

# Projet GIREC® - Résumé exécutif

Signée en 2002, la Charte des eaux du fleuve Sénégal traduit la volonté des quatre États riverains du fleuve d'adopter une vision stratégique à long terme du développement du bassin. Cette vision s'articule autour du partage des ressources en eau entre tous les usages, dans le respect de l'équilibre des milieux. A ce titre, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux - SDAGE - de 2011, s'est révélé être un document de référence, sur lequel l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal - OMVS - s'appuie pour soutenir le développement des infrastructures et déterminer une politique d'allocation en adéquation avec les besoins des différents secteurs (essentiellement l'agriculture irriguée, la production hydroélectrique, l'agriculture de décrue, la pêche et la navigation).

La présente étude examine la sensibilité des différents secteurs aux changements climatiques à partir de projections hydro-climatiques et de la modélisation hydro-économique.

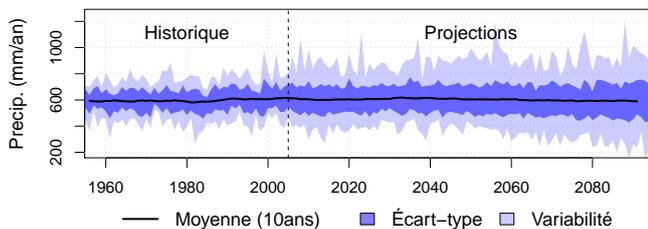
## Le bassin du fleuve Sénégal et les changements climatiques

Les tendances des deux principales variables hydro-climatiques étudiées, que sont les précipitations et l'évapotranspiration potentielle, ont été évaluées grâce aux projections climatiques issues de l'ensemble Cordex-Afrique.

- Pour les précipitations (Figure 1), les projections climatiques ne s'accordent pas sur une tendance claire, et la divergence des résultats est très importante;
- Pour l'évapotranspiration (Figure 2), les projections climatiques s'accordent sur une augmentation moyenne de 2.5% (entre 2000 et 2040) et de 6% (entre 2000 et 2100), reflet de l'augmentation des températures;

De ces résultats, nous concluons que le futur climatique du bassin du fleuve Sénégal est incertain.

### Les précipitations



### L'évapotranspiration

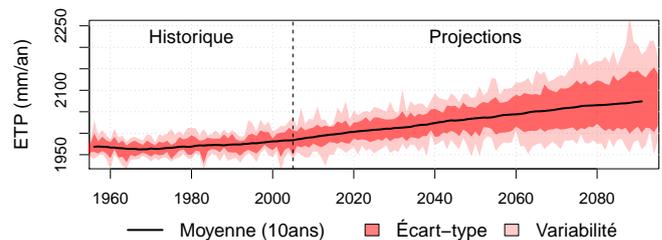


Figure 1: Évolution future des précipitations dans le bassin. Figure 2: Évolution future de l'évapotranspiration dans le bassin.

## Projections hydrologiques futures

Les projections climatiques ont été utilisées pour forcer le modèle hydrologique GR2M afin de simuler les écoulements futurs à travers tout le bassin. L'incertitude climatique se retrouve dans les projections hydrologiques (Figure 3). Elles ont donc été regroupées en cinq familles afin de faciliter la comparaison avec le régime actuel. À l'horizon 2075, en posant l'hypothèse que les projections hydrologiques sont équiprobables, il y a :

- 30% de chance le régime des écoulements diminue (18% sec, 12% très sec);
- 26% d'avoir un régime globalement inchangé (neutre);
- 44% de chance que le régime des écoulements augmente (34% humide, 10% très humide).

