l'évolution de la densité du couvert forestier de 1990 à actuellement.

---

<sup>55</sup> Arbres : 25 espèces, arbustes : 24 espèces, lianes et sous-ligneux bas : 12 espèces, herbacées : 3 espèces

<sup>56</sup> Guillemets dans le texte original.

<sup>57</sup> Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) considère un seuil de 10 à 40 % de couverture pour les « forêts ouvertes », tandis que le projet Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellite (TREES), fondé en 1991 par la Commission européenne, classifie les surfaces avec 40-70 % de couverture comme des « forêts fragmentées ».

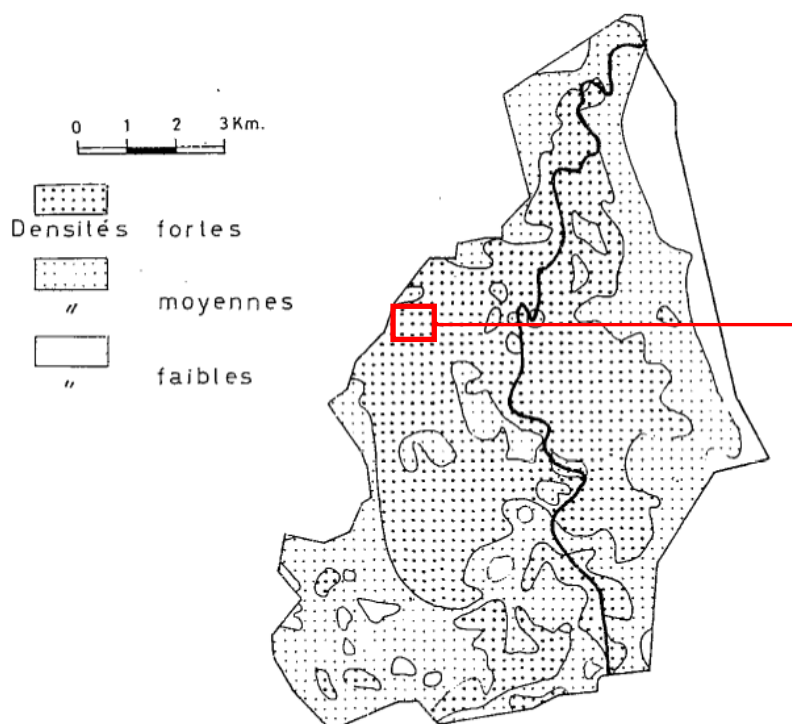


Figure 4-11. Limite de la forêt classée de Pout (1990) et limites de densités du couvert forestier (d'après [32] )



Figure 4-12. Zone avec actuellement une très faible densité de couvert forestier ( $<10\%$ ) alors que cette zone présentait une forte densité de couvert forestier en 1990 (le rectangle rouge est identique à celui de la figure précédente)

Ainsi actuellement les « forêts » classées de Pout et de Thiès ne sont plus des forêts du fait de la densité très faible de la strate arborée et de la quasi-absence de strates intermédiaires.

Parmi les facteurs explicatifs ce sont en partie l'exploitation de la forêt (des années 30 aux années 70-80) et surtout la sécheresse prolongée (à partir des années 70) qui sont à l'origine des transformations des 'forêts' classées.

#### 4.4.2 Les écosystèmes associés aux zones de maraichage

Les zones de maraichages sont très souvent associées à de l'arboriculture (manguiers principalement). Par ailleurs pour éviter le passage du bétail sur les zones maraichères celles-ci sont entourées de haies végétales impénétrables (qui jouent aussi partiellement le rôle de brise-vent). Ainsi un écosystème existe autour des zones maraichères (notamment avifaune).

Par ailleurs la présence de maraichage entraîne la venue très fréquente de singes. La protection des cultures vis-à-vis des singes reste problématique pour les maraichers.

#### 4.4.3 Les écosystèmes à proximité des bassins de rétention

Autours des bassins de rétention, du fait de la présence d'un milieu humide semi-permanent, une végétation arborée s'est développée. Celle-ci contribue à créer un écosystème avec la présence notamment d'avifaune.



Figure 4-13. Ecosystème autour du Bassin de rétention de Mont Rolland

Une des difficultés<sup>58</sup> du maintien d'un écosystème autour des bassins de rétention est lié au fait que les bassins de rétention s'assèchent (Cf. Figure 4-14). Ceci est lié à l'absence de régulation de la part des usagers (maraichers et pasteurs) qui prennent l'eau du bassin jusqu'à ce qu'il n'y en ait plus.

<sup>58</sup> Difficulté relative, puisque cet écosystème existe





Figure 4-14. Bassin de rétention de Mont Rolland (le 12 décembre 2020 à gauche et le 6 juillet 2021 à droite)

#### 4.4.4 Le 'Lac' Tanma

Pour bien comprendre ce qu'était le 'lac' Tanma et son évolution il peut être utile dans un premier temps de décrire son origine.

##### Origine du lac Tanma

La géologie du Lac Tanma présentée ici est issue des travaux de Michel P., 1973, Tersier F. 1952, Elouard, 1959 et a été synthétisée par Boumédiène Bénaricha, 1985<sup>59</sup>.

- L'Ogolien (21 000 à 15 000 ans BP<sup>60</sup>)

Au cours de cette période une grande transgression<sup>61</sup> a eu lieu. Cette transgression coïncide avec une période aride. L'action érosive intense du vent sur les sédiments marins a conduit à la formation des ergs<sup>62</sup> constitués de dunes longitudinales orientées NE-SO. Celles-ci ont recouvert toute la partie nord du Sénégal occidental vers 18 000 BP et sont encore bien visible dans la zone des Niayes.

- Période post-ogolienne (15 000 à 7 000 ans BP)

Une phase humide remplaça progressivement cette période sèche. Pendant cette période les cordons dunaires se sont abaissés et leurs formes se sont émoussées. Ces dunes sont maintenant fixées par une steppe arbustive ou une savane arborée.

- Le Nouakchottien (7000 à 4200 ans BP)

Entre 7000 et 6500 ans BP, la mer a pénétré à l'intérieur du continent (transgression nouakchottienne) en pénétrant par les interdunes en doigts de gants. Elle remonte peu à peu et submerge les basses vallées des fleuves. Le matériel sableux a été étalé en de vastes plages sableuses riches en bivalves (*arcus senilis*). Pendant cette transgression les eaux salées ont envahi le bassin du Sénégal.

- Le Post-Nouakchotien (4200 à 2000 BP)

<sup>59</sup>Ref. [10]

<sup>60</sup> BP : Before Present

<sup>61</sup> Transgression : avancée de la mer à l'intérieur des terres

<sup>62</sup> Etendue de dunes

La mer se retire progressivement (régression). Les cuvettes interdunes qui s'étaient transformées en vasières marines au Nouakchottien sont alors alimentées par les crues (cas du lac Tanma). Une période plus aride voit la formation de petites dunes continentales issues du remaniement des ergs anciens. Ces dunes récentes ont isolé les lacs salés témoins de la dernière transgression.

Lors d'une visite de terrain (juillet 2021) des dépôts marins ont pu être observés au sein du 'lac' Tanma (Cf. figure ci-après).



Figure 4-15. Dépôts marins (bivalves et huitres) dans le 'lac' Tanma (Artelia, 2021)

Ce qu'il importe de retenir c'est que le milieu salé du lac Tanma (nappe superficielle) est déterminé avant tout par une communication ancienne avec la mer.

Cette salinité a eu un impact fort sur les projets de reboisement du lac Tanma notamment ceux menés dans les années 60.

Il est ainsi possible de citer un projet de reboisement de 264 ha initié en 1965 sur la partie nord-ouest du lac Tanma (Cf. figure ci-après, zone hachurée à 45°). Les essences introduites étaient :

- Melaleuca (Niaouli) ;
- Filao ;
- Eucalyptus.

La sécheresse et la salinité des nappes ont affecté le Niaouli et l'eucalyptus. Ainsi en 1978 le taux de mortalité atteignait presque 50%. En 1985, la mortalité des espèces introduites atteignait les presque trois-quarts de la zone reboisée.

#### L'évolution du 'lac' Tanma

Comme cela a été vu précédemment, la longue et forte période de sécheresse qui a sévi depuis le début des années 70 associée aux prélèvements importants de la SONES a conduit à l'assèchement du lac Tanma.

Déjà en 1985, seul un petit plan d'eau était considéré comme 'semi-permanent' (Cf. figure ci-après, zone noire).

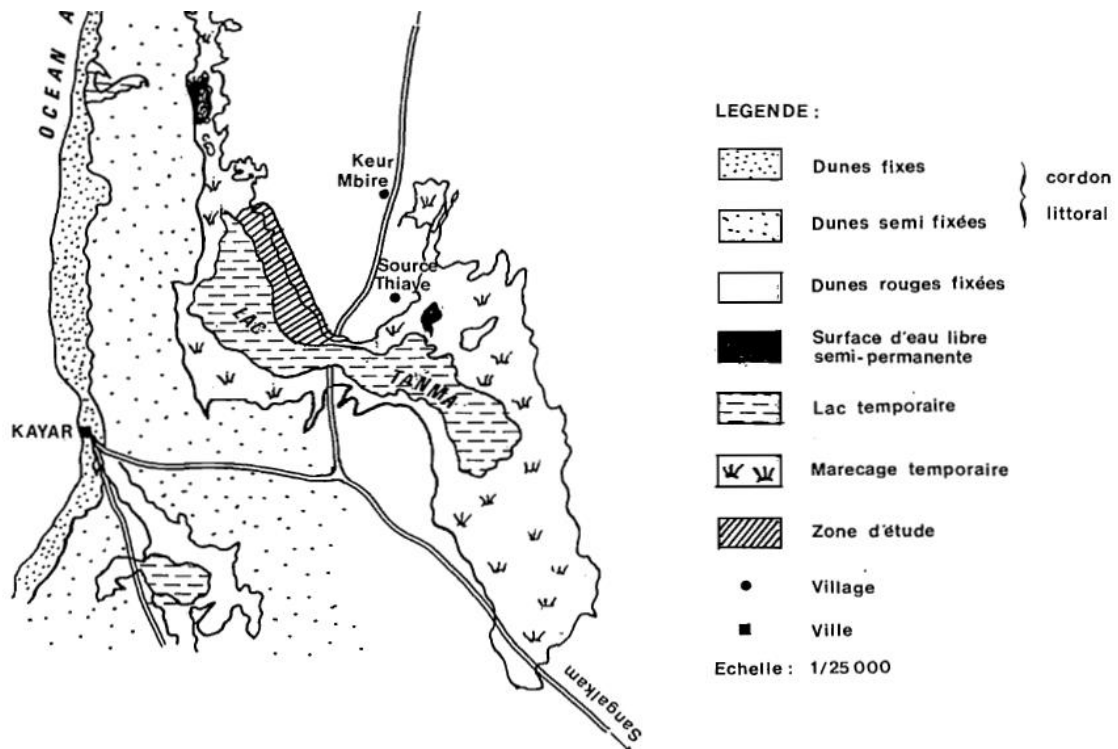


Figure 4-16. Plan d'eau semi-permanent en 1985 (d'après [10] )

Ce plan n'existe plus maintenant après la période d'hivernage et le 'lac' est actuellement totalement asséché dès le début de l'année (Cf. figure ci-après).





a) 10 avril 2019

b) 26 mars 2020

*Figure 4-17. Assèchement actuel du 'lac' Tanma (la zone bleue correspond au plan d'eau semi-permanent de la figure précédente)*

Ainsi actuellement cette zone ne correspond plus à un lac, dans le sens hydrologique du terme, c'est-à-dire que ce n'est plus une étendue d'eau *permanente*. Cependant dans le langage courant l'appellation 'lac' reste encore utilisée.

