



Atelier scientifique et lancement de l'initiative Casamance : un réseau scientifique au service du développement en Casamance
Hôtel KADIANDOUAGNE,
Ziguinchor, Sénégal, 15-17 juin 2015

IMPACTS POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCE EN EAU DE LA CASAMANCE A PARTIR DES SCENARIOS DU CMIP5

Ansoumana BODIAN

Laboratoire Leidi, Université Gaston Berger de Saint Louis

Maurizio BACCI

IBIMET, CNR

Mbaye DIOP

Institut Sénégalaise de Recherches Agricoles (ISRA)

Plan de l'exposé

I. Contexte & Objectif

II. Outils & données

III. Méthodes & résultats

IV. Conclusions & Perspectives

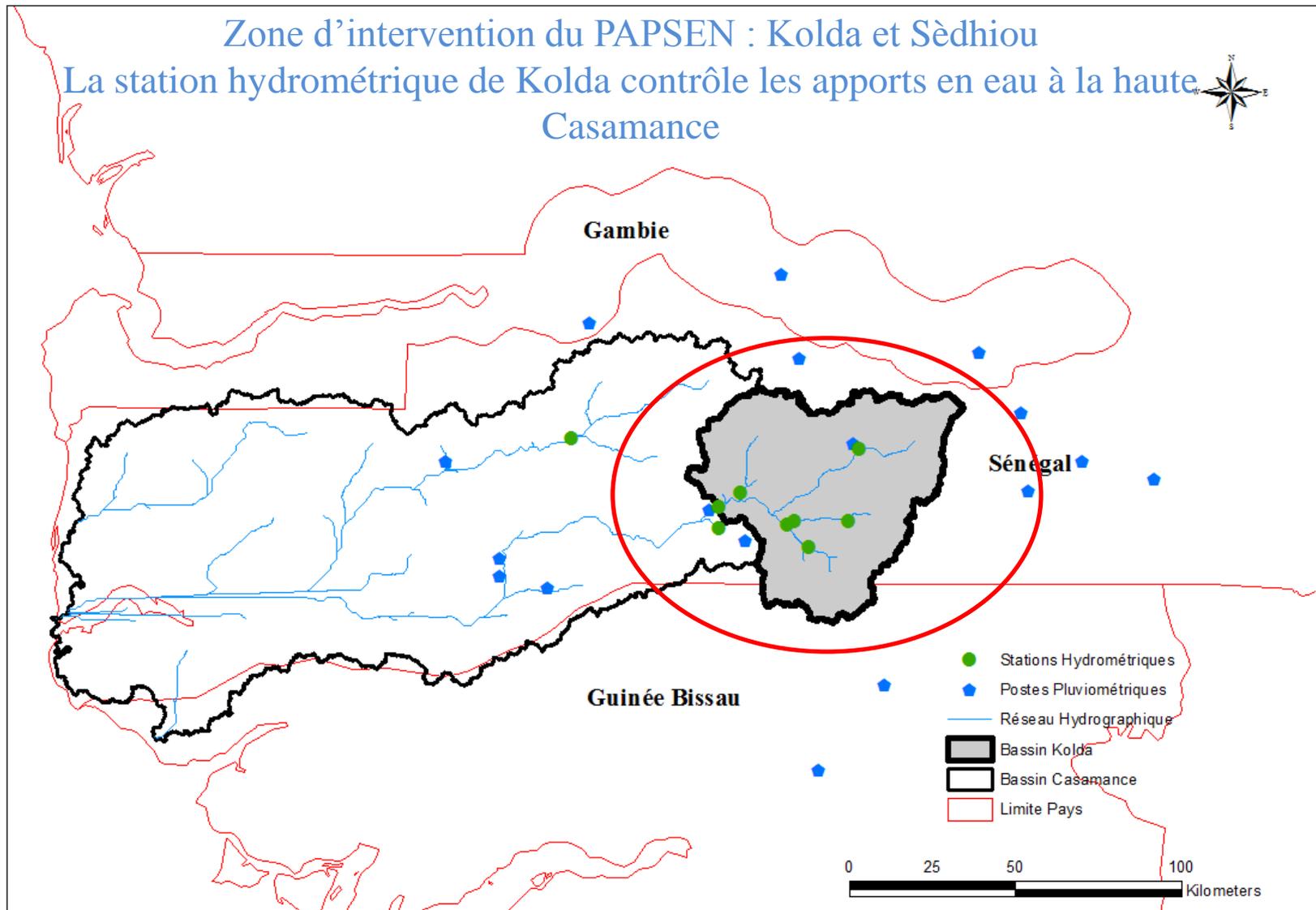
Contexte de l'étude

Dans le cadre des activités du PAPSEN, il est prévu de faire l'état des lieux des ressources en eau du bassin de la Casamance et d'évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur le cycle de l'eau

Objectifs de l'étude

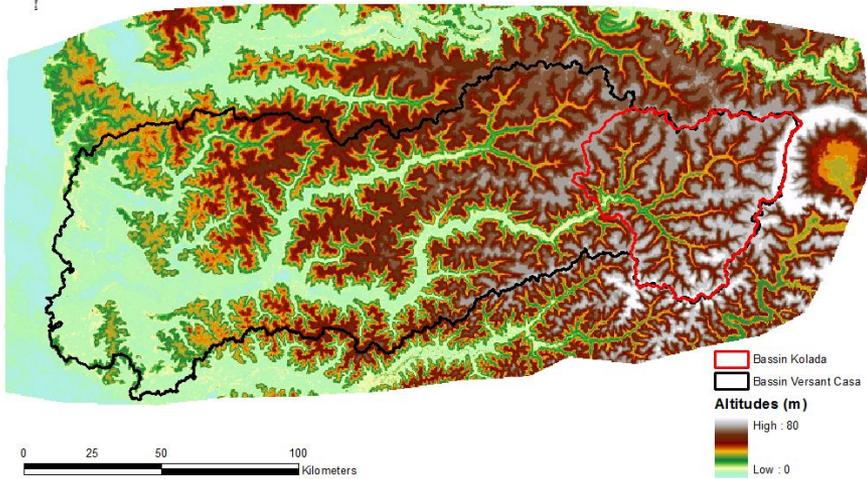
Evaluer les impacts potentiels du changement climatique sur l'évolution des ressources en eau du Bassin de la Casamance à partir des scénarios du CMIP5

Zone d'étude



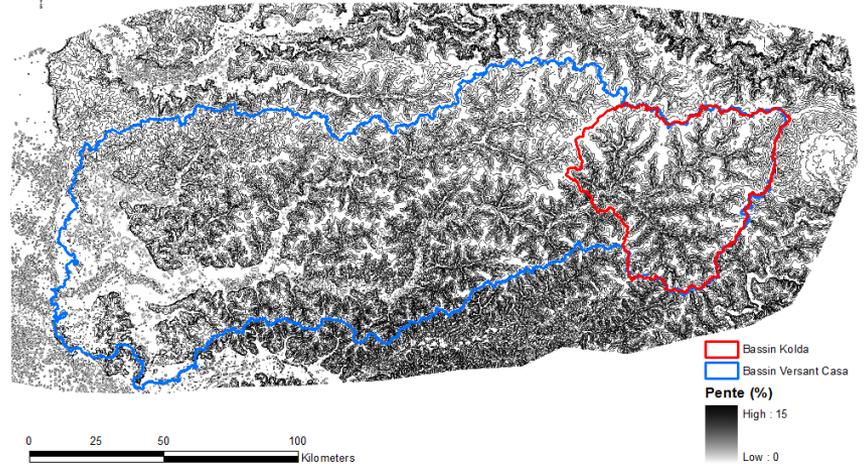
Situation du bassin versant de la Casamance

Zone d'étude



Bassin de la Casamance à Kolda :

- Surface: 3653 Km²
- Altitudes: 10 à 80 m
- Pentes comprises entre 0 et 15 %



MNT du bassin de la Casamance (Source : SRTM 90m)

- Faiblesse des pentes
- Baisse des écoulements de la partie continental du bassin
- Forte intrusion marine et salinisation des terres agricoles

Distribution des pentes (Source : SRTM 90m)

Outil : Modèle GR2M

GR2M- Global

Modèle conceptuel-Pas de temps mensuel

GR2M largement utilisé en contexte africain (Paturel et al., 1995; Ouedraogo et al., 1998; Ardoin-Bardin, 2004; Mahé et al., 2005; Bodian et al., 2012 et 2015) .

