

# Impacts du changement climatique sur les ressources en eau du Lac de Guiers au Sénégal.

Djiby SAMBOU<sup>1</sup>, Aïdara C. A. Lamine FALL<sup>2</sup>

Tidiane SANE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Assane Seck de Ziguinchor – DFOAD, BP 523 Ziguinchor, Sénégal – [dsambou@univ-zig.sn](mailto:dsambou@univ-zig.sn)

<sup>2</sup>Université Assane Seck de Ziguinchor – Département de Géographie, BP 523 Ziguinchor, Sénégal - [cherif.fall@univ-zig.sn](mailto:cherif.fall@univ-zig.sn)

<sup>2</sup>Université Assane Seck de Ziguinchor – Département de Géographie, BP 523 Ziguinchor, Sénégal - [tsane@univ-zig.sn](mailto:tsane@univ-zig.sn)

*Le Lac de Guiers est la source principale d'approvisionnement en eau potable au Sénégal. Aujourd'hui, face au risque climatique, facteur de vulnérabilité des systèmes humains et naturels, il est nécessaire de produire des outils d'analyse pertinents pour une meilleure gestion et planification des ressources en eau du réservoir. Ainsi, cette étude vise à évaluer la disponibilité et la demande en eau selon les scénarios de changements climatiques (RCP 4.5 et RCP 8.5) et d'accroissement démographique. Le modèle d'évaluation de l'eau et du système de planification (WEAP) a été appliqué. Les résultats montrent une hausse de 1,2°C des températures et de +6,1 mm/an des précipitations durant la période 1988-2011. Les projections confirment ces tendances avec des précipitations variant entre 5% et 48% jusqu'au milieu du siècle. Cependant, vers la fin du siècle une baisse drastique des précipitations dans tous les scénarios a été observée. En termes de disponibilité, le volume d'eau contenu dans le lac est aujourd'hui en mesure de supporter tous les projets en cours (irrigation, renforcement du système d'adduction en eau potable et la remise en eau de la cuvette du Ndiael. Mais, cette pression sur le lac conduira davantage à une farouche compétition entre les usagers et exacerbera les conflits entre eux. Les scénarios de baisse des flux d'entrées provenant du fleuve Sénégal dans le lac vont aggraver cette situation. Les scénarios d'arrêt des entrées permettent d'estimer l'épuisement total de la ressource dans le réservoir au bout de 19 mois dans le scénario RCP8.5 et de 20 mois dans le scénario RCP4.5.*

*Mots-clefs : Changement climatique, Ressources en eau, Lac de Guiers, Impact, Sénégal.*

## *Impact of climate change on water resources in Lake Guiers*

*During the last three decades, increasing population, changing patterns of water demand, and concentration of population and economic activities in urban areas has pressurize Senegal's freshwater resources. To overcome this deficit, Senegal turned to the exploitation of Lake Guiers. It is the sole water reservoir in the country and its water is use for irrigating crops and sugar refinery, as well as a drinking water resource for urban centres. To address the challenges that climate change and population growth poses in Lake Guiers water resources, it is necessary to consider its potential impacts on different dimensions of water resources. In this study, future water availability and demand has been modelled under scenarios of climate change and population growth until 2030, based on the representative concentration pathways (RCPs) 4.5 and 8.5 by applying the Water Evaluation And Planning System model (WEAP). The results show that the basin of Lake Guiers experiences an increase of temperature of about 1.2 °C and an elevated warning, leading to significant increase of atmospheric water demand is projected. In addition an increasing trend in precipitation (+6.1mm/year) has been observed from 1988-2011 and precipitation projections reveal in the near-future changes an increase trend ranging between 5 and 48 % in Lake Guiers watershed. The end of the century in turn experiences precipitation decrease ranging between 10 and 25 % for respectively Representatives Concentrations Pathways (RCPs) 4.5 and 8.5 scenarios. The results show also that the pressure on Lake Guiers's water resources will increase, leading to greater competition between agriculture and municipal demand site. Decreasing inflow due to climate change will aggravate this situation. The water supplied by the reservoir will not suffice for more than twenty months in RCP 4.5 scenario and nineteen months in RCP 8.5.*