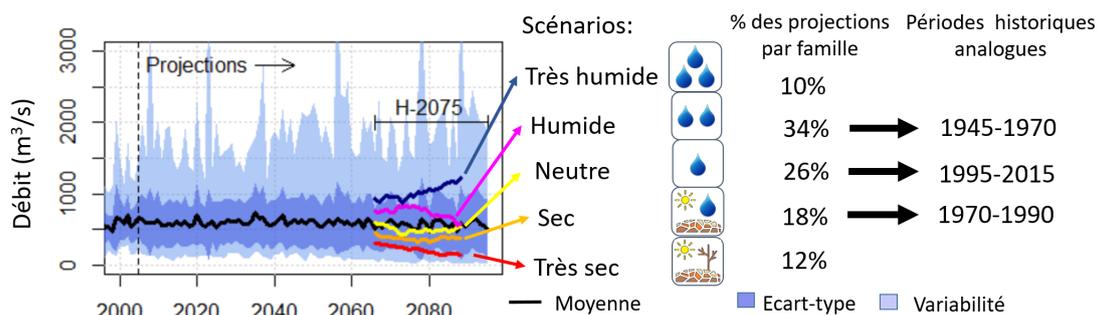
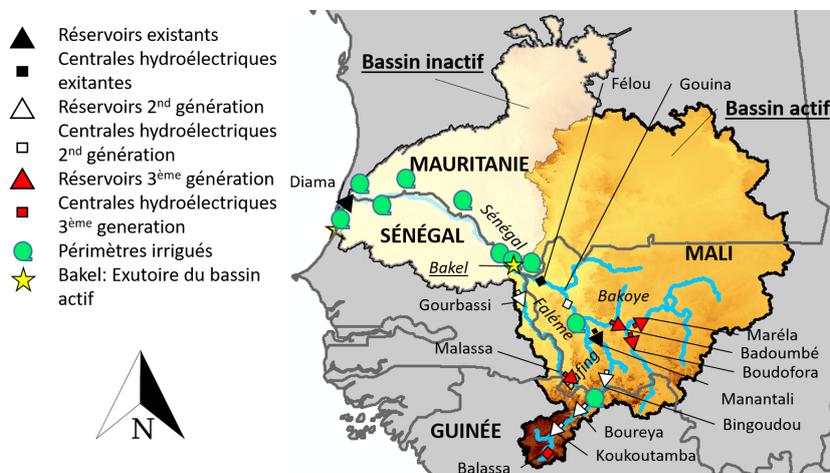


Figure 3: Évolution future des débits à Bakel (exutoire du bassin actif).

# La modélisation hydro-économique

À l'aide d'une représentation schématique du système hydrique, la modélisation hydro-économique permet d'identifier des politiques d'allocation économiquement efficaces à travers tout le bassin et, par voie de conséquence, les performances des différents secteurs d'activité (l'agriculture irriguée, l'agriculture de décrue, la pêche, la production hydroélectrique et la navigation).



## Scénarios hydro-économiques

L'impact des changements climatiques sur les secteurs d'activité a été étudié pour plusieurs scénarios hydro-économiques reflétant les incertitudes qui pèsent sur:

1. La disponibilité en eau qui dépend des conditions hydro-climatiques futures.

2. Le maintien ou non de la crue artificielle.

3. Le niveau de développement du bassin.

Pour le dernier facteur, deux niveaux de développement ont été analysés:

1. Le développement intermédiaire: extension des périmètres irrigués à 255kha et installation des centrales de seconde génération.
2. Le développement complet: extension des périmètres irrigués à 402kha et installation des centrales de troisième génération en sus des précédentes.

## Indicateurs de performance

L'optimisation des politiques d'allocation suivie de leur simulation permet d'évaluer les performances des secteurs d'activité:

### Agriculture irriguée

L'indicateur de performance est la superficie irriguée effective; c'est-à-dire le nombre d'hectares irrigués (ha) effectivement alimentés en eau par le modèle hydro-économique.

### La pêche

Les prises de pêche dans la plaine inondable sont évaluées à partir de la relation entre les prises et le volume annuel de la crue.

### La navigation

La navigation fluviale est évaluée par la probabilité de dépasser un débit minimum simulé de 100 m<sup>3</sup>/s à Richard Toll.

## PERFORMANCES

### Agriculture de décrue

L'indicateur est associée à la superficie inondée (en supposant un maximum de 50 kha) qui peut être extrapolée à partir des débits simulés à Matam.

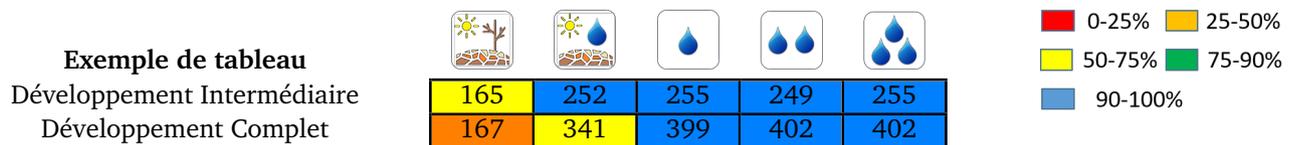
### L'hydro-électricité

Le secteur hydroélectrique est caractérisé par deux indicateurs: la production électrique annuelle moyenne et la production électrique garantie.