• Deux paramètres:

-**X1** (fonction de production)

-**X2** (fonction de transfert)

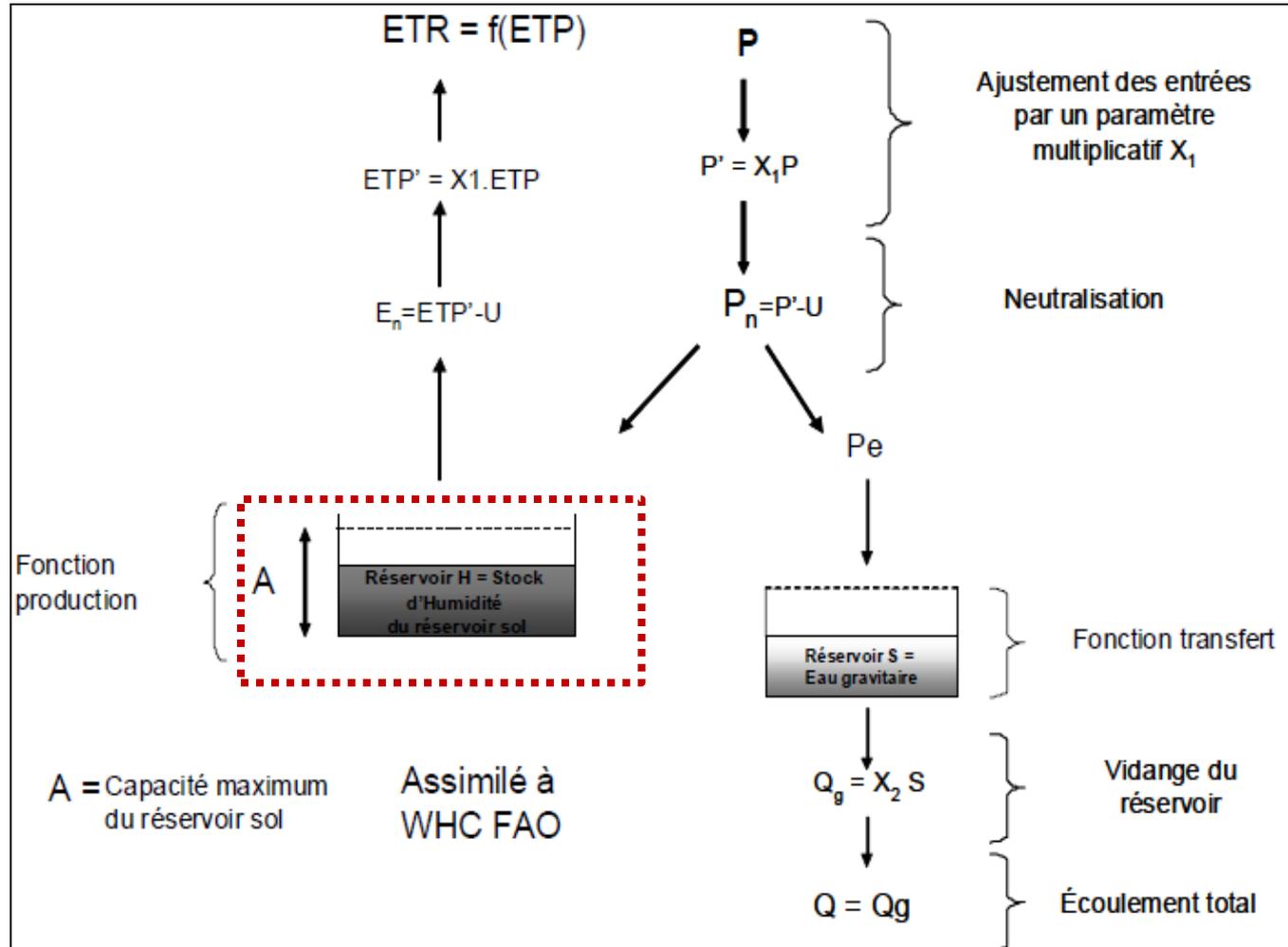


Schéma conceptuel du modèle GR2M (Dezetter et al., 2010) 7

Présentation des données

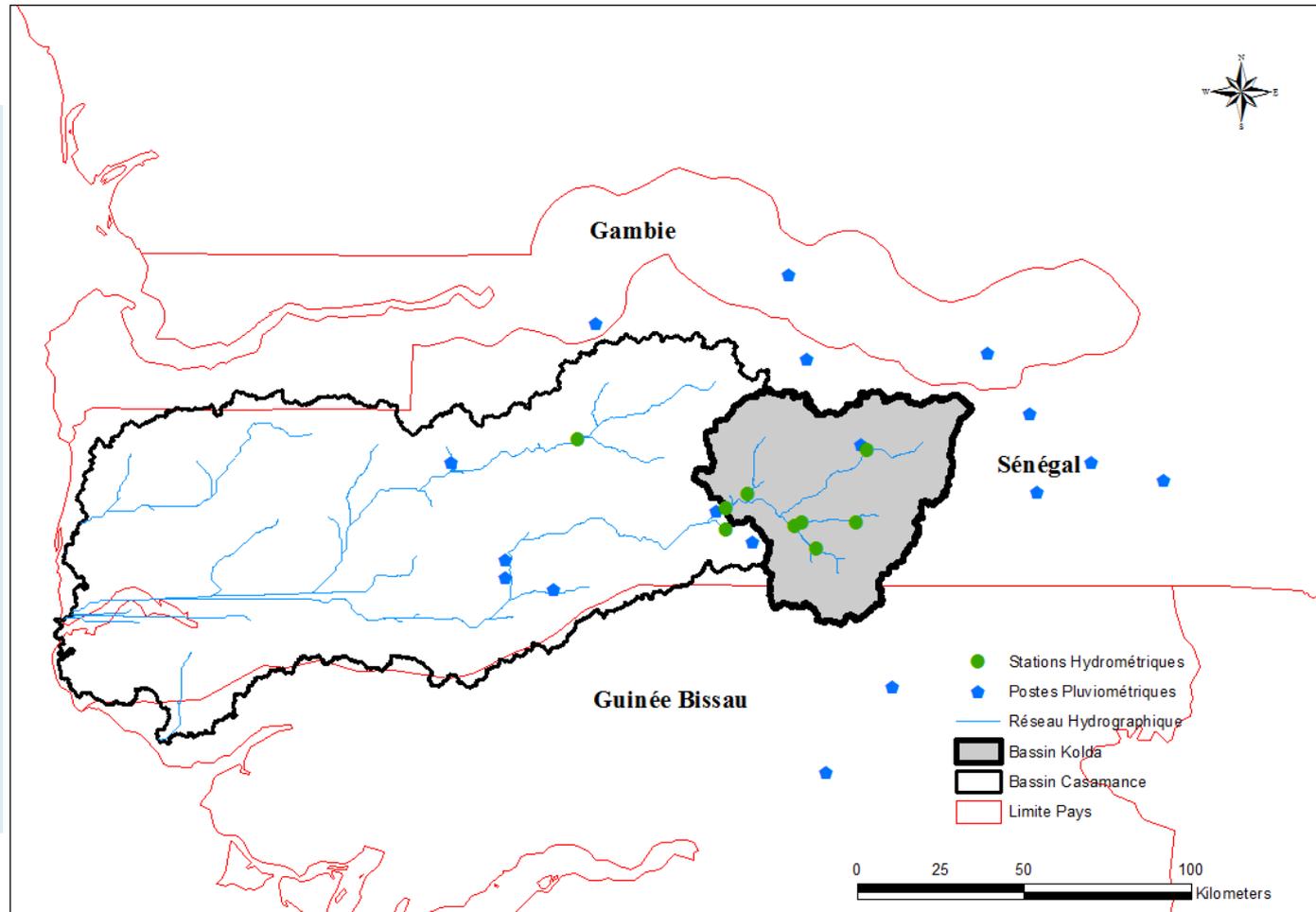
GR2M: données nécessaires

- les données de précipitation
- les données d'Evapotranspiration (ETP)
- les données hydrométriques

Données climatiques (pluie et ETP)