*Key words: Climate change, Water resources, Lake Guiers, Impact, Senegal*

## I INTRODUCTION

Satisfaire différents besoins en eau nécessite souvent l'exploitation de plans d'eau naturels (lacs, mares) ou artificiels (retenues de barrages) [Brunel et Bouron, 1992]. Lors des dernières décennies, la majorité des rivières de la planète ont été massivement aménagées pour répondre aux différents usages de la ressource en eau, entraînant des conséquences parfois dramatiques pour les écosystèmes aquatiques [Rebillard, 2006]. Dans le sahel, à partir des années 80, dans un contexte de péjoration climatique et d'insécurité alimentaire, l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) a entrepris un vaste programme

d'aménagements hydro-agricoles dans le delta et la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Il en résulte la construction et la mise en service sur le fleuve Sénégal des barrages de Diama en 1986 et de Manatali en 1987.

Au Sénégal, suite à la construction de ces barrages et en application de la politique de maîtrise et de gestion des ressources en eau, les autorités étatiques initient la mise en valeur des ressources en eau du Lac de Guiers, principal réservoir d'eau douce du Sénégal, avec comme objectif principal d'accroître les surfaces emblavées pour l'agriculture irriguée et l'approvisionnement en eau potable des agglomérations urbaines en pleine croissance démographique.

Aujourd'hui, face au risque climatique, la question de l'avenir du Lac de Guiers devient vitale. Répondre à cette problématique revient à analyser les impacts potentiels du changement climatique et de l'accroissement démographique sur les différentes dimensions des ressources en eau [Carter, 2009]. Cette analyse devrait permettre de disposer d'outils nécessaires qui permettront d'améliorer les mesures de gestion mises en place dans le but d'atteindre les objectifs d'adaptation au changement climatique dans le bassin du Lac de Guiers. Ainsi, cette étude vise à analyser les tendances climatiques récentes et futures dans le bassin du Lac de Guiers et à évaluer la disponibilité et la demande en eau selon les scénarios de changement climatique et d'accroissement démographique jusqu'en 2030.

Le Lac de Guiers est situé au nord du Sénégal entre 14°09' latitude Nord et 16°08' longitude Ouest et en aval du bassin hydrologique du Ferlo qui s'étend sur 45 119 km<sup>2</sup> [Sambou, 2017] (Fig. 1). Il est alimenté en permanence par le fleuve Sénégal via le canal Taoué à partir de Richard Toll. La longueur du lac est estimée à 50 km et la largeur maximale à 7,75 km [Cogels, 2001]. Sa profondeur maximale est de 4 m. La superficie du lac est estimée à 273,8 km<sup>2</sup> [Sambou, 2017]. Il est ceinturé au nord, au sud et à l'ouest par des digues et/ou de ponts-barrages qui régulent les flux d'écoulement. Au nord, le pont barrage de Richard Toll régule les flux fluviaux entrant dans le lac via le canal Taoué. Au nord-ouest, le chenal YettyYone, long de 28 km, connecte le lac à la cuvette du Ndiel considérée par ailleurs comme zone humide d'importance internationale par la convention de Ramsar. Au sud du lac, la digue de Keur Momar Sarr régule les flux d'écoulement vers le bas Ferlo.