# Performances du système hydrique sous changements climatiques

## Comprendre les résultats

Les performances sont résumées à l'aide de tableaux à double entrée: les 5 colonnes reprennent les scénarios hydro-climatiques, du plus sec au plus humide; les 2 lignes correspondent aux deux niveaux de développement (intermédiaire ou complet). Chaque cellule du tableau reprend la performance garantie 95% du temps, tandis qu'un code couleur exprime la gamme de pourcentage par rapport à la performance maximale que le secteur peut atteindre.



Pour chaque secteur d'activité, l'examen des tableaux permet de répondre aux questions suivantes:

Le secteur est-il vulnérable aux changements climatiques?	La crue artificielle dégrade-t-elle les performances du secteur?	Le niveau de développement du bassin est-il un atout contre les changements climatiques?
Non: les couleurs restent identiques sur une même ligne 	Non: Les couleurs ne changent pas avec ou sans la crue 	Non: Les couleurs restent les mêmes sur les deux lignes 
Oui: Les couleurs changent si la crue est implémentée 	Oui: Les couleurs changent entre les deux lignes 	Oui: les couleurs varient 

## Résultats

À partir de ces questions, il est possible d'identifier les secteurs robustes, les secteurs principalement sensibles aux changements climatiques, et ceux majoritairement sensibles aux politiques d'allocation.

Usages	Sans la crue artificielle	Avec la crue artificielle
--------	---------------------------	---------------------------

### Secteurs robustes

<b>L'agriculture irriguée</b>  Unité: 10 <sup>3</sup> ha	De par son emplacement stratégique (majoritairement situé en aval), l'agriculture irriguée n'est globalement que très peu sensible aux changements climatiques et aux politiques d'allocation (sauf les années extrêmement sèches). Néanmoins, la mise en œuvre de la crue artificielle en septembre augmente la vulnérabilité de l'agriculture irriguée durant le restant de l'année. Cette vulnérabilité est exacerbée par l'augmentation des superficies irriguées et par l'ampleur de la réduction des écoulements. Ce secteur semble peu sensible aux changements qui pourraient se produire dans la répartition spatiale des précipitations																				
	<table border="1"> <tr> <td>165</td><td>252</td><td>255</td><td>249</td><td>255</td> <td>87</td><td>203</td><td>253</td><td>240</td><td>255</td> </tr> <tr> <td>167</td><td>341</td><td>399</td><td>402</td><td>402</td> <td>106</td><td>283</td><td>391</td><td>400</td><td>402</td> </tr> </table>	165	252	255	249	255	87	203	253	240	255	167	341	399	402	402	106	283	391	400	402
	165	252	255	249	255	87	203	253	240	255											
167	341	399	402	402	106	283	391	400	402												

### Secteurs principalement sensibles aux changements climatiques

<b>L'hydro-électricité</b>  Unité: GWh	En moyenne, la production hydroélectrique est peu affectée par les besoins en eau de l'agriculture irriguée. Cependant, si la crue artificielle est maintenue, les centrales situées à l'aval des trois cascades principales (Bafing, Bakoye et Falémé) voient leur production chuter lors des années sèches. Une perte importante de la production est à prévoir pour la centrale de Gourbassi (-50% en moyenne entre une période neutre et une période très sèche; -65% entre une période très humide et une période très sèche). La production hydroélectrique est forcément très sensible aux variations du régime des écoulements suite aux changements climatiques. En outre, compte tenu de la concentration des centrales sur le Bafing, la spatialisation des précipitations et son évolution dans le futur est un facteur important de vulnérabilité pour ce secteur.																				
	<table border="1"> <tr> <td>1643</td><td>2689</td><td>3006</td><td>2417</td><td>3593</td> <td>880</td><td>2050</td><td>2831</td><td>2250</td><td>3617</td> </tr> <tr> <td>2420</td><td>3458</td><td>4049</td><td>4719</td><td>5537</td> <td>1358</td><td>2688</td><td>3950</td><td>4474</td><td>5722</td> </tr> </table>	1643	2689	3006	2417	3593	880	2050	2831	2250	3617	2420	3458	4049	4719	5537	1358	2688	3950	4474	5722
	1643	2689	3006	2417	3593	880	2050	2831	2250	3617											
2420	3458	4049	4719	5537	1358	2688	3950	4474	5722												