Données climatiques observées

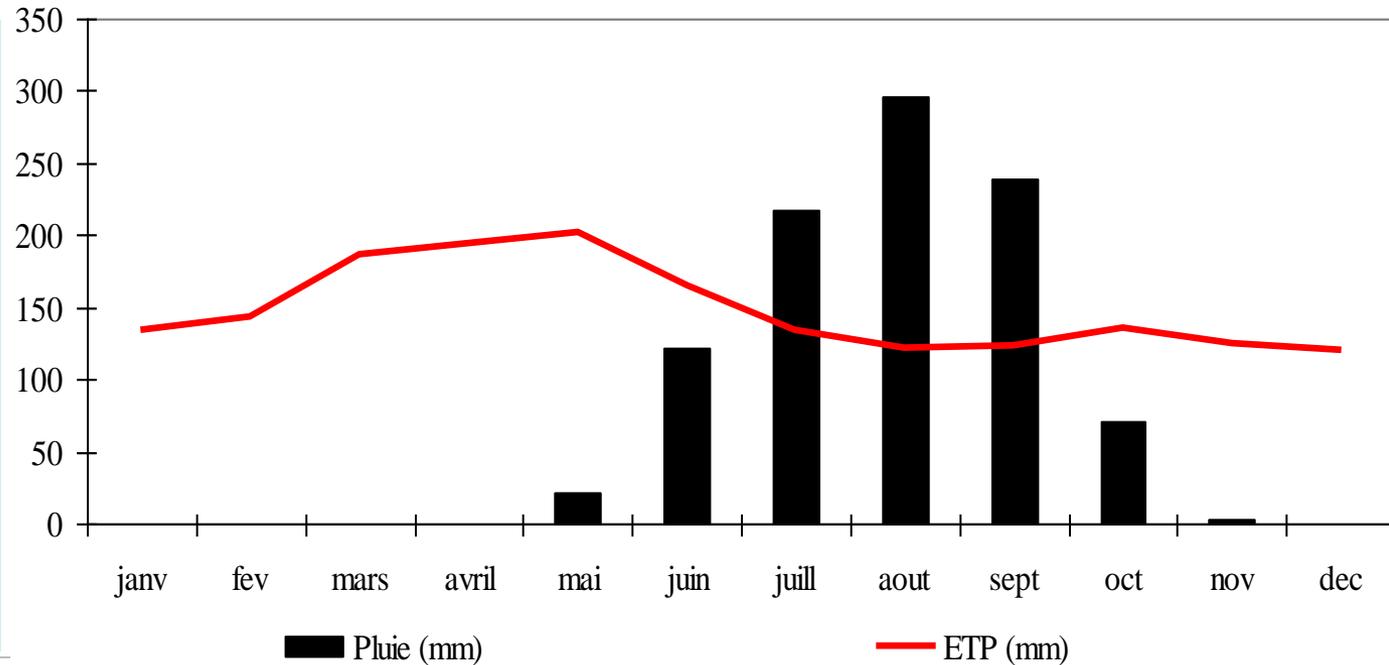
- 17 stations pluviométriques utilisées
- Elles couvrent la période 1964-2007
- ETP calculé selon la formule de Penman (1948) à partir des paramètres climatiques de la station synoptique de Kolda.



Données climatiques (pluie et ETP)

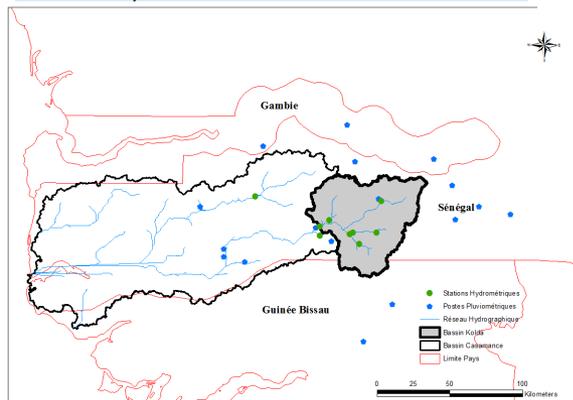
Données climatiques observées

- Calcule de la pluie moyenne du bassin par la méthode du Krigeage (Baillargeon, 2005)
- 5 mois pluvieux avec le maximum en aout
- Maximum de l'ETP en mars, avril et mai



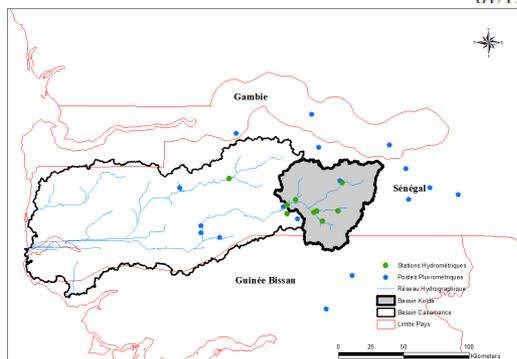
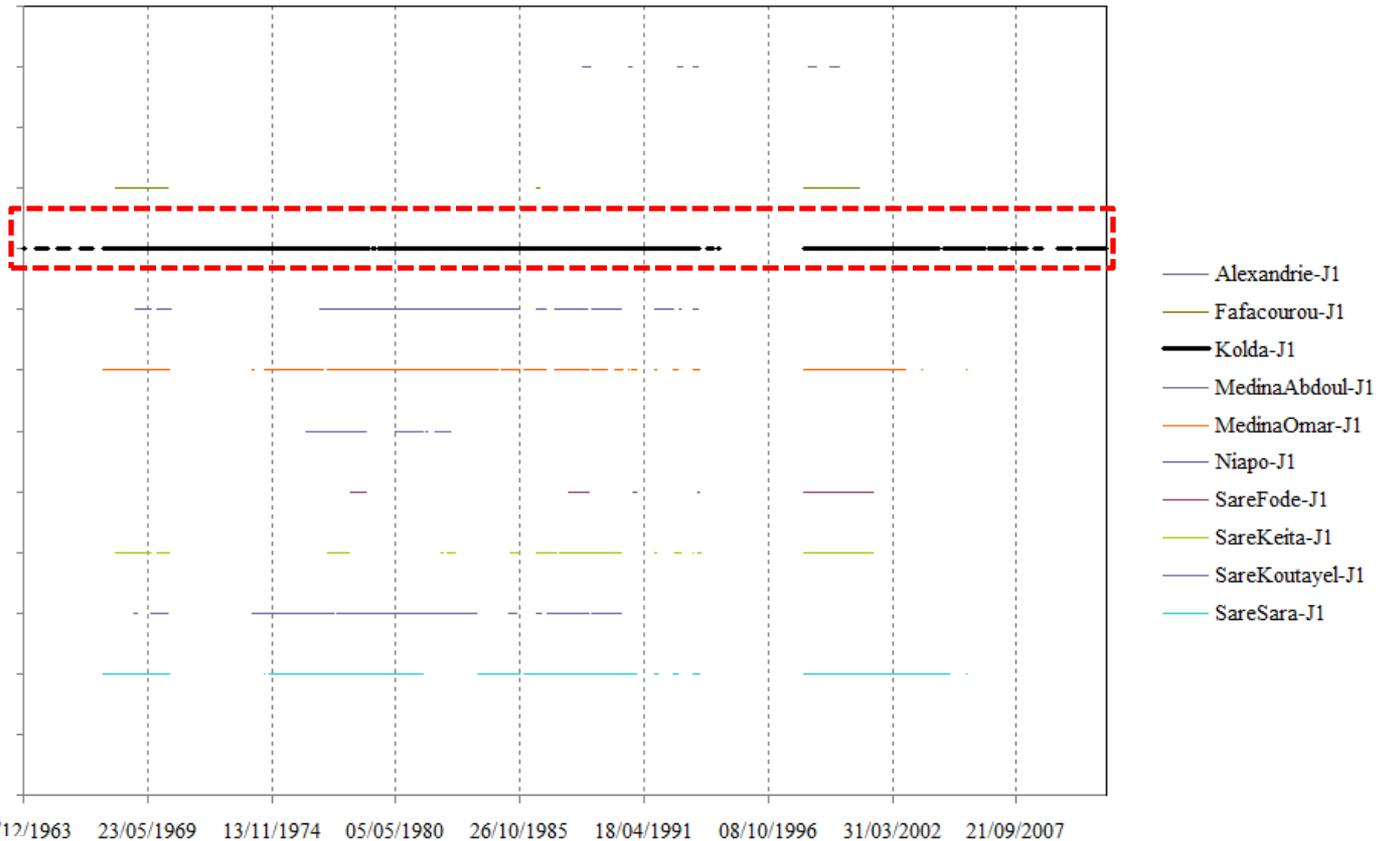
Cycle saisonnier de la pluie et de l'ETP dans le bassin de la Casamace

ETP de Kolda utilisée car des études (Ardoin-Bardin et *al.*, 2001; Oudin, 2004; Sighomnou et *al.*, 2005; Paturel, 2006) ont montré la faible sensibilité du modèle retenu aux variations d'ETP