#### L'alimentation en eau du 'lac' Tanma

Le 'lac' est alimenté par un réseau hydrographique composé de cours d'eau intermittents. L'alimentation du 'lac' a lieu durant la saison pluvieuse. La zone des forages de Pout appartient au bassin du lac (Cf. figure ci-après).



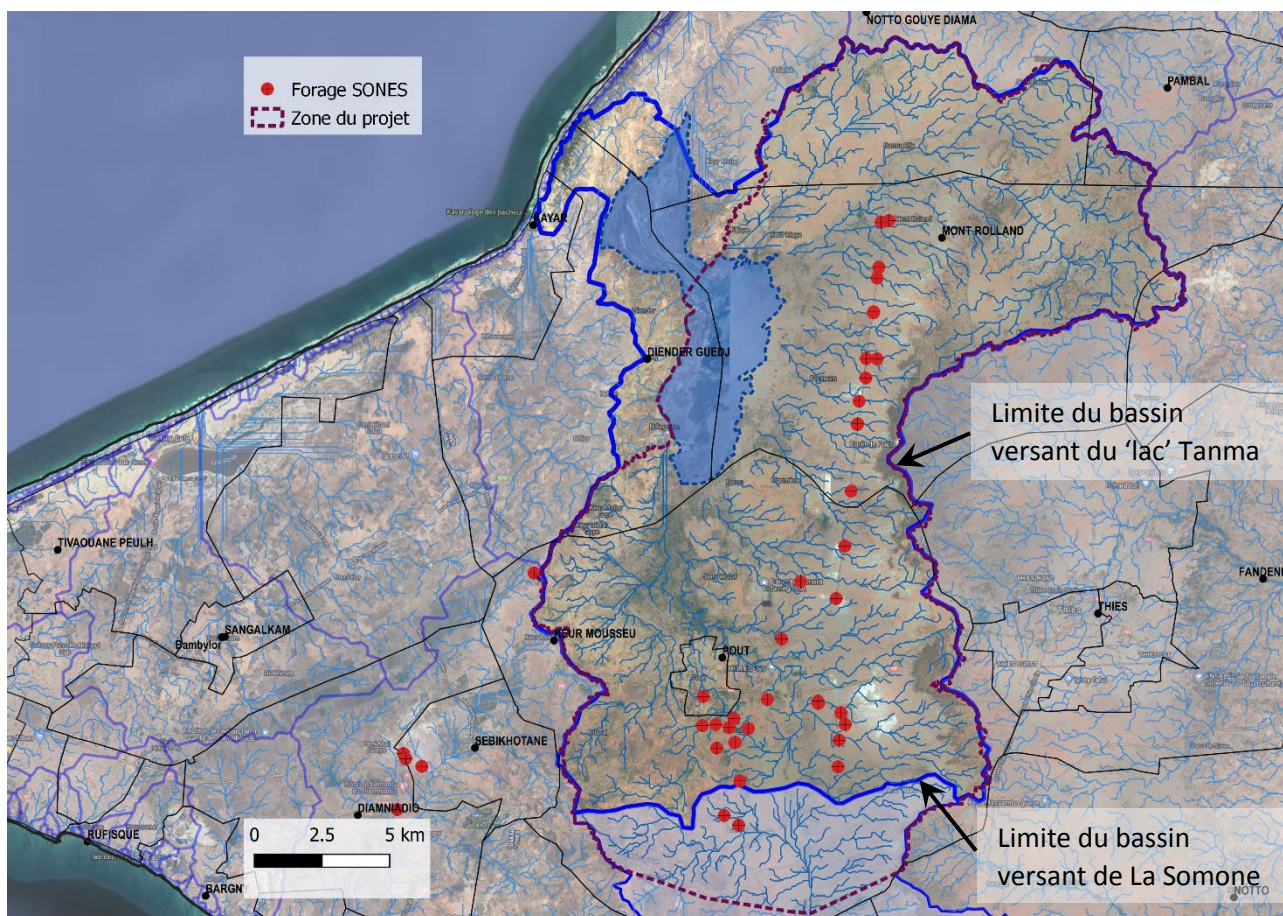


Figure 4-18. Bassin hydrographique du 'lac' Tanma

Dans la zone actuelle du lac existait un réseau hydrographique perpendiculaire à la mer. La communication avec l'océan a été par la suite rompue par l'installation de dunes durant les périodes sèches du Quaternaire, ce qui est à l'origine de l'évolution du réseau hydrographique vers le lac ([34] ).

En saison pluvieuse, les cours d'eau intermittents mobilisent les eaux de ruissellement nées des reliefs (plateaux de Thiès et massif de Ndiass) en direction des cuvettes et des mares. Ce ruissellement peut être diffus au départ mais s'accumule pour former des cours d'eau intermittents qui, en période de crue, provoquent un écoulement en direction du 'lac' Tanma.

La plupart de ces cours d'eau intermittents ont un grand effet érosif et leurs crues sont souvent dévastatrices. Dans la partie située au nord et nord-est du lac, surtout dans la communauté rurale de Mont-Rolland, ils peuvent entraîner des ruptures des voies de communication et ainsi accentuer l'enclavement de la zone. Ces phénomènes se produisent aussi dans la zone traversée par le cours d'eau intermittent de Pout, à l'est du lac.



## 5 RESSOURCES EN EAU FUTURES DANS LA REGION DE LA ZONE DE POUT ET EVOLUTION DES PRESSIONS ANTHROPIQUES

### 5.1 Evaluation de l'impact du changement climatique sur la ressource en eau

L'évaluation du changement climatique est du ressort de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM).

L'ANACIM a effectué des projections – jusqu'à 2050 – pour évaluer l'évolution des précipitations et des températures pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 du GIEC<sup>63</sup>. Ces scénarios traduisent différentes hypothèses relatives aux approches envisagées pour atténuer les effets du changement climatique :

- RCP 8.5 – aucune approche d'atténuation n'est mise en œuvre,
- RCP 4.5 – des approches volontaristes d'atténuation sont mises en œuvre<sup>64</sup>.

Pour évaluer les évolutions des précipitations et des températures plusieurs modèles climatiques ont été utilisés. Un projet d'inter-comparaison de ces différents modèles rassemble les principaux résultats obtenus.

#### Evaluation de l'évolution des précipitations

Dans un premier temps la robustesse des différents modèles climatiques a été évaluée au regard de leur capacité à reproduire les variables climatiques observées par le passé (période 1981 -2015).

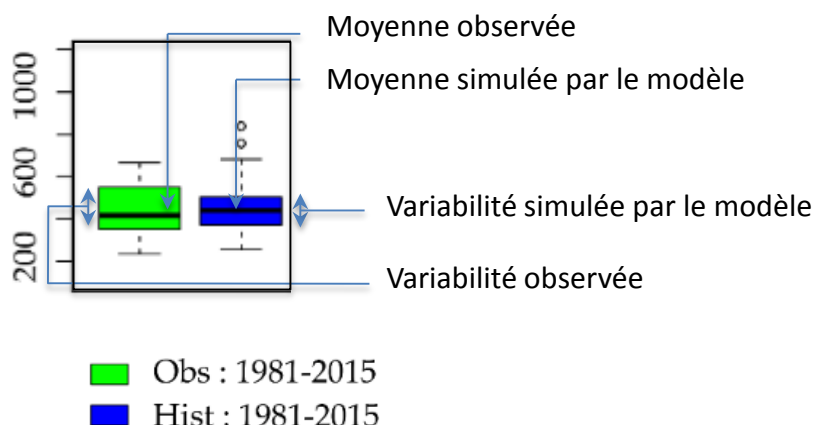


Figure 5-1. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 –Observations (vert) et Modèle CMCC-CM (bleu)

Sur l'exemple précité, il peut être observé que le modèle CMCC-CM simule une pluie moyenne annuelle sur la période considérée légèrement plus élevée que ce qui a été observé. Par contre la variabilité des pluies est plus faible que ce qui a été observé.

Ensuite les différents modèles sont utilisés en mode prévision avec les 2 scénarios du GIEC considérés.

<sup>63</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

<sup>64</sup> Et parmi les différents scénarios prenant en compte la mise en œuvre d'approches d'atténuation, le scénario 4.5 est le plus favorable.

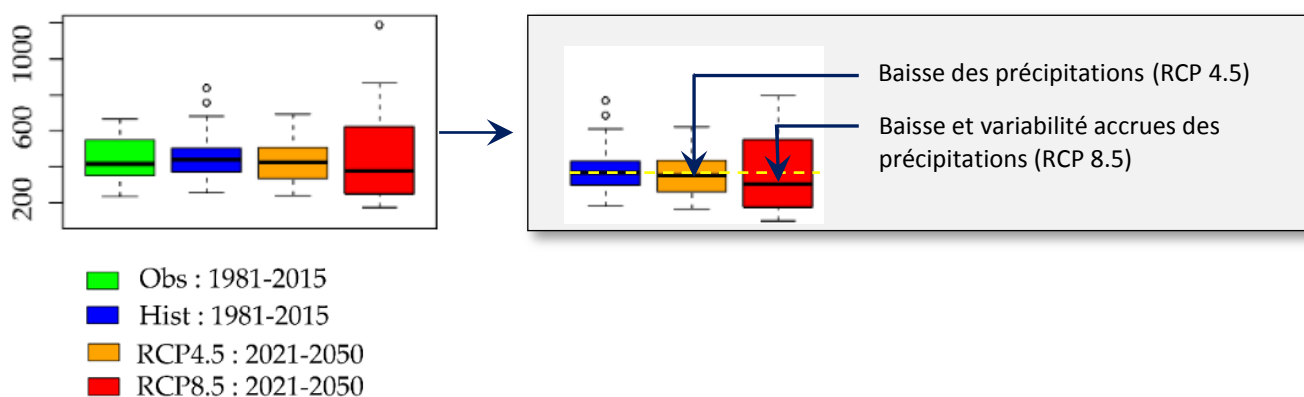


Figure 5-2. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2012-20150 (Modèle CMCC-CM)

Sur la figure précédente, le modèle climatique CMCC-CM simule une légère baisse des précipitations pour le scénario 4.5 et une baisse plus marquée avec une variabilité accrue des précipitations pour le scénario RCP 8.5.