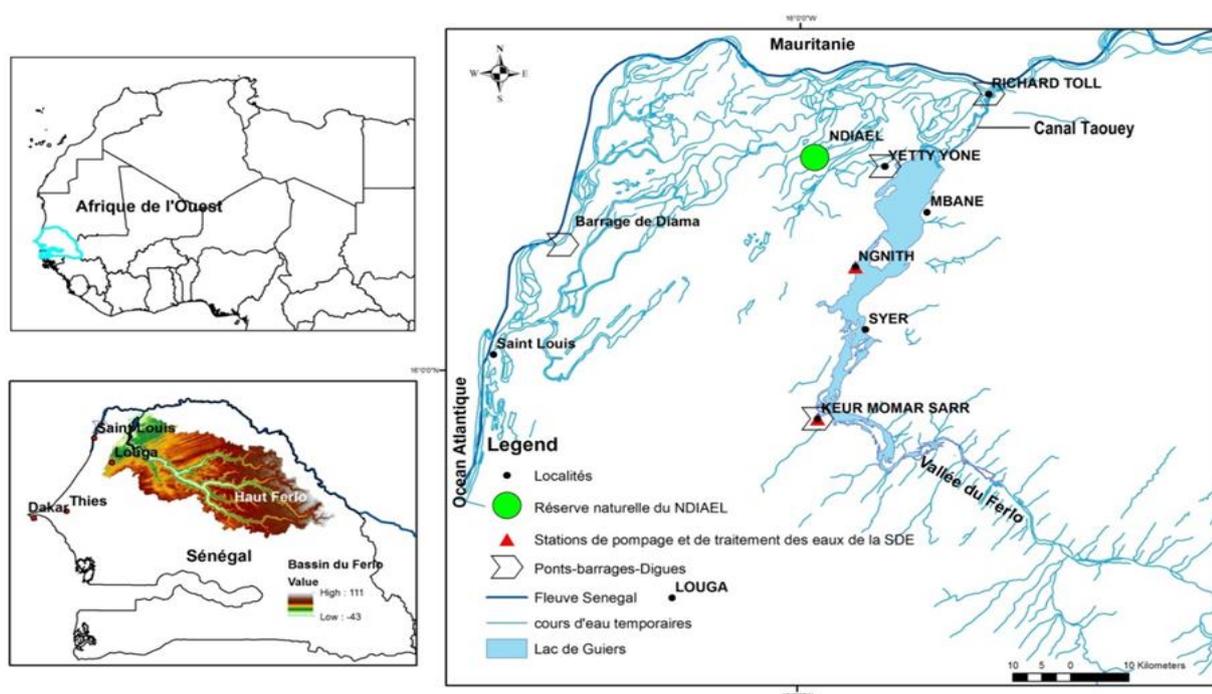


Figure 1: Zone d'étude : le Lac de Guiers et son bassin hydrologique, appelé aussi le bassin du Ferlo ainsi que les différentes structures hydrauliques de régulation de l'eau et les stations de pompage et de traitement des eaux de la Sénégalaise des Eaux (SDE).

## II MATERIEL ET METHODES

### II.1 Analyse des tendances climatiques récentes et futures dans le bassin du Lac de Guiers

Dans cette étude, l'accent est mis d'abord sur la détection d'indices climatiques extrêmes qui témoignent de la variabilité du climat à l'échelle du bassin du Lac de Guiers. Vingt-cinq (25) indices extrêmes ont été calculés avec le logiciel RClimDex [Zhang *et al.*, 2004] sur la base des observations quotidiennes de températures maximales et minimales ainsi que des précipitations journalières en utilisant une approche recommandée par l'équipe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI). Ces tendances ont été calculées pour 8 stations situées autour du Lac de Guiers entre 1988 et 2012. Un test non paramétrique a été effectué pour rechercher la présence d'une tendance à long terme dans les données. Pour accepter cette tendance, nous avons évalué la probabilité p-valeur, qui exprime la force de la preuve pour ou contre cette hypothèse (la tendance est acceptée avec une p-valeur  $< 0,05$  en considérant un niveau de confiance de 95%).

Concernant les projections climatiques à l'échelle du bassin versant, nous avons analysé les scénarios d'influence anthropique, Représentatifs d'évolution de Concentration (RCP), relatifs à l'évolution de la concentration en gaz à effet de serre, établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans son cinquième rapport (AR5) [GIEC, 2014]. Ces scénarios ont été simulés en utilisant les données corrigées de CORDEX pour l'Afrique (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) qui comprennent des données de précipitation et d'évaporation potentielle. Toutefois, dans cette étude, ont été considérés le profil RCP 8.5 (trajectoire croissante) qui suppose une approche de type "business as usual" et le profil RCP 4.5 (trajectoire stabilisation sans dépassement) qui suppose des émissions de CO<sub>2</sub> qui repassent sous les niveaux actuels en 2070.