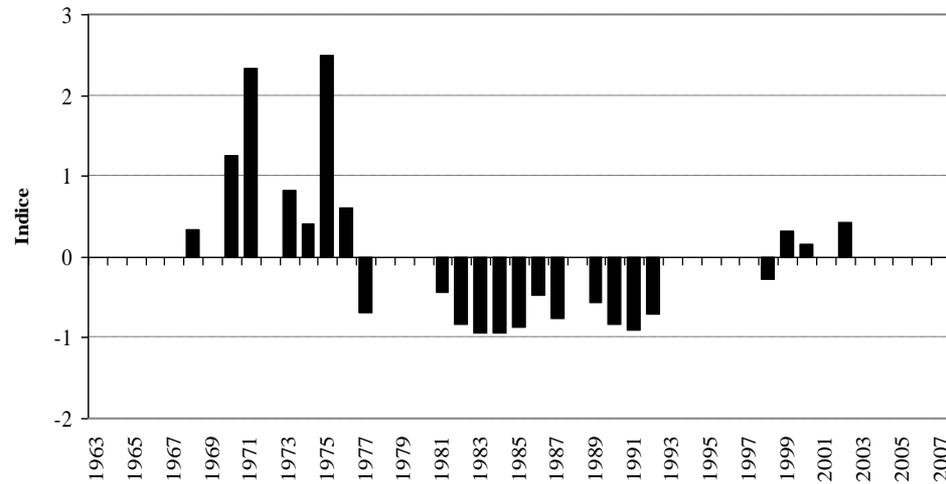
Données hydrométriques

- 10 stations hydrométriques:
- Données très lacunaires (difficile de faire des études hydrologiques fiables)
- La stations de Kolda contrôle les apports à la basse vallée.

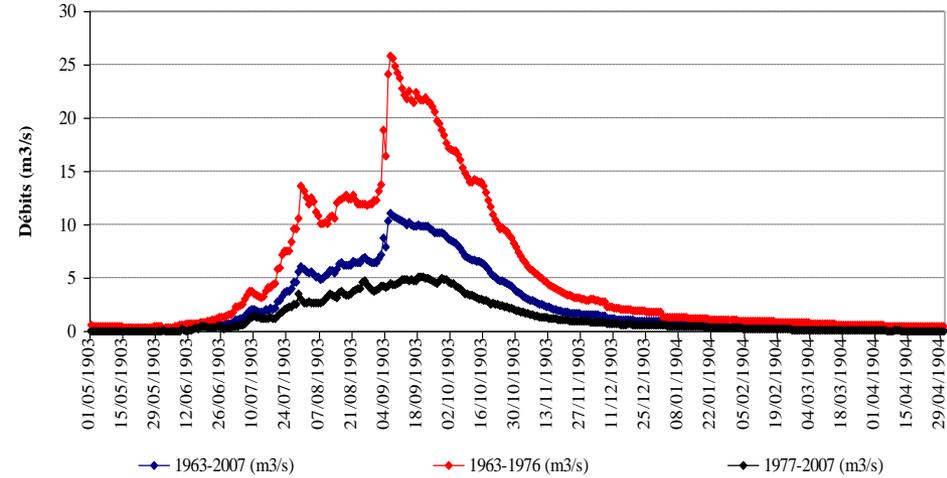


Chronogramme des données hydrométriques disponibles de la Brigade de Kolda (Débits)

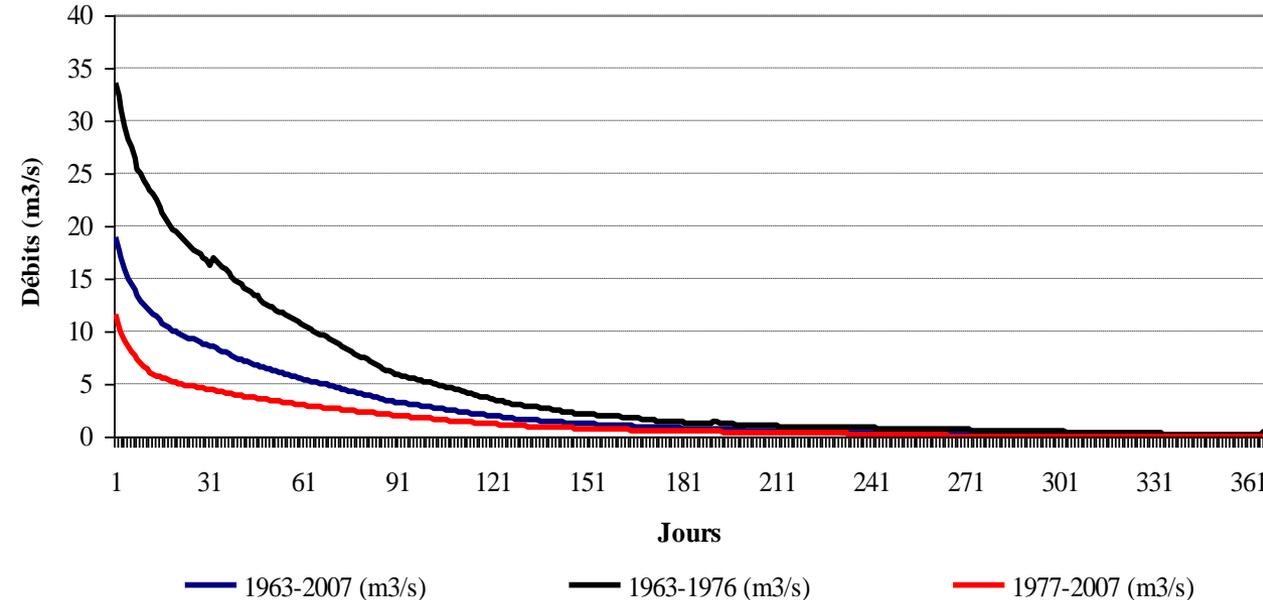
Données hydrométriques (suite)



Variation des débits annuels : importance des années lacunaires



Cycle saisonnier des écoulements



- Débits caractéristiques :
- ✓ l'écoulement supérieur à 5 m³/s ne dépasse pas 4 mois sur la période d'étude 1964-2007;
 - ✓ sur la période sèche actuelle (1977-2007), l'écoulement supérieur à 5 m³/s ne dépasse pas 1 mois;
 - ✓ Débit de la Casamance à Kolda très faibles.

Données hydrométriques

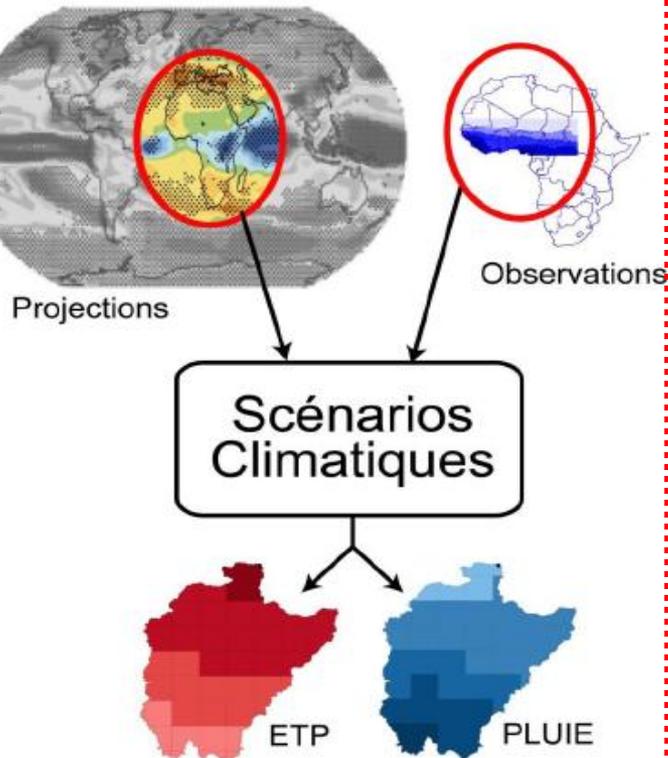


Images de la Casamance à Kolda (images du 03/06/2015)