L'ANACIM a utilisé 13 modèles climatiques. Les résultats sont présentés à la figure suivante.

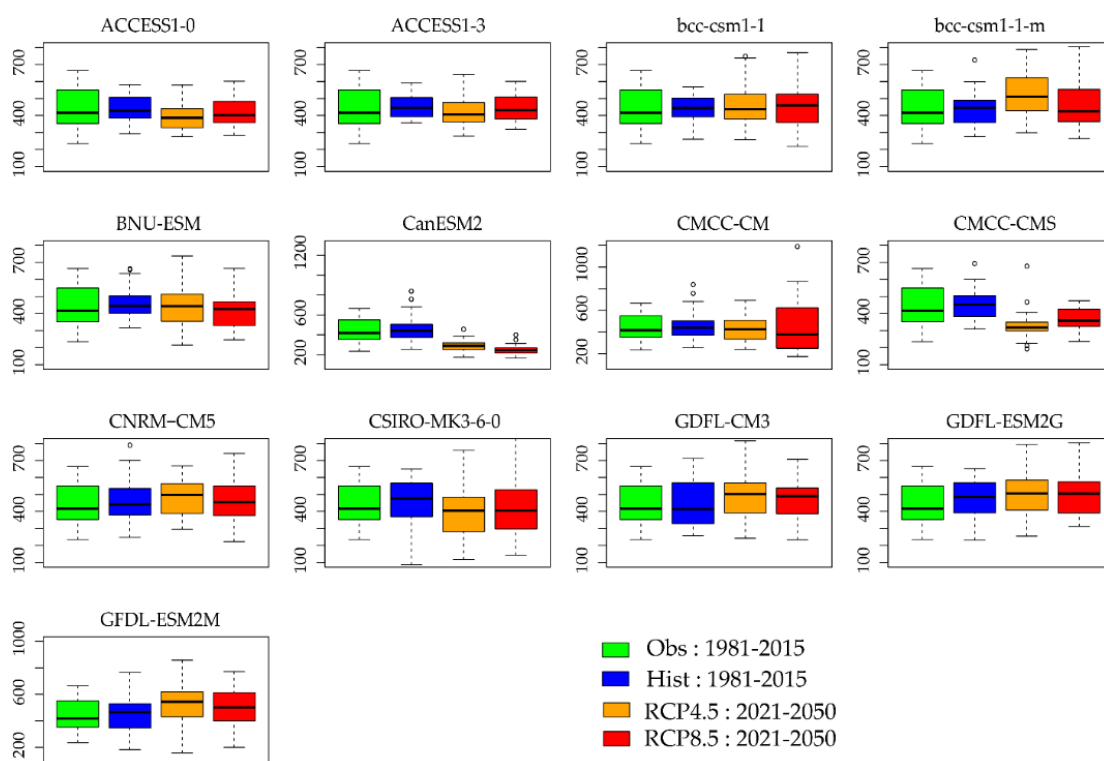


Figure 5-3. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2021-2050 pour différents modèles climatiques (ANACIM)

Pour ce qui concerne la capacité des modèles climatiques utilisés à reproduire les observations de la période 1981-2015, il peut être noté que tous les modèles utilisés surestiment légèrement les précipitations et présentent globalement (à l'exception du modèle GFDL-CM3) une variabilité moindre des précipitations.

Pour la période 2021-2050, les résultats des modèles présentent certaines incohérences :

- Pour le scénario RCP 4.5 certains modèles simulent des précipitations moyennes parfois plus élevées que celles simulées pour la période 1981-2015 (5 modèles sur 13) ;

- Pour le scénario RCP 8.5 certains modèles simulent des précipitations moyennes parfois plus élevées que celles simulées pour la période 1981-2015 (5 modèles sur 13) ;
- Certains modèles simulent des précipitations moyennes plus élevées pour le scénario 4.5 que pour le scénario 8.5 (4 modèles sur 13) alors que ce dernier scénario est plus pénalisant.

L'approche suivie par l'ANACIM a été de globaliser l'ensemble des résultats des modèles climatiques. Le résultat obtenu est présenté à la figure suivante.

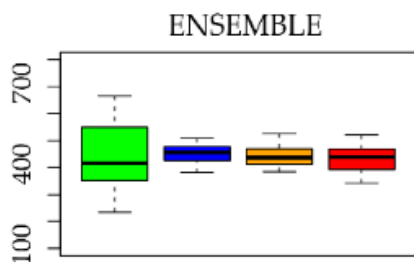


Figure 5-4. Evolution de la pluie moyenne annuelle de la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2021-2050 pour l'ensemble des modèles climatiques (ANACIM)

Ainsi, Le multi-modèle 'Ensemble' donne, pour la pluie annuelle à l'horizon 2035 :

- une baisse des précipitations de 1.6% pour le scénario RCP4.5,
- une baisse des précipitations de 3.6% pour le scénario sous le RCP8.5.

#### Evaluation de l'évolution des températures

- Les modèles utilisés par l'ANACIM ont également simulé l'évolution des températures.

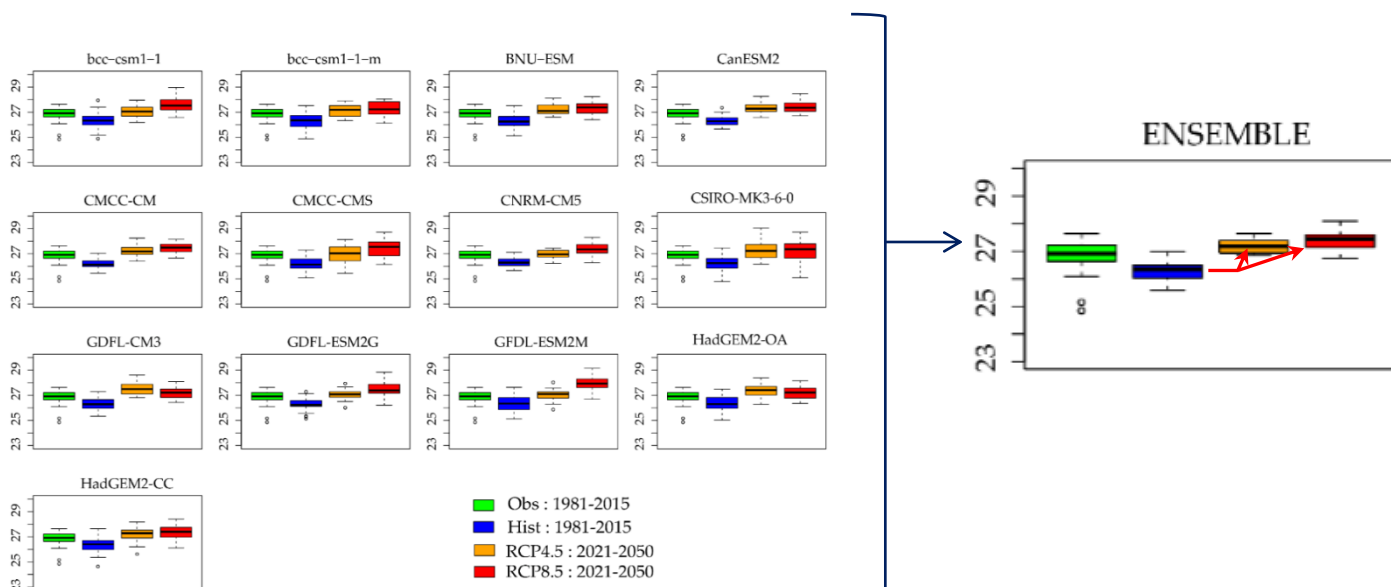


Figure 5-5. Evolution de la température moyenne à la station de Thiès sur les périodes 1981-2015 et 2021-2050 pour différents modèles climatiques

En se basant sur le multi-modèle 'Ensemble', la température augmenterait dans le futur de 0,99 °C avec le scénario RCP4.5 et de 1,22°C avec le scénario RCP8.5.

### *Evaluation de l'évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP)*

En raison de l'indisponibilité des données nécessaires pour le calcul de l'ETP au niveau du Géoportail de l'ANACIM sur les changements climatiques au Sénégal, l'ETP future mensuelle a été analysée à partir de la station de Linguère en valorisant les résultats des travaux de thèse de Ndiaye (2021)<sup>65</sup>. En effet, même si la station de Linguère est un peu en dehors de la zone du projet, les données de cette station permettent d'avoir un ordre de grandeur du potentiel d'eau pouvant être perdu par évaporation et par transpiration.

La Figure 5-6 présente les moyennes mensuelles de l'évapotranspiration sur la période d'observation (1984-2017) et celle des projections, pour l'ensemble des modèles utilisés et pour la période 2036-2065, selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à la station de Linguère.

Ainsi, durant la période 1984-2017, l'ETP moyenne mensuelle (multi-modèle<sup>66</sup>) varie de 151 à 302 mm en fonction des mois. Les valeurs maximales sont entre mars et avril et celles minimales entre juillet et septembre. Dans la période future (2036-2065), l'ETP mensuelle est estimée comme variant de 190 à 354 mm pour le scénario RCP4.5 et de 193 à 355 mm pour le scénario RCP8.5. Le multi-modèle simule une augmentation de l'évapotranspiration pour tous les mois.