<b>La navigation</b>	La navigation du fleuve est fortement exposée aux changements climatiques. Aussi, le fleuve peut être majoritairement navigable (période très humide), ou intégralement non-navigable (période sèche et très sèche). L'agriculture irriguée étant une activité hautement consommatrice en eau et localisée le long de la partie navigable du fleuve, un antagonisme s'instaure avec la navigation, phénomène d'autant plus présent que l'aridité est prononcée. Dans ce contexte, l'extension des périmètres irrigués (de 255kha à 402kha) aggravera les conflits d'usage entre l'agriculture irriguée et la navigation. L'implémentation de la crue artificielle incite à la vidange des barrages au mois de septembre, rendant difficile le soutien des étiages durant une partie de l'année lors des périodes sèches et très sèches notamment.										
	Nbre de mois	0	1.9	6.0	7.9	10.9	1	1	3.9	6	11
		0	0	1.9	5.6	10	1	1	1	5.0	10.9

### Secteurs principalement sensibles aux politiques d'allocation

<b>L'agriculture de décrue</b>	Le maintien de la crue artificielle pour l'agriculture de décrue relève en premier lieu d'un choix politique. Même lors d'années très sèches, les volumes d'eau stockés sont suffisants pour assurer la crue. Si la construction des nouvelles centrales n'est ni un avantage, ni un inconvénient pour le maintien de l'agriculture de décrue, cette dernière entraîne néanmoins une réduction de la production d'énergie des centrales accolées aux réservoirs situés directement en amont de la plaine inondable. Si la crue n'est pas imposée, un effet de seuil est à observer : dès lors que l'hydraulicité du fleuve est supérieure à 17.5km <sup>3</sup> d'eau écoulé annuellement à Bakel, la crue est systématique.										
	Unité: 10 <sup>3</sup> ha	0	0	0	0	50	12.0	50	50	50	50
		0	0	0	0	36.3	1.2	50	50	50	50
<b>La pêche</b>	À l'instar de l'agriculture de décrue, le maintien du dynamisme de la pêche dans la basse vallée relève en premier lieu du choix de la politique d'allocation. Les prises sont maximales lorsque la crue est maintenue. Par conséquent, les changements climatiques peuvent être considérés comme une source minime de vulnérabilité. Certes, la construction de nouveaux barrages permet de constituer de nouveau stock d'eau qui peuvent être exploités pour la pêche, mais le potentiel reste relativement faible au regard des prises dans la vallée. Le développement du bassin n'a donc que peu d'influence sur les prises de pêche.										
	Unité: kTon	7.8	7.8	8.0	7.9	22.2	12.8	21.5	21.5	21.4	22.8
		8.9	8.3	8.8	9.4	20.5	11.6	21.4	22.1	22.4	24.1

## Prospectives et gestion du bassin

- Les usages modernes (énergie, irrigation, transport fluvial) sont vulnérables aux changements climatiques.
- Dans un contexte de développement du bassin, les usages traditionnels (agriculture de décrue, pêche) sont affectés en priorité par la décision de maintenir ou non une crue artificielle plutôt que par les changements climatiques.
- Les résultats indiquent qu'en 2020 le bassin est à la croisée des chemins:
  - Soit le bassin se transforme en un hub énergie-agriculture-transport;
  - Soit un équilibre est trouvé entre les usages modernes et les usages traditionnels.
- En effet, la régularisation des affluents encore naturels (Falémé et Bakoye) peut définitivement sceller le sort du bassin en le destinant à devenir ce hub énergie-agriculture-transport. Le coût d'opportunité, c'est-à-dire les bénéfices perdus dans les secteurs économiques associés aux usages modernes, engendré par une crue artificielle va rapidement devenir significatif, en particulier si les conditions hydrologiques se dégradent avec les changements climatiques (probabilité de 30%).
- Le développement du potentiel hydroélectrique devrait se faire en priorité sur le Bafing en amont de Manantali de manière à
  - minimiser le coût d'opportunité de la crue artificielle pour le secteur énergétique.
  - maintenir les usages traditionnels peu sensibles aux changements climatiques, tout en gardant ouvertes les options de développements ultérieurs et de gestion. Cette stratégie offre en outre l'opportunité d'adapter les équipements du bassin (barrages et surface des périmètres irrigués) aux changements hydro-climatiques au fur et à mesure que l'incertitude concernant la direction de ces changements s'estompera.