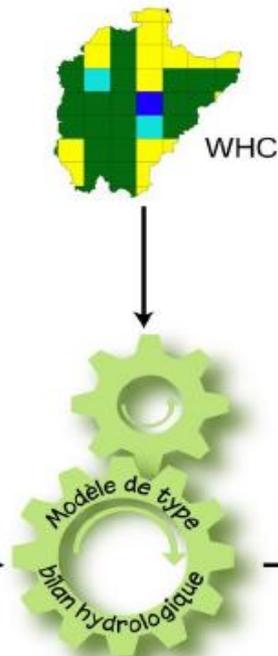
Prévision des écoulements futurs

Méthodologie intégrée

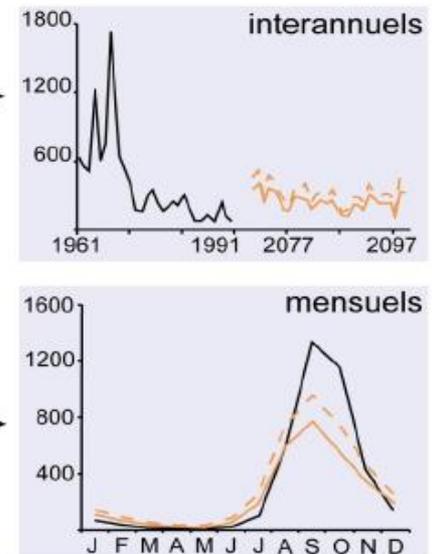
ETAPE 1 :
Construction de
scénarios climatiques



ETAPE 2 :
Mise en oeuvre du
modèle hydrologique

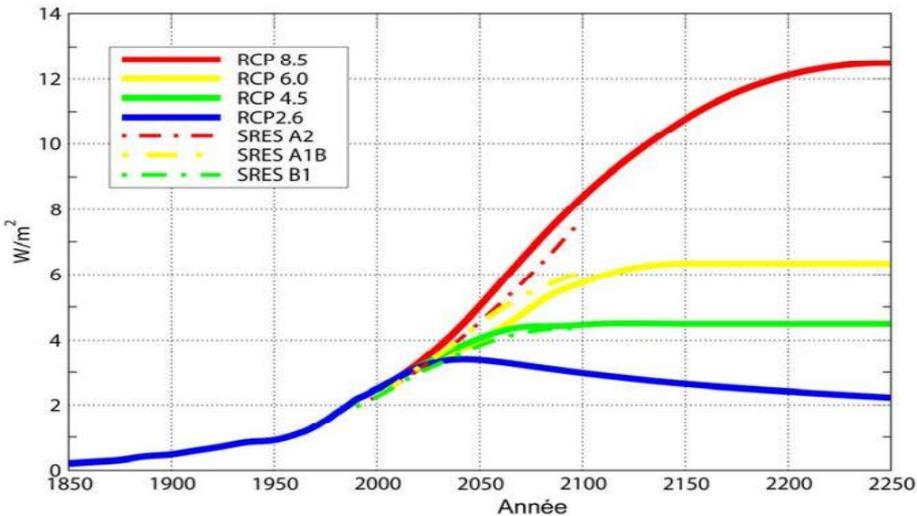


ETAPE 3 :
Simulations des
écoulements



Prévision des écoulements futurs

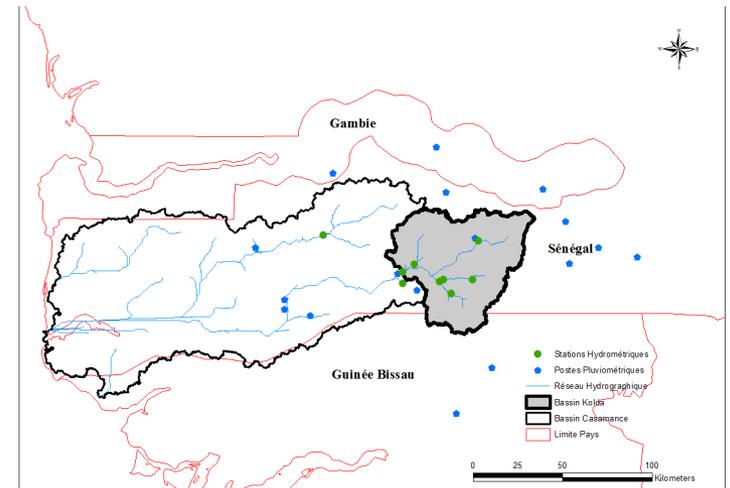
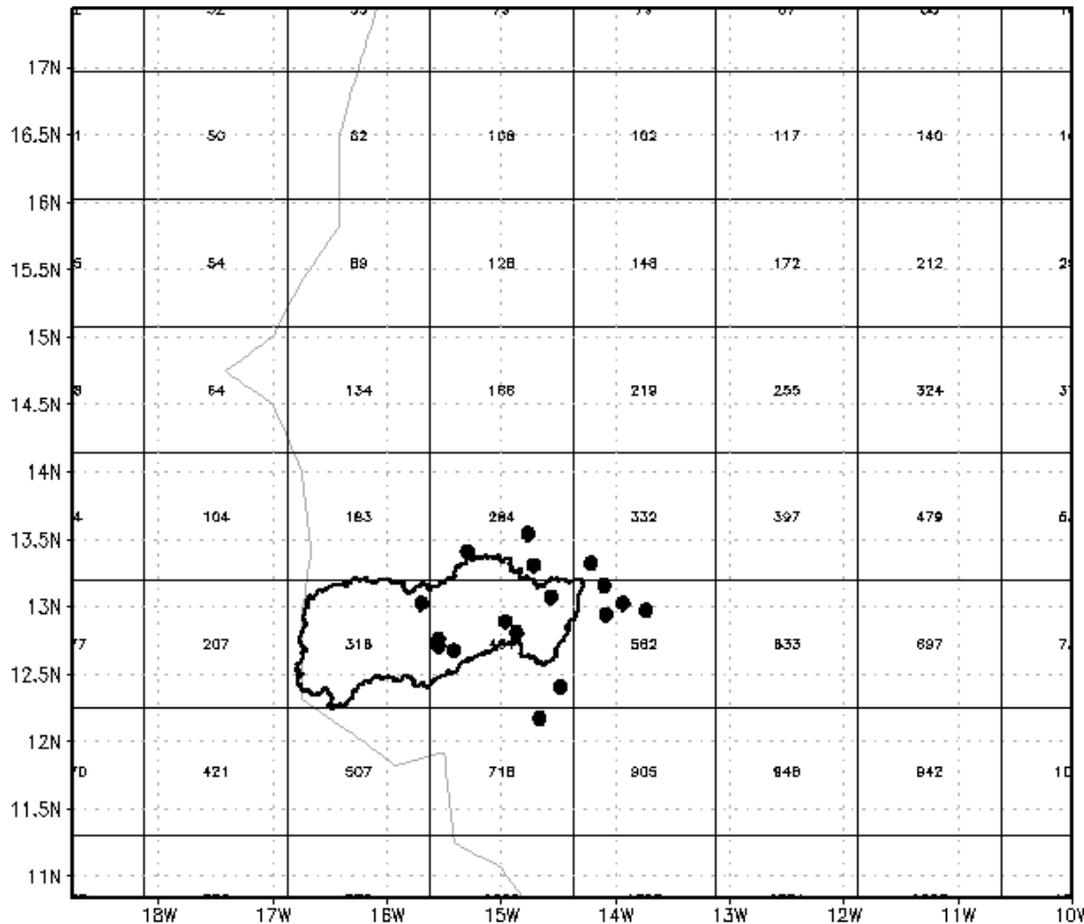
Plusieurs modèles de nos jours: raison de temps et de disponibilité des données - Modèles globaux (CCSM4) – 4 scénarios



Les quatre RCP, évolution du forçage radiatif et comparaison avec les SRES (GIEC, 2001 et 2007)

Groupe	Pays	Modèles	Résolution	Scénarios	Période
CCCMA	Canada	CanCM4			1961-1990
CCSM4	USA	CCSM4			1961-1990
CSIRO/QCCE	Australie	CSIRO-Mk3-6			1961-1990
GFDL	US+A	GFDL-CM3			1961-1990
GFDL	USA	GFDL-ESM2G		RCP8.5	2016-2065
GFDL	USA	GFDL-ESM2M			1961-1990
MOHC	GB	HadCM3			1961-1990
MOHC	GB	HadGEM2-ES		RCP4.5	2016-2065
INM	Russie	inmcm4			1961-1990
IPSL	France	IPSL-CM5A-LR		RCP8.5	2016-2065
MIROC	Japon	MIROC5			1961-1990
MPI-M	Allemagne	MPI-ESM-LR			1961-1990