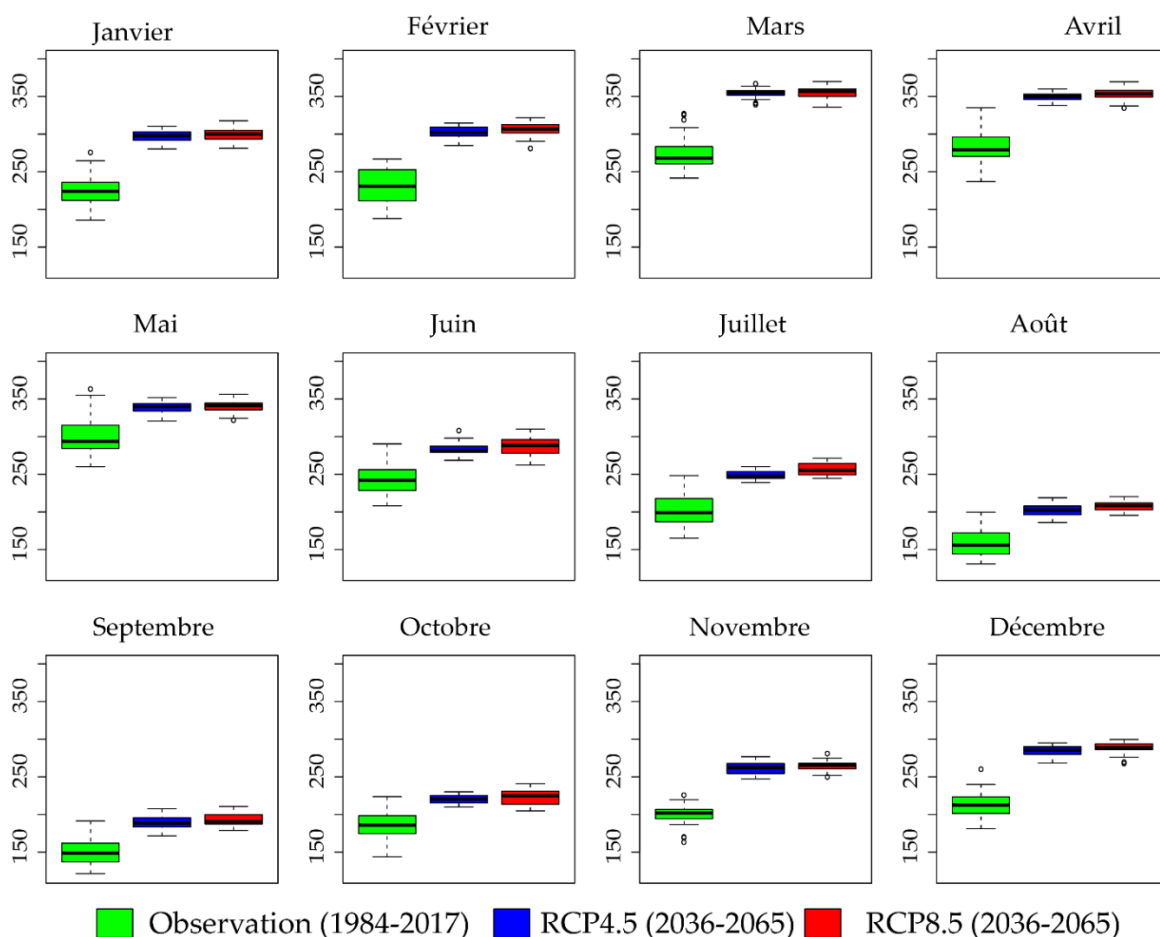


Figure 5-6. Evapotranspiration mensuelle potentielle de la période d'observation (1984-2017) et projections – ensemble des modèles climatiques - (2036-2065) selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à la station de Linguère (d'après [31]).

<sup>65</sup> Ref. [31]

<sup>66</sup> Moyenne des résultats de l'ensemble des modèles



Le tableau ci-dessous présente les augmentations de l'ETP mensuelle estimées pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

*Tableau 5-1. Variation de l'ETP mensuelle (mm) selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à la station de Linguère (d'après [31] )*

Mois	RCP4.5	RCP8.5
Janvier	72	74
Février	71	75
Mars	80	81
Avril	65	69
Mai	37	38
Juin	39	43
Juillet	48	56
Août	41	47
Septembre	39	42
Octobre	35	38
Novembre	63	65
Décembre	70	74

Ainsi, à titre d'illustration, par rapport à la période d'observation, pour le mois de mars, l'ETP future augmenterait de 80 mm pour le scénario RCP4.5 et 81 mm pour le scénario RCP8.5.

Quand bien même la station de Linguère n'est pas située au niveau de la zone de Pout, les tendances sont significatives et ce sont bien ces ordres de grandeurs de l'augmentation de l'ETP qu'il est pertinent de retenir.

#### Evaluation des impacts du changement climatique sur la ressource en eau

Les éléments suivant vont avoir un impact sur la ressource en eau :

- Baisse des précipitations de façon globale,
- Baisse des précipitations sur juillet-août-septembre (ce sont ces précipitations qui contribuent un peu à la recharge de la nappe),
- Augmentation de l'ETP (ce qui implique que l'eau qui s'infiltre dans les premiers cm/dm du sol sera 'reprise' plus facilement par l'ETP ce qui diminuera la recharge de la nappe).

Ces éléments vont induire une baisse de la recharge des nappes.

Par ailleurs, comme cela a été vu précédemment, une diminution des précipitations entrainera une baisse des écoulements de surface encore plus importante, baisse qui va être augmentée du fait de l'augmentation de l'ETP.

Enfin, l'augmentation de la température et de l'ETP va avoir un impact sur la demande en eau car les plantes auront besoin de plus d'eau pour se développer. Ainsi l'écart ressource/besoin sera encore accru.

## 5.2 Evolutions possibles des pressions anthropiques

La zone du projet fait partie du Grand Dakar - DTPC (Dakar/Thiès/Petite Côte), qui est désormais l'espace sur lequel se conçoit l'aménagement de la capitale sénégalaise. Avec la réalisation du Plan Sénégal Émergent (PSE), de grands projets structurants ont renforcé son attractivité, avec notamment la réalisation du nouvel Aéroport International Blaise Diagne (AIBD) sur la commune de Diass, les pôles urbains de développement ainsi que le développement touristique sur la Petite Côte ([27]). La zone DTPC concentre environ 23,2% de la population totale du Sénégal. Les projections d'évolution démographique sur cette zone sont de +3,7% par an, pour atteindre une population totale supérieure à 6,5 millions d'habitants en 2030 ([5]).

En plus des impacts du changement climatique sur les ressources en eau, le développement économique du Grand Dakar peut générer une augmentation importante de la demande en eau et accroître les conflits entre les différentes activités économiques pour l'accès à la ressource.

Les sections suivantes présentent des évolutions possibles des pressions anthropiques futures sur les ressources en eau de la zone du projet.

### 5.2.1 Projections démographiques

Les évolutions passées et les projections de population considérées sont celles établies par le modèle éconómico-financier de la SONES mis à jour en 2016. Les hypothèses sont basées sur les projections des données démographiques de l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) à l'horizon 2025, du Schéma Directeur d'Aménagement et de Développement du Territoire (SDADT) couvrant la zone du projet et du Schéma Directeur d'Adduction et de Distribution autour des pôles Urbains de Développement de Dakar et de la Petite Côte (SDAEP).

L'hypothèse du taux d'accroissement démographique à la base de ces projections pour la région de Thiès est de 3.1%. Les résultats de l'évolution démographique sur la zone d'étude de 2015 à 2019 ([1]) ainsi que les projections de 2020 à 2035 ([9]) sont présentés à la figure suivante.

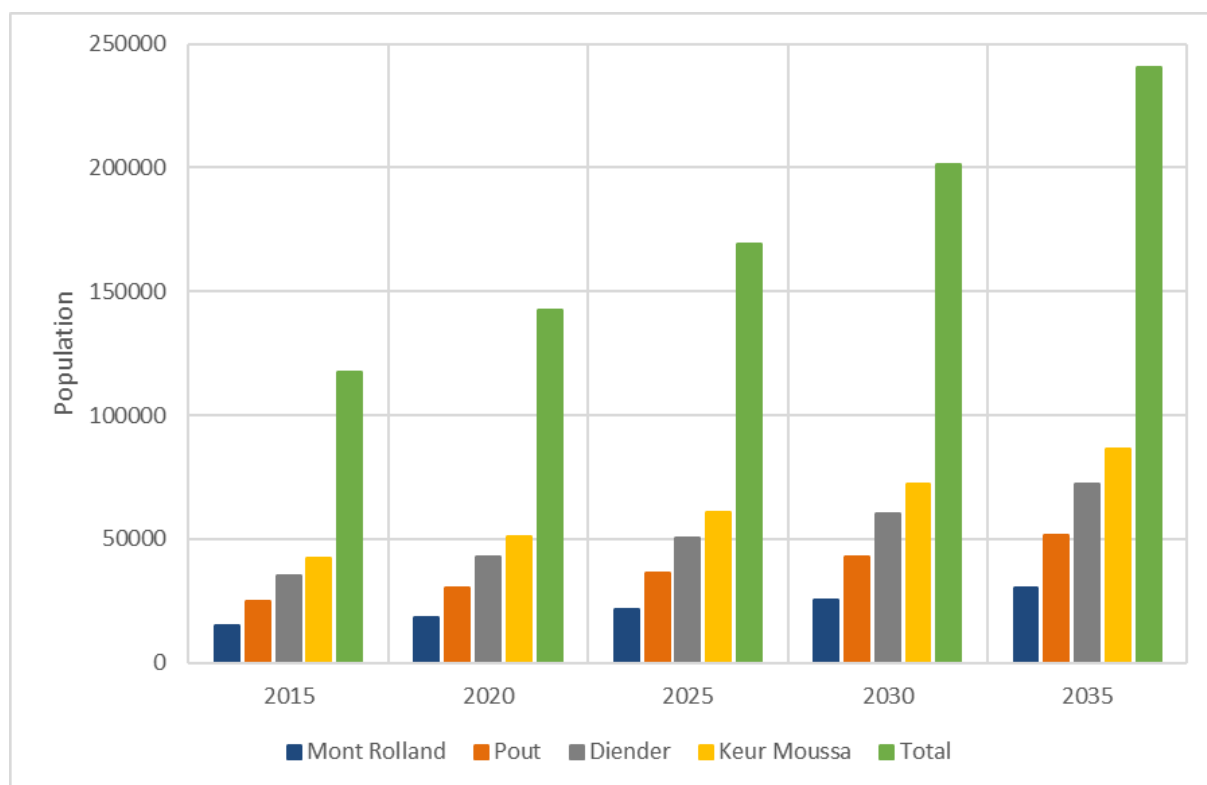


Figure 5-7. Evolution démographique des communes de la zone du projet de 2015 à 2035

A l'horizon 2035, la population totale des communes de la zone du projet atteindra environ 241 000 habitants, soit environ le double de la population de 2015. Cette augmentation de la population aura directement un impact sur la demande en eau potable.