### II.2 Évaluation de la disponibilité et la demande en eau du Lac de Guiers

Les simulations ont été appliquées pour le secteur des ménages, des communes et des agro-industries pour l'horizon 2030 des besoins en eau de ces secteurs qui dépendent du Lac de Guiers. L'année de base retenue est 2005, et le calibrage du modèle WEAP [Yates *et al.*, 2005], avec les données de cette année-là, nous a permis de reproduire exactement la situation au cours de cette année. La Figure 1 montre la structure des scénarios créés dans WEAP. Le premier scénario testé est un scénario de changement climatique. Les profils RCP 4.5 et le RCP 8.5 ont été choisis. Le deuxième scénario est un scénario de croissance économique dans la zone du Lac de Guiers avec le développement des entreprises agro-industrielles dont on suppose que les superficies totales cultivées vont doubler en 2030. À cela, s'ajoute le scénario de croissance démographique de la région de Dakar, qui est desservie en eau potable à 60% par le Lac de Guiers ; ce qui entraînera une hausse significative des prélèvements. Néanmoins, il convient de noter que des projets sont en cours de réalisation tels que le renforcement des capacités de l'usine d'approvisionnement en eau potable de Keur Momar Sarr pour résorber les déficits à Dakar et alimenter d'autres villes en pleine croissance démographique. Le troisième scénario a été créé pour tester la réponse du réservoir en cas d'arrêt du remplissage par les eaux fluviales. En combien de temps le réservoir pourrait-il satisfaire les différents usages sans les apports du fleuve Sénégal ?

Figure 2 : Structure des scénarios créés dans WEAP

Situation actuelle (2005)	
Période de Simulation (2006-2030)	
1	scenarior de changement climatique RCP8.5 ou RCP4.5
Changement de ETnet suivant les changements dans les scenarior RCP8.5 ou RCP4.5	
2	Scénarior de Croissance suivant les scenarior de changement climatique RCP 4.5 ou RCP 8.5
Et <sub>net</sub>	Accroissement démographique
	Implementation des projets

<b>3</b>	<b>Offre en eau à partir du reservoir, Lac de Guiers</b>		
<b>ETnet</b>	<b>Accroissement démographique</b>	<b>Implementation des projets</b>	<b>Arrêt des entrées venant du canal Taoué</b>

### III RESULTATS ET DISCUSSION

#### III.1 Les tendances climatiques récentes et futures dans le bassin du Lac de Guiers

##### III.1.1 Températures

Les résultats montrent que des changements climatiques importants sont visibles dans le bassin. Les tendances calculées sur les séries des températures maximales et minimales extrêmes (fig. 3), TXx et TNn, des journées ont mis en évidence l'augmentation graduelle des températures moyennes maximales (0, 03°C/an) et une tendance à la baisse des températures minimales (-0, 01°C/an).

##### III.1.2 Précipitations

Les tendances calculées sur les séries des précipitations annuelles (PRCPTOT) mettent en évidence une tendance croissante (+6,1 mm/an), particulièrement depuis les années 2000. Les tendances sont statistiquement significatives. Cependant, les projections, quant à elles, révèlent que vers le milieu du siècle (2050s) une augmentation des précipitations qui varient entre 5 et 48%. Pour le scénario RCP4.5, cette augmentation est plus marquée dans la partie septentrionale et centrale du bassin. Par ailleurs, pour le RCP8.5, on note une baisse des précipitations de l'ordre de 10% dans la région sud du bassin. Néanmoins, vers la fin du siècle (2100s), les projections (fig. 3) indiquent une baisse conséquente des précipitations dans les deux (2) scénarios. Dans le scénario RCP4.5, cette baisse est moins importante (moins de 10%) que celle observée dans le scénario RCP8.5 (plus de 25%).



Figure 3: Les tendances climatiques récentes (A= températures et B= Précipitation) et futures (C= températures et D= Précipitation) dans le bassin du Lac de Guiers