Prévision des écoulements futurs



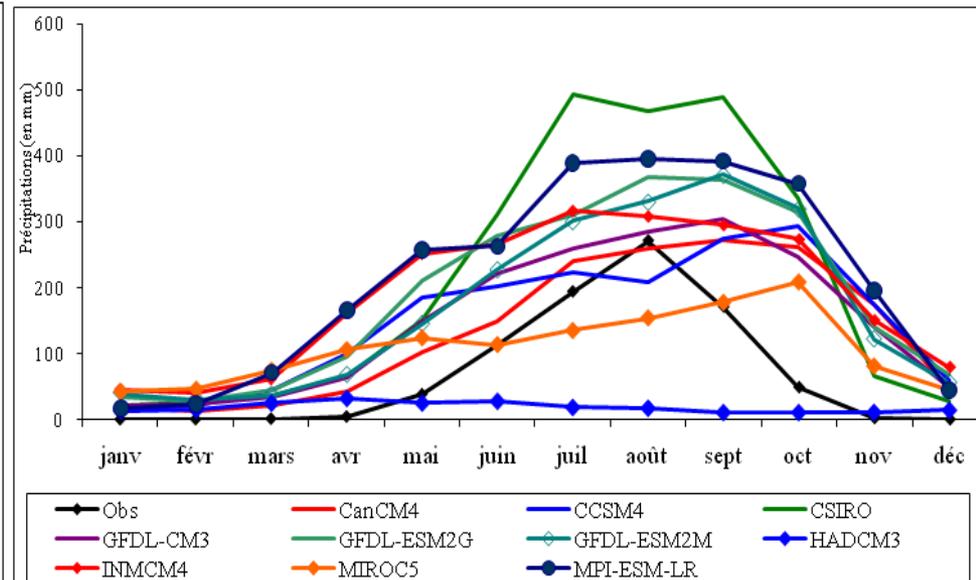
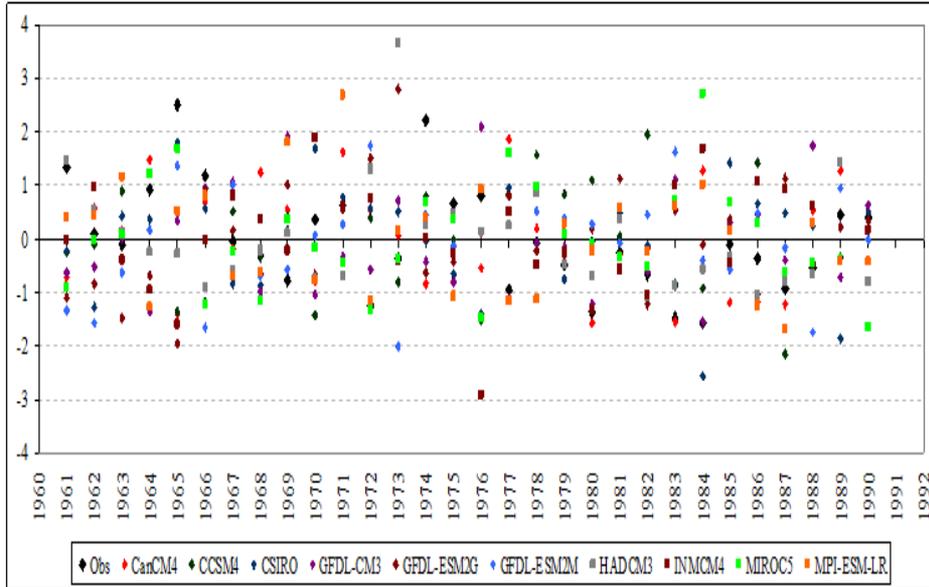
- Extraction des sorties des modèles climatiques à partir des coordonnées des stations pluviométriques
- Seules les données pluie ont été extraites

Projections de données climatiques

Modèle climatique **CCSM4** (Community Climate System Model v.4) du rapport de IPCC de 2013 (résolution du modèle CCSM4 environ 1 degré ¹⁶

Prévision des écoulements futurs

Projections climatiques: quelle fiabilité des sorties des GCM?



Bassin de la Falémé (fleuve Sénégal) : Comparaison données Stations & données modèles climatiques (annuelle et mensuelle) sur la période 1961-1990 (Source : Faty, 2014)

- Relative bonne représentation de la dynamique saisonnière
- Mauvaise estimation des volumes précipités
- GCM ne sont pas aptes à reproduire correctement les précipitations (volumes et variabilité) : aux échelles locales et régionales, aux pas de temps saisonnier et interannuel

Prévision des écoulements futurs

Correction biais des sorties des GCM

Méthode se résume comme suit :

- Comparaison entre les valeurs du modèle CCSM4 avec le modèle Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/> pour la période 2006-2013
- Calcule du coefficient de correction du CCSM4 avec la comparaison de la pluviométrie annuelle du point grillage CHIRPS et l'analogue CCSM4. ($K=CHIRPS/CCSM4$) un pour chacun des scénarios d'émission.
- Utilisation du coefficient de correction pour le calcule des séries corrigés du modèle **CCSM4** (4 séries)

• cette méthode a permis d'élaborer des scénarios plus réaliste de précipitation qui seront utilisés en entrée du modèle hydrologique GR2M calé avec les données observées (pluie et ETP)

Prévision des écoulements futurs

Détermination des paramètres qui régissent la relation pluie-débit pour la simulation des écoulement futurs

- ❑ Calage-Validation de GR2M (**X1 et X2**) avec données observées
- ❑ Simulation des écoulements futurs avec les paramètres **X1 et X2** choisis

Calage des paramètres du modèle (X1 et X2)

GR2M- Calage

- Pour le calage du modèle il faut définir:
 - Un critère de calage
 - Une méthodologie de calage
- Les critères sont basés sur un écart entre les valeurs observées et les valeurs calculées par le modèle, le critère le plus couramment utilisé en hydrologie est le critère de Nash:

$$Nash(Q) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{cali})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

Méthodologie de calage

- optimisation numérique de Nash
- croisements de calage-validation

- Nash varie de $-\infty$ à 1. Le modèle ajusté bon quand Nash tend vers 1. Nash inférieur à 0,6 modèle défaillant sur le bassin (Ardoin-Bardin, 2004).

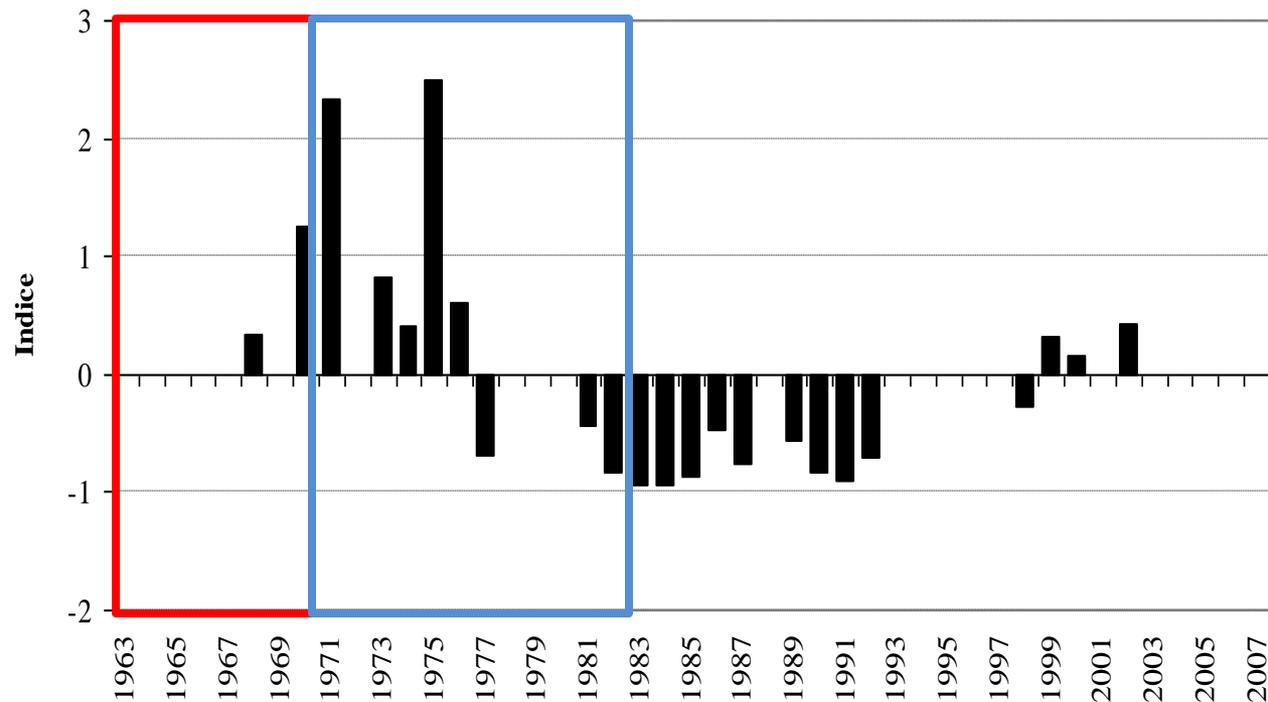
Calage/validation du modèle (choix des périodes)