### 5.2.2 Le Schéma directeur d'aménagement et de développement territorial de la zone Dakar–Thiès-Mbour

L'objectif du SDADT ([5] est d'établir une vision d'ensemble du devenir du triangle Dakar – Thiès – Mbour et de définir les priorités stratégiques et les options d'aménagement et de développement les plus pertinentes face aux enjeux environnementaux, démographiques et socio-économiques.

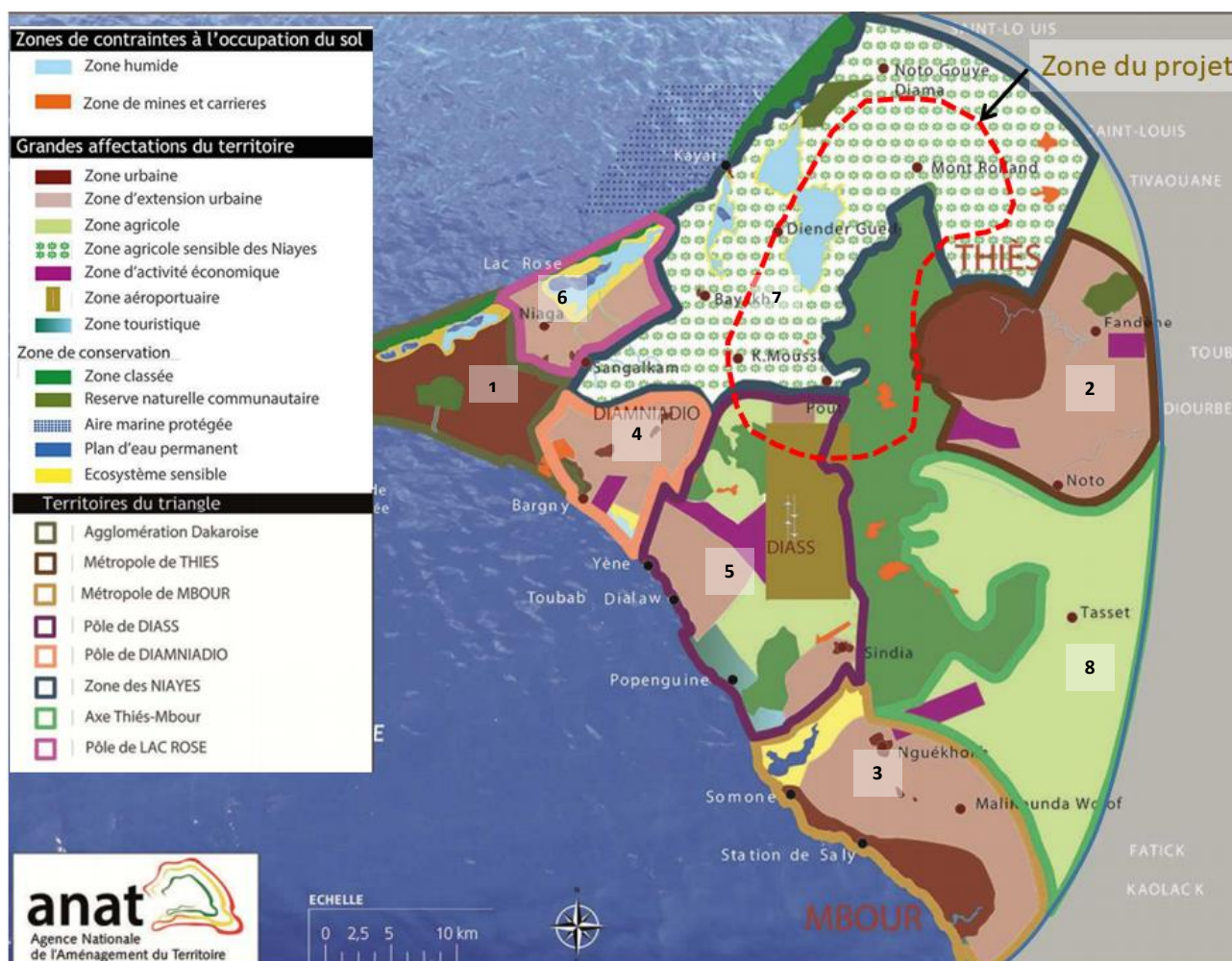


Figure 5-8. Pôles d'organisation territoriale définis par le SDADT et limites de la zone du projet.

Dans le cadre du SDADT, le territoire a été divisé en pôles qui représentent les secteurs d'organisation du territoire. Les critères utilisés pour définir ces pôles comprennent la démographie, les potentialités économiques, la position géographique, les possibilités d'extension et le niveau d'équipement.

Le SDADT propose la structuration des pôles suivants<sup>67</sup> :

- la métropole internationale de Dakar (1) ;

<sup>67</sup> Les chiffres entre parenthèses font référence à la figure précédente

- les métropoles d'équilibre de Thiès (2) et de Mbour (3) ;
- les pôles d'expansion urbaine et économique de Diamniadio (4), de Diass (5) et du Lac Rose (6) ;
- les pôles agricoles : la zone agricole sensible des Niayes (7) et l'axe Thiès-Mbour (8).

La zone du projet est située partiellement sur le pôle agricole de la zone de Niayes, le pôle d'expansion urbaine et économique de DIASS et la zone des forêts classées (voir Figure 5-8). Ces différents pôles sont présentés succinctement ci-après.

#### 5.2.2.1 Pôle agricole de Niayes

Ce pôle représente une zone stratégique pour l'approvisionnement du pays en produits horticoles, halieutiques et en volaille. La fonction du pôle est de valoriser les ressources et les potentialités naturelles disponibles. Il a d'importantes perspectives de développement vis-à-vis de la proximité avec d'autres pôles de plus grande envergure (métropole dakaroise, pôles d'équilibre et pôles d'expansion urbaine et économique) ainsi que du fait de la diversité des ressources et des potentialités du territoire.

Les usages autorisés dans la zone agricole protégée sont principalement ceux liés aux activités agricoles. Outre l'agriculture, ces usages peuvent notamment comprendre, selon les contextes, les résidences reliées à la production agricole, l'élevage en espace clos ainsi que les usages reliés aux activités d'entreposage, de conditionnement, de conservation ou de vente de produits agricoles et d'élevage. Les usages autorisés concernent également l'habitat dans les établissements humains ou dans leurs zones d'extension naturelle et l'ensemble des activités liées à l'habitat rural tels que le commerce, l'artisanat, les équipements et services institutionnels visant à améliorer les conditions et le cadre de vie des populations locales.

Les grands enjeux sont de préserver les terres agricoles, d'assurer une bonne maîtrise de l'eau, de renforcer les infrastructures et équipements d'appui à l'agriculture.

Pour anticiper les impacts du changement climatique et pour prendre en compte la forte pression sur la ressource en eau, le développement du pôle de Niayes pourrait inclure le développement de pratiques agricoles visant à obtenir des rendements agricoles identiques (voire supérieurs) en ayant recours à des quantités d'eau plus faibles.

#### 5.2.2.2 Pôle de Diass

En tant que pôle d'expansion urbaine et économique, il devrait connaître un développement urbain et économique très rapide. La fonction du pôle est de contribuer à la décongestion de la métropole dakaroise en offrant de l'habitat, des services au public et aux entreprises et en créant de l'activité économique et de l'emploi.

Les usages autorisés dans les zones préférentielles d'extension urbaine sont la construction d'habitations et la viabilisation de terrains, à condition qu'elles soient régies par un plan d'urbanisme ou qu'elles rentrent dans le cadre d'une zone d'aménagement spécifique, la construction d'équipements et d'infrastructures socio-économiques, les activités artisanales et industrielles localisées dans des zones d'aménagement dédiées.

Le pôle de Diass se structure autour de l'Aéroport international Blaise Diagne et de la Zone Economique Spéciale Intégrée (ZESI). C'est un pôle de grande envergure notamment grâce aux potentialités de création d'activités économiques et d'emplois avec la ZESI et à la disponibilité de près de 7 000 hectares de superficies urbanisables localisées de part et d'autre de l'aéroport vers Pout et dans la zone de Daga-Kholpa.



Les grands enjeux des zones d'expansion urbaine seront de lutter contre l'habitat spontané et la bidonvilisation, ainsi que d'éviter l'extension urbaine dans les zones de contraintes relatives à l'occupation du sol. La proximité de la zone agricole de Niayes (s.l.), de la zone d'expansion urbaine du pôle de Lac rose, du pôle de Diamniadio, et des zones agricoles au nord de l'aéroport (voir figure Figure 5-8) pourrait générer des pressions fortes sur l'occupation du sol avec la transformation des zones agricoles en zones urbaines.

Ce type de transformation pourrait induire une augmentation significative de la demande en eau, une imperméabilisation des sols (impliquant des volumes de ruissellement plus élevés et une moindre recharge des nappes), une perte de revenu des communautés locales (et leur migration), et des impacts sur la production alimentaire en lien avec la sécurité alimentaire nationale.

### 5.2.2.3 Les Forêts Classées

Les forêts classées ont pour fonctions d'assurer le renouvellement des espèces forestières, l'amélioration de la croissance et de l'état des peuplements, la fourniture de revenus pour les populations locales dans le respect des fonctions écologiques des écosystèmes, l'approvisionnement durable en combustibles ligneux et autres ressources naturelles, l'accueil du public dans la mesure où l'environnement naturel et social est préservé.

A priori, les forêts classées sont privilégiées et protégées dans le SDADT. Cependant les dérogations déjà accordées en faveur du développement économique – carrières, agro-business, ... - et au détriment des forêts classées amène à nuancer le caractère 'protecteur' des arrêtés de classement. Par ailleurs, le développement industriel et économique de la zone va générer des pressions fortes notamment sur l'approvisionnement en matériaux de construction. La concurrence pour l'occupation des sols entre carrières et forêts classées est une des problématiques importantes pour ces écosystèmes.