### III.2 Evaluation de la disponibilité et de la demande en eau du Lac de Guiers

#### III.2.1 Balance entre la demande et l'offre

La satisfaction de la demande en eau pour la consommation (domestique) et pour l'irrigation représente la plupart des demandes actuelles et futures. La figure 5 met en évidence la hausse en % de la demande totale en eau des différents usagers vers l'horizon 2030. Les résultats montrent que la demande en eau d'irrigation par les entreprises agro-industrielles établis autour du lac (une dizaine au total) est la plus élevée. La Compagnie Sucrière Sénégalaise (C.S.S.) arrive en tête avec une demande estimée à 175 millions de m<sup>3</sup> en 2005. Cette demande augmentera jusqu'à 25% en 2030. SENHUILE est la deuxième plus grande entreprise agro-industrielle dans la zone après la C.S.S. Avec une demande de 100 millions de m<sup>3</sup>, elle connaîtra une augmentation de sa demande en eau de l'ordre de 20% d'ici à 2030. Il en sera de même pour les autres entreprises agro-industrielles comme West Africa Farm, Senindia... Ces demandes en eau pour l'irrigation varient tout au long de l'année en fonction des saisons et des types de cultures. Elles sont plus élevées aux mois d'avril et de juin et moins élevées durant la saison des pluies (Juillet, Août, Septembre). Par ailleurs, la satisfaction des besoins en eau de consommation des villes, connaîtra également une très grande hausse. La demande en eau de la région de Dakar qui était estimée à 70 810 000 m<sup>3</sup> en 2005 connaîtra une hausse de l'ordre de 61% d'ici à 2030.

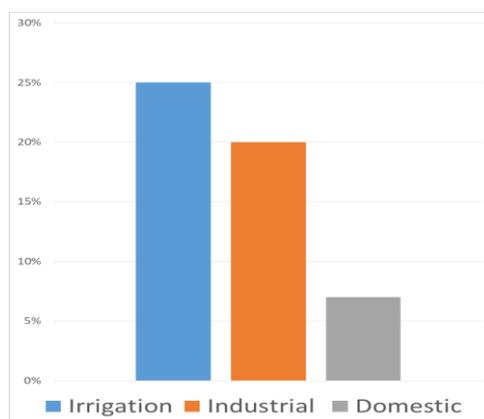


Figure 4: Hausse en % de la demande en eau des différents usagers vers l'horizon 2030

#### III.2.2 Demandes non-satisfaites

Bien que la quantité d'eau disponible dans le réservoir soit potentiellement suffisante pour satisfaire la demande, les usagers sont confrontés à des pénuries. La demande non satisfaite se trouve dans les 2 scénarios, mais les quantités varient. La figure 5 montre la demande totale non satisfaite dans le scénario RCP 8.5. Les résultats révèlent que la demande de certains sites ne sera pas satisfaite en raison de leur dépendance vis-à-vis du canal de Taoué. C'est le cas de la cuvette du Ndiael implémentée dans le WEAP par un détournement (projet de remise en eau de cette réserve naturelle).