GR2M-Validation croisées

- L'ajustement utilisé pour une période de calage puis validé sur les autres périodes et inversement. Difficulté d'avoir des périodes avec des séries sans lacunes pour les données de la Casamance à Kolda

Difficile d'avoir des séries continues sans lacune pour le calage et la validation croisée du modèle

- Calage : 1974-1985
- Validation : 1968-1973



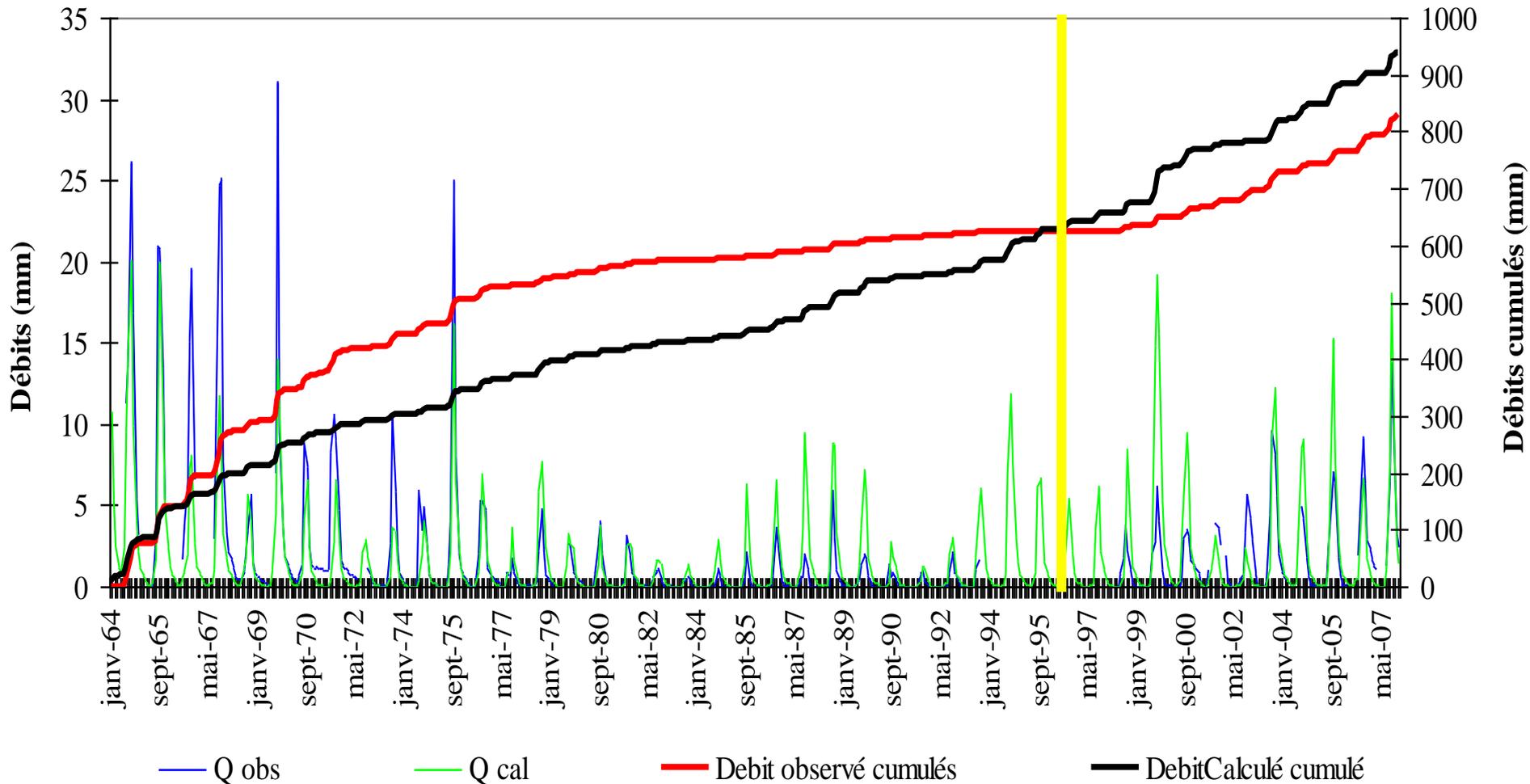
Mise en œuvre du modèle GR2M

Mise en œuvre GR2M – Résultats Calage-Validation

	Critères d'efficacité (%)				Paramètres	
	$Nash(Q)$	$Nash(\sqrt{Q})$	$Nash(\ln Q)$	Bilan	X1	X2
Calage (1974-1985)	89.6	87.8	86.3	113.3	8.01	0.43
Validation (1968-1973)	67.3	57.2	8	67.8		

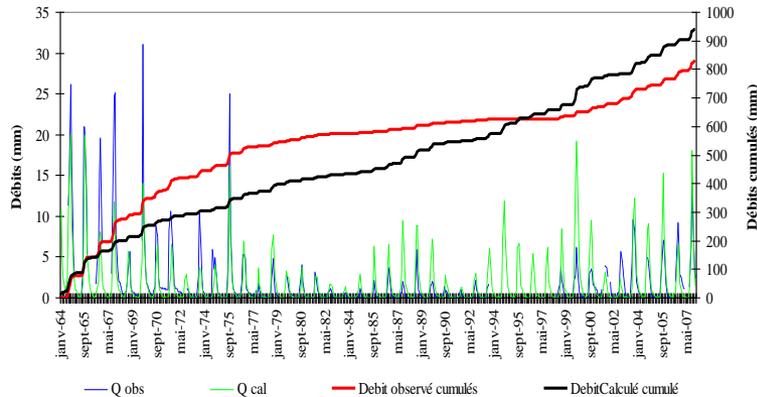
Mise en œuvre du modèle GR2M

Mise en œuvre GR2M – Résultats des simulations sur la période 1964-2007



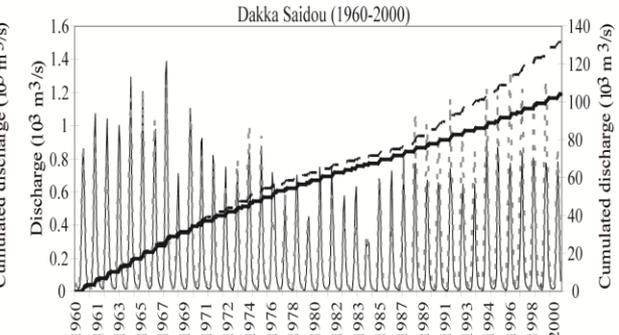
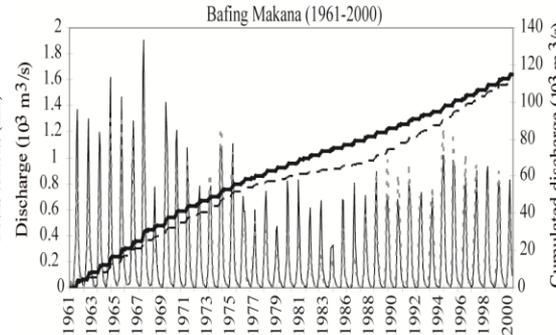
Mise en œuvre du modèle GR2M

Mise en œuvre GR2M – Résultats des simulations

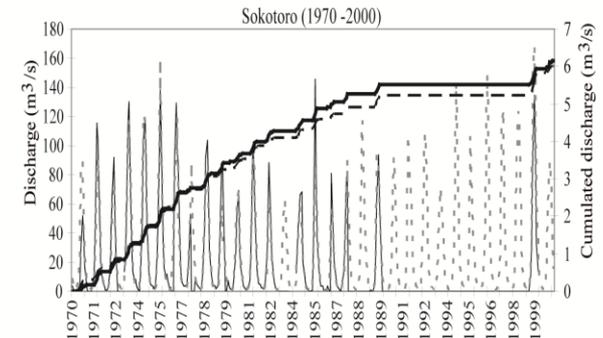


Performance de GR2M à Kolda (Casamance)

✓ GR2M plus robuste pour la simulation des débits observés du Bafing (fleuve Sénégal) que les écoulements de la Casamance ;
✓ Explication possible: faiblesse des débits de la Casamance.