### 5.2.3 Les scénarios possibles relatifs aux prélèvements en eaux souterraines

#### L'étude prospective de la SONES

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique complémentaire du système du Horst de Diass menée par la DGPRE en 2018 ([8]), plusieurs scénarios d'évolution des prélèvements entre 2016 et 2035 ont été développés. Ces scénarios ont été modélisés pour évaluer leurs impacts sur les variations des niveaux piézométriques. Les scénarios considérés comprennent notamment les scénarios suivants :

- un scénario de base correspondant à une poursuite des prélèvements au même niveau que le niveau actuel ;
- un scénario d'évolution démographique avec une augmentation des prélèvements sur les forages privés de +5% en 2018, et puis de +5 % en 2026 ;
- un scénario de prospective de la SONES prenant en compte la même augmentation des prélèvements privés que pour le scénario précédent (+5% en 2018, et puis de +5% en 2026), et considérant en plus une évolution des pompages de la SONES avec une diminution des volumes prélevés (Cf. §4.1).

Les scénarios de poursuite ou d'augmentation des débits de pompage par rapport à l'état actuel mettent en évidence, de façon attendue, un risque fort de surexploitation non durable du système hydrogéologique du Horst de Diass, avec la poursuite de la baisse de la piézométrie dans tous les secteurs, quel que soit le niveau de recharge pris en compte.

Le scénario de prospective de la SONES, avec un ajustement (diminution) des débits pompés sur l'ensemble des champs captant de la SONES, fait apparaître une stabilisation des niveaux piézométriques simulés dans certains secteurs, notamment le secteur de Pout, et une poursuite de la diminution des niveaux piézométrique dans le compartiment de Sébikotane.

### Les évolutions possibles des prélèvements d'eau souterraine des différents acteurs

Dans le cas de l'étude prospective de la SONES, plusieurs scénarios considéraient une augmentation des prélèvements privés. Cependant les valeurs des augmentations de ces prélèvements n'étaient pas argumentées.

Si chaque usager est considéré, les éléments suivants peuvent être soulignés :

- Les prélèvements des maraichers ne sont pas connus<sup>68</sup> ce qui rend relativement complexe l'évaluation de l'évolution de ces prélèvements à moyen terme ;
- Les prélèvements des carriers pourraient rester relativement stables dans la mesure où, à part Dangote, aucun ouvrage de prélèvement n'est recensé pour les autres carriers, et où les prélèvements actuels de Dangote sont ajustés à la capacité de la cimenterie (et qu'il n'est pas a priori prévu d'en construire une autre) ;
- Les prélèvements des agro-business pourraient se développer en relation avec l'augmentation de leur superficie (voir le cas de QFS qui est en train de réaliser un second forage au Maastrichtien en relation avec l'augmentation des surfaces irriguées).

---

<sup>68</sup> Il apparaît ainsi important de développer une approche spécifique pour déterminer l'importance des prélèvements actuels et leur évolution possible

## 6 VULNERABILITE ACTUELLE ET FUTURE DES USAGES A LA SECURITE HYDRIQUE DANS LA ZONE DE POUT

La vulnérabilité des usages des ressources en eau à la sécurité hydrique est le degré par lequel un système risque d'être affecté négativement par le stress hydrique. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme du stress hydrique auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation ([33]).

L'analyse de la vulnérabilité comprend l'identification, pour chaque usage, des facteurs d'exposition<sup>69</sup>, de la sensibilité<sup>70</sup>, des impacts potentiels<sup>71</sup> et de la capacité d'adaptation (voir figure ci-dessous).

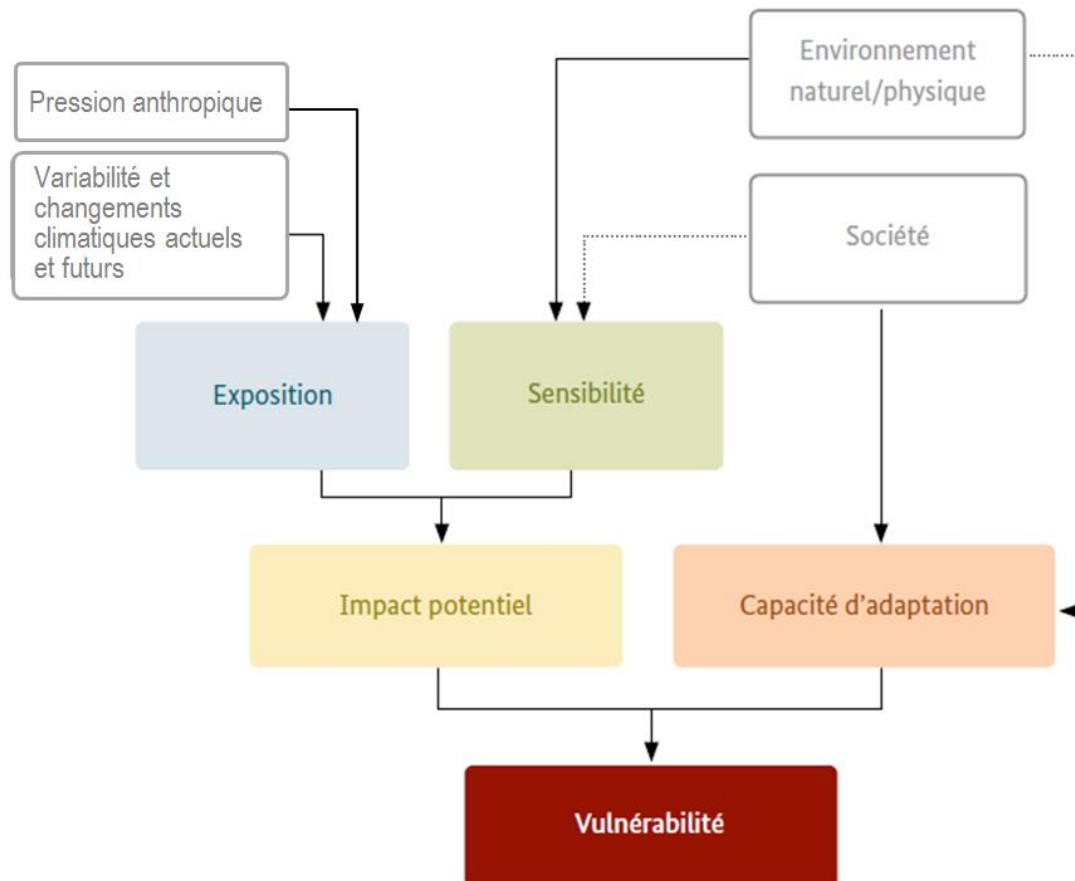


Figure 6-1. Les composants de l'analyse de vulnérabilité<sup>72</sup>

L'analyse de vulnérabilité a été développée à partir de plusieurs atelier et réunions avec les usagers des ressources en eau dans la zone du projet. L'annexe 1 présente la liste des usagers rencontrés dans le cadre de l'étude.

<sup>69</sup> Les facteurs d'exposition types comprennent notamment les températures, les précipitations, l'évapotranspiration, le bilan hydrique climatique ainsi que les événements extrêmes, tels que les fortes pluies et les sécheresses météorologiques.

<sup>70</sup> La sensibilité détermine le degré d'affectation (positive ou négative) d'un système par une exposition donnée au stress hydrique du fait du changement climatique et/ou de la pression anthropique.

<sup>71</sup> Les impacts potentiels sont la combinaison de l'exposition et de la sensibilité. A titre d'exemple, une baisse de la recharge (exposition) conjuguée à une forte réactivité de l'aquifère (sensibilité) peut induire une baisse significative du niveau de la nappe. Cette baisse peut se traduire par une difficulté à prélever l'eau par pompage (impact négatif).

<sup>72</sup> Adapté de GIZ, 2017 ([20]).

## 6.1 Facteurs d'exposition

Les facteurs d'exposition impactant l'usage de la ressource en eau sont les suivants :

- Baisse des écoulements d'eau de surface liés à la diminution des précipitations
- Augmentation de la turbidité dans les eaux de surface en relation avec l'érosion hydrique des sols
- Dégradation de la qualité des sols (sel) et de l'eau associée
- Baisse du niveau des nappes peu profondes (< 30m) du fait de la diminution de la recharge directe (diminution des précipitations et augmentation de la température, ainsi que surexploitation de l'aquifère quaternaire)
- Augmentation de la température et de l'ETP
- Baisse du niveau des nappes en profondeur du fait de la diminution de la recharge directe et de la surexploitation des aquifères
- Dégradation de la qualité de l'eau des nappes (Fer)

Le tableau ci-dessous présente l'évaluation, par usagers (s. l.)<sup>73</sup>, des facteurs d'exposition. Ces facteurs ont été évalués en termes d'exposition forte, faible ou indirecte, et aucune exposition.

Les utilisateurs des nappes profondes, c'est-à-dire les utilisateurs des aquifères du Paléocène et du Maastrichtien (la SONES, les agro-business et les mines et carriers) ont une exposition forte à la baisse de niveau des nappes profondes et à la dégradation de la qualité de l'eau (concentrations hautes en Fer). Les agro-business ont de plus une exposition forte due à l'augmentation de la température et de l'évapotranspiration (du fait de l'augmentation de la demande en eau des cultures).

Les maraichers ont une exposition forte à l'augmentation de la température et de l'ETP. En plus, les maraichers utilisant les nappes peu profondes ( $\approx$ 30m) ont une exposition forte à la baisse du niveau des nappes exploitées et ceux qui utilisent les bassins de rétention ont une exposition forte à la baisse des écoulements d'eau de surface et à l'augmentation de la turbidité.

Le 'lac' Tanma à une exposition forte à la baisse des écoulements d'eau de surface, à l'augmentation de la température, à la dégradation de la qualité des sols ainsi qu'à la baisse du niveau des nappes peu profondes.

---

<sup>73</sup> i.e. y compris écosystèmes



Usagers		Exposition						
	Ressource en eau utilisée <sup>1</sup>	Baisse des écoulements d'eau de surface	Augmentation de la turbidité dans les eaux de surface	Dégradation de la qualité des sols (sel) et de l'eau associée	Baisse niveau des nappes peu profondes ( $\approx < 30m$ )	Augmentation de la température et de l'ETP	Baisse niveau des nappes en profondeur	Dégradation de la qualité de l'eau (Fer)
SONES	Nappes profondes (Paléocène et Maastritchien)							
Agro-Business	Nappes profondes (Maastritchien)							
Mines et carrières	Nappes profondes (Maastritchien)							
Maraichers	Nappes peu profondes							
Maraichers	Bassin de rétention							
AEP rurale	Nappes peu profondes et profondes (Paléocène et Maastritchien)							
Ecosystèmes	'Lac' Tanma							
<sup>1</sup> sur la base des données disponibles		<div> <div></div> Exposition faible ou indirecte           <div></div> Exposition forte         </div>						

Figure 6-2. Evaluation des facteurs d'exposition au stress hydrique par usagers (s.l.)