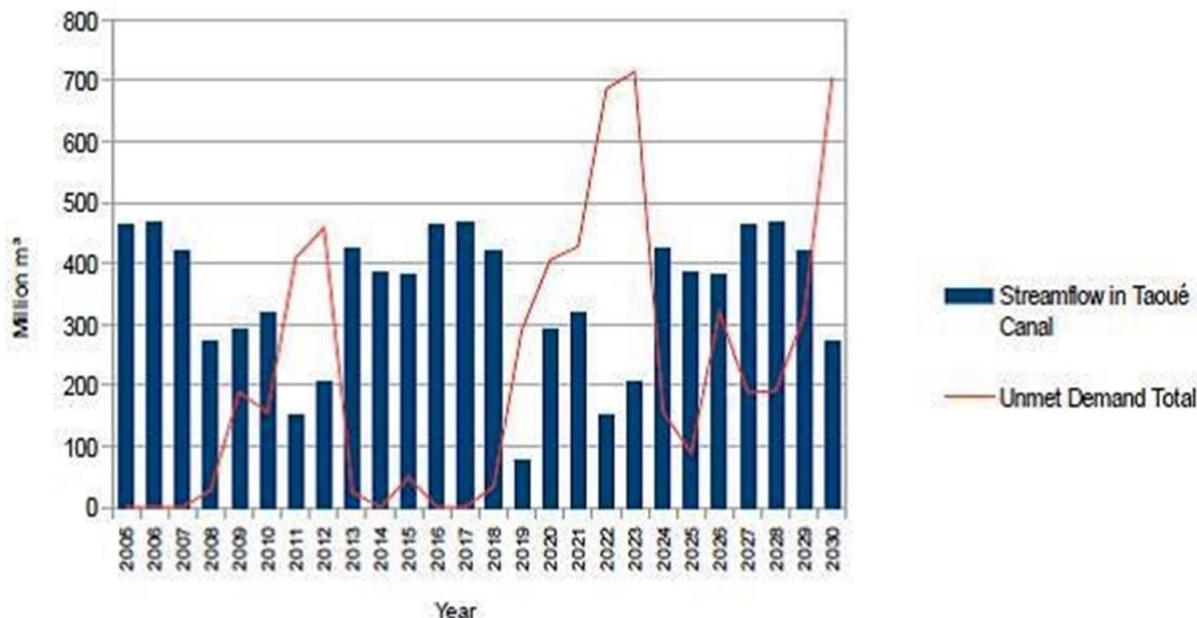


Figure 5: Flux annuels (entrées) dans le lac et la demande totale non satisfaite

### III.2.3 Réservoir

Comparée aux flux actuels, la simulation des flux entrant dans le lac via le canal Taoué montre une augmentation significative des débits (fig. 6) dans les 2 scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Cependant, on constate une légère différence en ce qui concerne la hausse entre les deux (2) scénarios.

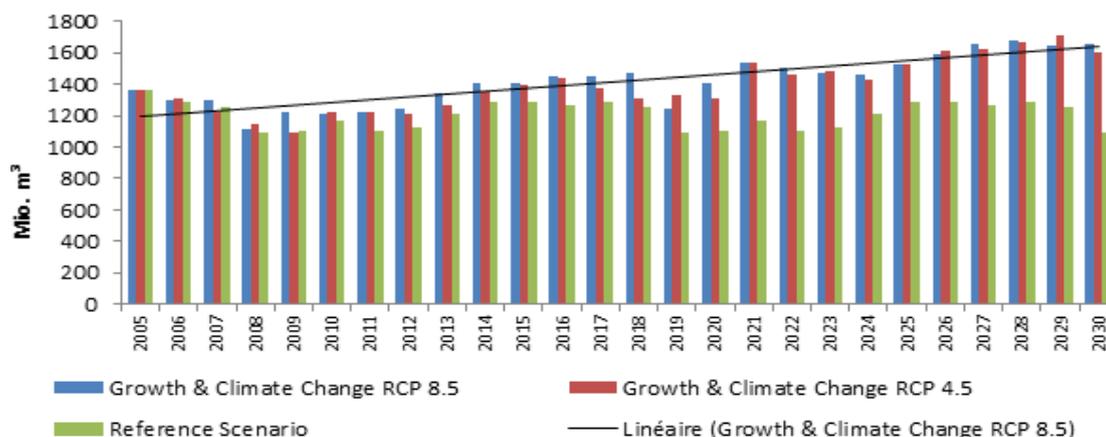


Figure 6: Flux annuels d'entrée au niveau du canal Taoué selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5

La quantité d'eau disponible dans le réservoir ( $655\,616\,099\text{ m}^3$ ) est potentiellement suffisante pour satisfaire les besoins des usagers. Par ailleurs, il a été testé dans la situation actuelle, avec la mise en œuvre de tous les projets en cours, un arrêt à partir de janvier 2015 des flux fluviaux d'entrée estimés à  $4\,177\,275\text{ m}^3/\text{jour}$ . La figure 7 montre la vitesse d'épuisement de la ressource dans le réservoir. Dans le scénario RCP4.5, le réservoir ne tiendra pas plus de vingt (20) mois et dans le scénario RCP8.5, moins dix-neuf (19) mois pour voir l'épuisement total de la ressource. Ces changements dans le volume d'eau sont dûs principalement à un taux élevé d'évaporation et de pompage pour l'irrigation et à l'approvisionnement en eau potable des centres urbains.

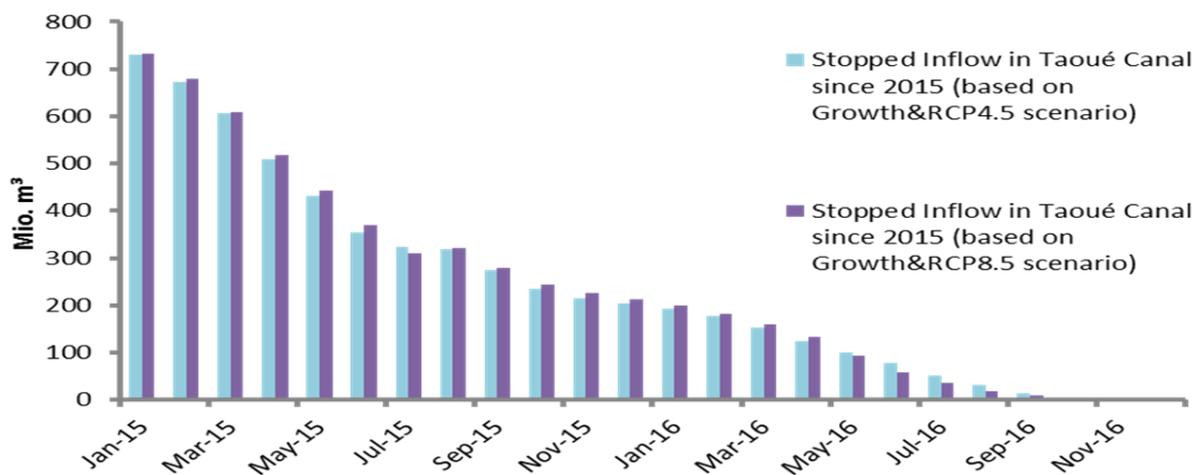


Figure 7: Vitesse d'épuisement de la ressource en eau dans le réservoir en cas d'arrêt des flux d'entrées venant du fleuve Sénégal

#### IV CONCLUSIONS

La variabilité climatique dans le bassin versant du Lac de Guiers a montré les impacts potentiellement graves de l'augmentation des températures et de la sécheresse sur les ressources en eau. Aussi, les multiples incertitudes liées à la disponibilité future des ressources hydrologiques influence grandement l'ensemble du processus d'allocation. Il est à craindre que les pénuries d'eau prévues et les phénomènes extrêmes plus fréquents, associés à une plus grande demande en eau (liée par exemple à l'irrigation agricole ou aux nouveaux projets d'approvisionnement en eau potable), aient des effets graves sur les services des écosystèmes, notamment en ce qui concerne les ressources en eau potable. Certains secteurs socioéconomiques, dont notamment les ménages, l'agriculture, sont d'ores et déjà vulnérables aux pénuries d'eau. Ces phénomènes extrêmes ont permis de comprendre, à l'échelle du bassin, combien il est nécessaire de développer des stratégies d'adaptation.

#### V REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Centre Ouest Africain de Service Scientifique sur le changement climatique et l'Utilisation Adaptée des Terres (WASCAL) pour son soutien à la réalisation de cette étude.

#### VI REFERENCES

Brunel, J., & Bouron, B. (1992). Évaporation des nappes d'eau libre en Afrique sahélienne et tropicale. ORSTOM. Retrieved from *Evaporation des nappes d'eau libre en Afrique sahélienne et tropicale*

Carter and A. Parker, 'Climate change, population trends and groundwater in Africa', Taylor Francis, 2009.

Cogels, F. X., Frabouiet-Jussia, S., & Varis, O. (2001). Multipurpose use and water quality challenges in Lac de Guiers (Senegal). *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 44(6), 35–46.

GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

Rebillard, V. (2006). Détermination et mise en place de régimes réservés pour les cours d'eau (Synthèse). Lyon : ECOLE NATIONALE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS / CEMAGREF.

Sambou D and Dieggruker B. 2017) "Assessment of Hydrologic Alteration within Ecosystem in a Sahalian Shallow Lake: Lake Guiers, Senegal," Mod. Environ. Sci. Eng., vol. 3, no. 03, pp. 184–199, Mar. 2017.

Zhang and F. Yang, 'RCLimDex (1.0)-User Manual', Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada, 10-Sep-2004.

Yates and J. Sieber, 'WEAP21 - A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model', International Water Resources Association, vol. 30, no. 4, pp. 487-500, 2005.