## 6.2 Sensibilité

La sensibilité aux facteurs d'exposition, par usagers (s.l.), est présentée dans la table ci-dessous. La sensibilité a été évaluée en termes de sensibilité négative forte, sensibilité négative faible et sensibilité positive<sup>74</sup>.

Les utilisateurs des nappes profondes, la SONES, les agro-business et les mines et carriers, ont une sensibilité négative forte à la baisse de niveau des nappes profondes et à la dégradation de la qualité de l'eau (concentrations hautes en Fer). De plus, les agro-business ont également une sensibilité forte à l'augmentation de la température et de l'évapotranspiration (augmentation du besoin en eau des cultures).

Les maraichers ont une sensibilité négative forte à l'augmentation de la température et de l'évapotranspiration. En plus, les maraichers qui utilisent les nappes peu profondes ( $\approx < 30\text{m}$ ) ont une sensibilité négative forte à la baisse du niveau des nappes exploitées, et ceux qui utilisent les bassins de rétention ont une sensibilité négative forte à la baisse des écoulements d'eau de surface et à l'augmentation de la turbidité dans les eaux de surface. Par rapport à la turbidité des eaux de surface, les maraichers qui exploitent les nappes peu profondes (c'est-à-dire ceux qui sont situés dans les parties basses de la zone d'étude) ont une sensibilité positive, car la déposition des sédiments fins amenés durant l'hivernage à l'aval des bassins versants est favorable pour les sols agricoles.

Le 'lac' Tanma a une sensibilité négative forte à la baisse des écoulements d'eau de surface, à l'augmentation de la température, à la dégradation de la qualité des sols (augmentation de la salure des sols par manque de lessivage de ceux-ci) et à la baisse de niveau des nappes peu profondes.

---

<sup>74</sup> La sensibilité négative implique un degré d'affectation défavorable pour les usagers, et la sensibilité positive implique une dégrée d'affectation bénéfique par rapport aux facteurs d'exposition

Usagers		Sensibilité						
	Ressource en eau utilisée <sup>1</sup>	Baisse des écoulements d'eau de surface	Augmentation de la turbidité dans les eaux de surface	Dégradation de la qualité des sols (sel) et de l'eau associée	Baisse niveau des nappes peu profondes (≈ < 30m)	Augmentation de la température et de l'ETP	Baisse niveau des nappes en profondeur	Dégradation de la qualité de l'eau (Fer)
SONES	Nappes profondes (Paléocène et Maastritchien)							
Agro-Business	Nappes profondes (Maastritchien)							
Mines et carrières	Nappes profondes (Maastritchien)							
Maraichers	Nappes peu profondes							
Maraichers	Bassin de rétention							
AEP rurale	Nappes peu profondes et profondes (Paléocène et Maastritchien)							
Ecosystèmes	'Lac' Tanma							

<sup>1</sup> sur la base des données disponibles

Sensibilité négative faible
  Sensibilité négative forte
  Sensibilité positive

Figure 6-3. Evaluation de la sensibilité aux facteurs d'exposition par usagers (s.l.)

## 6.3 Impacts

Les impacts sont classés en deux catégories : forts et faibles. La figure ci-dessous présente les impacts par usagers (s.l.) qui résultent de la combinaison des facteurs d'exposition avec la sensibilité.

Les impacts du stress hydrique sur les usagers des ressources en eau dans la zone du projet sont les suivants :

- Baisse de la productivité des forages et puits (et donc surcoûts liés au prélèvements)
- Baisse de la qualité de l'eau
- Augmentation de la demande en eau : irrigation, humidification des pistes
- Baisse ou arrêt partiel (saisonnier) de l'activité économique
- Réduction de la biodiversité

De façon générale, les maraichers et le 'lac' Tanma sont les 'usagers' présentant les impacts les plus forts.

Les impacts sur les maraichers comprennent une perte significative de revenu avec des conséquences sociales importantes (déplacement de la population vers Dakar, ...). Les impacts sur le 'lac' Tanma comprennent la réduction de la biodiversité des écosystèmes autour du lac.



Usagers		Impacts
	Ressource en eau utilisée <sup>1</sup>	
SONES	Nappes profondes (Paléocène et Maastritchien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau
Agro-Business	Nappes profondes (Maastritchien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau (irrigation)
Mines et carrières	Nappes profondes (Maastritchien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau (humidification des pistes)
Maraichers	Nappes peu profondes	- Baisse de productivité des puits voire abandon - Baisse de qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau (irrigation) - Baisse ou arrêt temporaire de l'activité
Maraichers	Bassin de rétention	- Baisse du remplissage de la retenue - Augmentation de la demande en eau (irrigation) - Baisse ou arrêt temporaire de l'activité
AEP rurale	Nappes peu profondes et profondes (Paléocène et Maastritchien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau
Ecosystèmes	'Lac' Tanma	- Baisse de l'alimentation du 'lac' - Baisse de la qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau - Réduction de la biodiversité
<sup>1</sup> sur la base des données disponibles <div> <div></div> Impact faible <div></div> Impact fort </div>		

Figure 6-4. Analyse de vulnérabilité : évaluations des impacts par usagers (s.l.)

## 6.4 Capacités d'adaptation et vulnérabilité

Tel que détaillé au chapitre sur les usagers (Cf. §4), la SONES, les agro-business et les mines et carrières ont des moyens pour s'adapter aux problèmes de sécurité hydrique actuelles et futurs. Tout d'abord, ils ont la capacité économique de réaliser de nouveaux forages profonds si cela s'avérait nécessaire. De plus, les carrières et les agro-business ont les moyens de développer des projets pour mettre en place des pratiques moins consommatrices en eau. Actuellement, les usagers des nappes profondes ont une vulnérabilité faible au stress hydrique.

Par ailleurs, la SONES est en train de diversifier ces ressources pour l'alimentation en eau potable du Grand Dakar, notamment avec la future station de dessalement des Mamelles et la station de traitement des eaux du lac de Guiers KMS3. A très court terme la SONES diminuera les prélèvements des forages de la zone de Pout (et les champs captant de Pout constitueront alors une ressource d'appoint et de sécurité).

Les scénarios de modélisation développés en 2018 par la DGPRE montrent une stabilisation des niveaux piézométriques des aquifères du Paléocène et Maastrichtien dans la zone de Pout si la SONES réduit ses prélèvements comme envisagé. Dans ce cadre, la vulnérabilité future des agro-business et carrières, qui utilisent également les nappes profondes, devienne encore plus faible ([8]).

Par contre, les maraichers et le 'lac' Tanma ont des capacités d'adaptation de faibles à très faibles et ont une vulnérabilité forte au stress hydrique.

Les maraichers sont très vulnérables car la variabilité des pluies, des ressources en eau superficielle et la baisse de la nappe phréatique ont un impact direct sur leur revenu. Actuellement pour s'adapter ils sont obligés de changer d'activité et d'émigrer vers les grands centres urbains, notamment Dakar. Cette situation déjà critique pour les maraichers va s'amplifier fortement sous l'effet du changement climatique.

Le 'lac' Tanma est également très vulnérable car les écosystèmes associés sont également très vulnérables à la variabilité climatique et ils ont très peu de capacité d'adaptation. Cette situation va s'amplifier fortement sous l'effet du changement climatique.

Usagers		Impacts	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité
	Ressource en eau utilisée <sup>1</sup>			
SONES	Nappes profondes (Paléocène et Maastrichtien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau		
Agro-Business	Nappes profondes (Maastrichtien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau (irrigation)		
Mines et carrières	Nappes profondes (Maastrichtien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau (humidification des pistes)		
Maraichers	Nappes peu profondes	- Baisse de productivité des puits voire abandon - Baisse de qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau (irrigation) - Baisse ou arrêt temporaire de l'activité		
Maraichers	Bassin de rétention	- Baisse du remplissage de la retenue - Augmentation de la demande en eau (irrigation) - Baisse ou arrêt temporaire de l'activité		
AEP rurale	Nappes peu profondes et profondes (Paléocène et Maastrichtien)	- Baisse de productivité des forages (baisse de nappe et colmatage) - Baisse de qualité de l'eau		
Ecosystèmes	'Lac' Tanma	- Baisse de l'alimentation du 'lac' - Baisse de la qualité de l'eau - Augmentation de la demande en eau - Réduction de la biodiversité		
<sup>1</sup> sur la base des données disponibles <div> <div>Impact faible</div> <div>Impact fort</div> <div>Capacité très faible</div> <div>Capacité faible</div> <div>Capacité moyenne</div> <div>Capacité forte</div> <div>Vulnérabilité faible</div> <div>Vulnérabilité moyenne</div> <div>Vulnérabilité forte</div> </div>				

Figure 6-5. Evaluation de la vulnérabilité au stress hydrique des usagers (s.l.)

Diagnostic et analyse participative des vulnérabilités de la zone de captage des forages des nappes de Pout

ETUDE DE FAISABILITE D'UN PROJET DE DEMONSTRATION VISANT A AMELIORER DE FAÇON DURABLE LA ZONE DE CAPTAGE DES FORAGES DE POUT AU SENEGAL

## 7 CONCLUSION

L'activité 1 du projet a permis d'identifier les vulnérabilités au stress hydrique, actuelles et futures, des différents usagers de la ressource en eau<sup>75</sup>, en intégrant les impacts du changement climatique et les pressions des activités humaines sur la demande en eau.

Cette phase du projet a aussi identifié certaines lacunes relatives notamment à l'évaluation des débits de ruissèlement sur la zone d'étude ou encore à l'absence de connaissance des débits prélevés par les maraichers.

Dans le cadre de l'articulation avec la phase suivante du projet (co-élaboration de l'étude de faisabilité) les éléments suivants peuvent être soulignés :

- Les ressources en eau sont surexploitées et il conviendrait d'organiser une répartition durable de la ressource entre les différents acteurs ;
- L'impact du changement climatique va induire une moindre disponibilité de la ressource en eau et des besoins en eau des plantes accrus ;
- Les pressions anthropiques futures vont globalement accroître la demande en eau ;
- A court terme, du fait de l'impact du changement climatique et des pressions anthropiques, l'écart entre disponibilité des ressources en eau et demande en eau risque d'augmenter ;
- Certains acteurs présentent une vulnérabilité très forte au stress hydrique (en particulier écosystèmes, maraichers).

En liaison avec ce diagnostic, les pistes suivantes pourraient être analysées :

- Une organisation de la répartition de la ressource pourrait aboutir à un usage durable de la ressource et limiter les tensions entre les acteurs (gouvernance) ;
- L'infiltration dans les aquifères quaternaires d'un surplus d'eau pendant l'hivernage permettrait d'augmenter les ressources disponibles (recharge artificielle de nappe<sup>76</sup>) ;
- Les modalités de diminution des prélèvements envisagées par la SONES pourraient être étudiées de façon à déterminer les options ayant l'impact le plus positif sur les parties prenantes les plus vulnérables au stress hydrique.
- Enfin, des économies d'eau pourraient être réalisées par un meilleur usage de l'eau (maîtrise du goutte à goutte, brise-vents, ...) et l'impact de l'érosion hydrique pourrait être limité, en ayant recours en particulier à des solutions fondées sur la nature.

---

<sup>75</sup> Y compris écosystèmes

<sup>76</sup> Solution fondée sur la nature selon le cahier des charges



## 8 REFERENCES

- [1] AFD, 2018. Analyse rétrospective du secteur urbain de l'eau potable au Sénégal : un partenariat public-privé à l'épreuve du temps. Notes techniques N° 41.
- [2] Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), 2017. Gestion intégrée et durable des systèmes aquifères et des bassins partagés de la région du Sahel. Bassin Sénégal-Mauritanien.
- [3] Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), 2014. Mission de Collecte d'Informations pour l'Approvisionnement en Eau de la Région de Dakar, Rapport Finale.
- [4] Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), 2016. Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses Environs Horizon 2035. Rapport final.
- [5] Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT), 2015. Schéma directeur d'aménagement et de développement territorial de la zone Dakar-Thiès-Mbour. Rapport provisoire.
- [6] Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), 2015. Situation économique et sociale régionale 2013, chapitre VIII : ressources forestières.
- [7] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- [8] Antéa, 2018. Étude hydrogéologique complémentaire du système du Horst de Diass. Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE).
- [9] Banque Mondiale, 2020. Etude de la gestion intégrée de l'eau en milieu urbain dans le grand Dakar (Dakar-Thiès-Petite Cote). Rapport de la revue documentaire de l'état des lieux de l'eau et de l'assainissement en milieu urbain dans le grand Dakar.
- [10] Bénaricha, B., 1985. Etude pédologique du reboisement du lac Tanma (Région de Thiès) - Etude de l'influence de la salure sur la mortalité des différentes essences, ORSTOM.
- [11] Bodian, A., Diop, L., Panthou, G., Dacosta, H., Deme, A., Dezetter, A., Ndiaye, P.M., Diouf, I. and Vischel, T., 2020. Recent Trend in Hydroclimatic Conditions in the Senegal River Basin. Water, 12,436.
- [12] Bodian, A., 2014. Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). Physio-Géo, 8, 297.
- [13] BRGM, 1989. Etude des ressources en eau souterraine du Sénégal.
- [14] Basse des données de la DGPRE sur les prélèvements et les niveaux piézométriques de la zone d'étude, reçu en décembre 2020 et mis à jour en avril 2021.
- [15] COWI Polyconsult, 2001. Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Maastrichtien, Sénégal. Estimation de la recharge actuelle de la nappe du Maastrichtien au Sénégal. Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique Service de Gestion et de Planification des Ressources en Eau (SGPRE).
- [16] Dacosta, H., 2004. Étude climatologique et hydrologique Projet du Lac Artificiel de Thiès – Sénégal, Rapport d'étude pour la République du Sénégal.
- [17] Dieng, N.M, 2008. L'impact du maraichage dans la dégradation des ressources naturelles dans les niayes de la bordure du lac Tanma ([https://www.memoireonline.com/08/10/3840/m\\_Limpact-du-maraichage-dans-la-degradation-des-ressources-naturelles-dans-les-niayes-de-la-bordur13.html](https://www.memoireonline.com/08/10/3840/m_Limpact-du-maraichage-dans-la-degradation-des-ressources-naturelles-dans-les-niayes-de-la-bordur13.html)).
- [18] Diop, L., Bodian, A., and Diallo, D., 2016. Spatiotemporal Trend Analysis of the Mean Annual Rainfall in Senegal. European Scientific Journal, ESJ, 12(12), 231. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n12p231>

- [19] Edwards, D.C. and McKee, T.B., 1997. Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Times Scales. Atmospheric Science Paper, 634, 1-30.
- [20] GIZ, 2017. Guide de référence sur la vulnérabilité. Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées
- [21] GKW Consult, 2009. Projet Eau à Long Terme - Etudes Hydrogéologiques Complémentaires : Lot 1 : Étude des aquifères de Dakar et du littoral nord pour le renforcement en eau potable de la ville de Dakar et environs.
- [22] Le Lay, M., 2006. Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro-climatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique à méso-échelle au Bénin. Thèse de Doctorat, INPG (Grenoble).
- [23] Madioune, D.H., Faye, S., Orban, P., Brouyère, S. et Dassargues, A., Mudry, J., Stumpp, C., Maloszewski, P., 2014. Application of isotopic tracers as a tool for understanding hydrodynamic behavior of the highly exploited Diass aquifer system (Senegal). Journal of hydrology, Vol. 511, 443-459.
- [24] Madioune, D.H., Diaw, M., Mall, I., Orban, P., Faye, S., Dassargues, A., 2020. Hydrogeological Characterization and Hydrodynamic Behaviour of the Overexploited Diass Aquifer System (Senegal) Inferred from Long Term Groundwater Level Monitoring. American Journal of Water Resources, Vol. 8, No. 3, 104-117.
- [25] Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRES), 2018. Études d'élaboration du plan de gestion des ressources en eau des Sous-UGP de la Somone et du Car-Car.
- [26] Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRES), 2018. Table ronde de réflexion sur la collaboration transfrontalière autour du Bassin Sédimentaire Sénégal-Mauritanien (BSSM).
- [27] Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan, 2018. Plan Sénégal Emergent - Plan d'actions prioritaires 2019-2023.
- [28] Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Direction de l'Environnement et des Etablissements Classes (DEEC), 2015. Étude bathymétrique de la lagune de Somone - Projet de Gestion Intégrée des Zones Côtières (PGIZC)
- [29] Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRES), 2014. Étude du Plan de Gestion des Ressources en Eau de la Sous UGP Niayes. Rapport provisoire.
- [30] Mudry, J. et Travi, Y., 2020. Sécheresse sahélienne et action anthropique : Deux facteurs conjugués de dégradation des ressources en eau de l'Afrique de l'Ouest -Exemple du Sénégal. Presses Universitaires de Bordeaux.
- [31] Ndiaye P.M., 2021. Evaluation, calibration et analyse des tendances actuelles et futures de l'évapotranspiration de référence dans le bassin du fleuve Sénégal. Thèse de Doctorat Unique, Université Gaston Berger de Saint Louis.
- [32] Ndiaye, P., 1990. Evolution récente du couvert végétal de la forêt de Pout (Sénégal) in « La dégradation des paysages en Afrique de l'ouest », J.F. Richard.
- [33] Parry, M.L., Canziani, O., Palutikof, J.P., van der Linden, P., Hanson, C.E., 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental panel on climate change, 8th Session of Working Group II of the IPCC.
- [34] Pereira-Barreto, S. et Dauteloup J., 1961. Etudes pédologiques des abords N.E. du lac Tanma (en vue de l'implantation d'un village pionnier), ORSTOM.

- [35] Sarr, B., 2000. Contribution à l'étude hydrogéologique des aquifères de l'ouest du bassin du Sénégal. Thesis doctoral, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [36] Yade, M., Sagna, P., and Sambou, P., 2012. Migrations de l'Equateur Météorologique et précipitations au Sénégal en 2008 et 2009. 25ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Grenoble 2012.

## 9 ANNEXE

### Listes des usagers rencontrés dans le cadre de l'activité 1 'Etat de lieux'

Secteur	Acteur / Entité	Nom/Leader	Position	Date(s) de visite
Maraichers	Association de maraichers de Pout	M. Moussa COULIBALY	Président de l'association	12/dec/2020 17/fev/2021
	Association de maraichers de Keur Moussa/Diender	M. Daour GUEYE	Président de l'association	15/dec/2020 02/mars/2021
	Maraichers bassin de rétention Mont Rolland	M. Babacar CISS	Maraicher individuel	15/dec/2020 17/fev/2021
	Maraichers bassin de rétention Sambay Karang	M. Seydou Faye	Maraicher individuel	17/fev/2021
	Fédération de Agropasteurs de Diender	M. Matar Ndoye	Président Fédération des agropasteurs de Diender	17/fev/2021
Agro-Business	Quality Fruit Senegal (QFS)	Brecht van Moullen	Directeur Technique	25/fev/2021
		M. Souleymane BASSOUM	Directeur Général	18/mars/2021 28/avr/2021
		M. Matar Gueye	Responsable d'agro-business	25/mars./2021
Communes	Commune de Pout	M. Thierno NDIAYE	Conseiller municipal	12/dec/2020
		M. Gora MBAYE	Conseiller municipal	17/fev/2021
	Commune de Diender	M. Ndiaw Mar	Commission Domaniale	17/fev/2021
		M. Bamba Diouf	Agent municipal	
	Commune de Mont Rolland	M. Yves Iamine CISS	Maire	17/fev/2021
		M. Basile Bernard CISSE	Plateforme Locale de l'eau	
	Commune de Keur Moussa	Mme Fatou NDIAYE	1 <sup>ère</sup> adjointe au maire	02/mars/2021
		M. Ibrahima CISS	Conseiller municipal	
		M. Matar GUEYE	1 <sup>ère</sup> adjointe au maire	
		Mme Fatou POUYE	Conseillère municipale	
Industriels	Dangote	M. Laity NDIAYE	Chef du département des mines	15/fev/2021 25/mars/2021 28/avr/2021
		M. Alioune Saer NDIAYE	Responsable environnement	15/fev/2021
	AIBD	M. Ibrahima Wane	Responsable environnement	25/mars/2021
Institutionnel	Direction bassin de rétention	Momar Dieng Maïssa Goudiaby		15/fev/2021
	Division Régionale de l'Hydraulique (DRH) de Thiès	M. Souleymane BODIANG	Chef de la division régionale	18/fev/2021
	Division régionale de l'Environnement et des Etablissements Classés (DREEC) de Thiès	M. Idy NIANG	Chef de la division régionale	18/fev/2021
	Direction de la Horticulture	Mme. Ndeyma Fall Dramé	Ingénieur des travaux	30/avr./2021
	Inspection Régionale des Eaux et Forêts (IREF) de Thiès	M. Youssoupha DIOUF	Inspecteur régional	18/fev/2021