— Observed discharge
... Simulated discharge
— Cumulated observed discharge
-- Cumulated simulated discharge



Performance de GR2M à Bafing Makana, Dakka Saidou et Sokotoro (fleuve Sénégal) (Source : Bodian et al., 2015)

- Paramètres (X1 et X2) utilisés pour faire des projections sur les écoulements;
- hypothèse que la relation pluie-débit qu'ils régissent restera inchangé dans le futur;

Prévision des écoulements futurs

Pluies futurs: Quelle tendance?

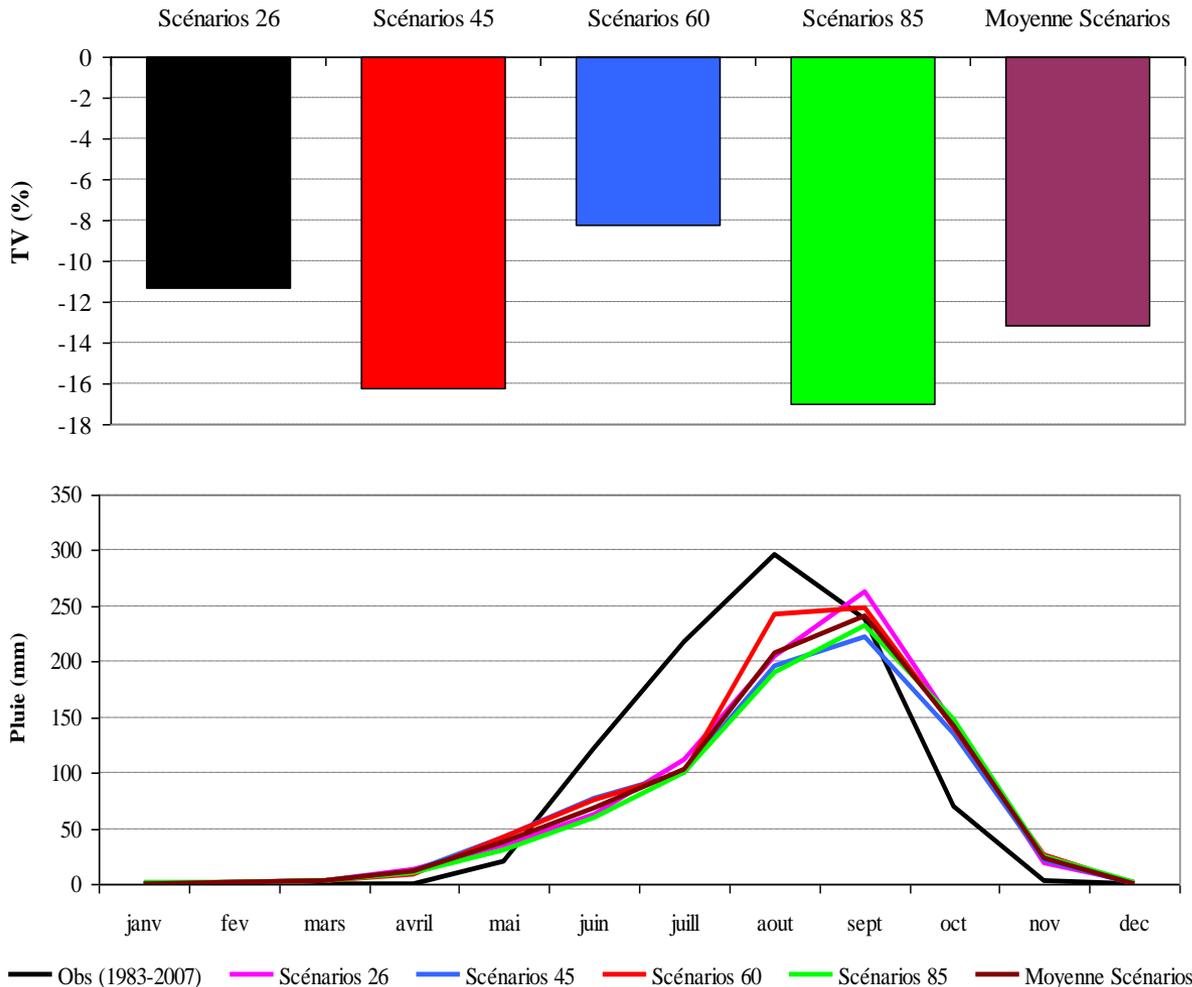
Calcul du taux de variation à l'horizons 2028 par rapport aux données observées:

$$\text{Taux (\%)} = \frac{\text{Moy Hori} - \text{Moy Obs}}{\text{Moy Obs}} * 100$$

Horizon 2028 : (2016-2040)

Prévision des écoulements futurs

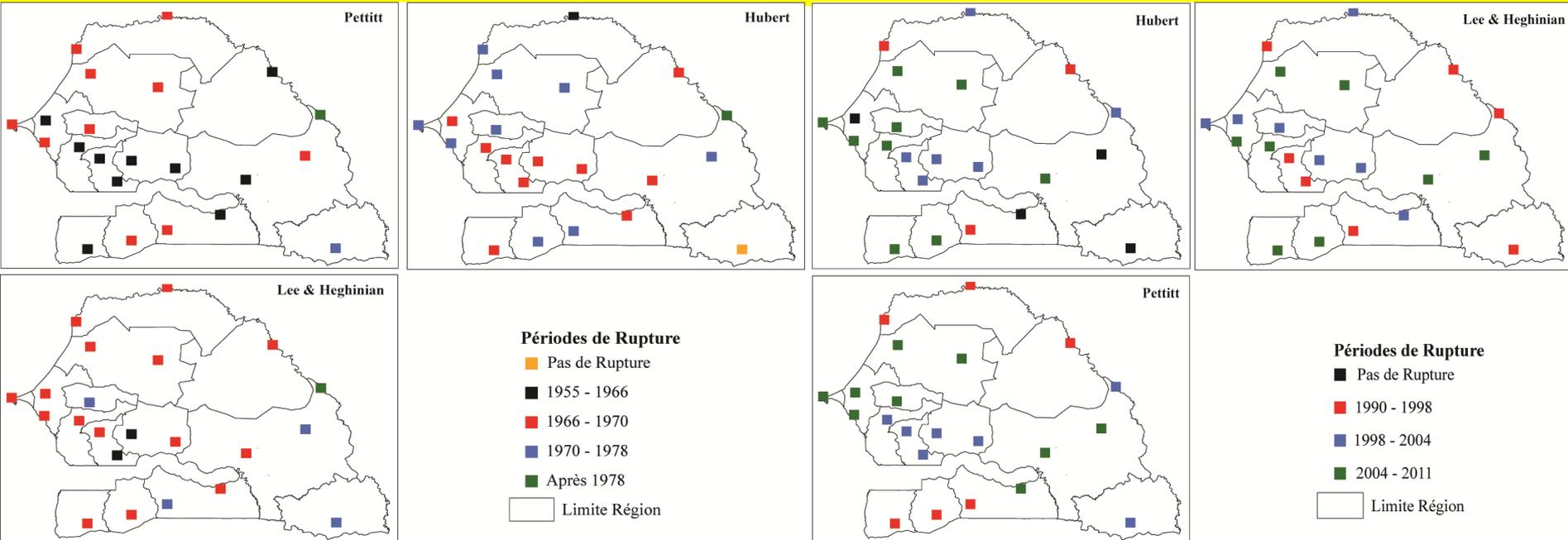
Pluies futures: Quelle tendance?



- baisse des pluies comprises entre -8.3 % (scénario 60) et -17 % (scénario 85)
- baisse des pluies entre mai et septembre et augmentation des précipitations entre octobre et décembre
- décalage du maximum pluviométrique en septembre

Prévision des écoulements futurs

Pluies futurs: y a-t-il un accord avec la tendance actuel?



Date de rupture dans les séries pluviométriques de la période 1940-2013
(source : Bodian, 2014)

Date de rupture dans les séries pluviométriques de la sous-série
allant de la première rupture à 2013 (source : Bodian, 2014)

- pour les projections climatiques diminution des pluie
- tendance actuelle : reprise de la pluviométrie avec une forte variabilité

Prévision des écoulements futurs

Écoulements futurs: Quelle tendance?

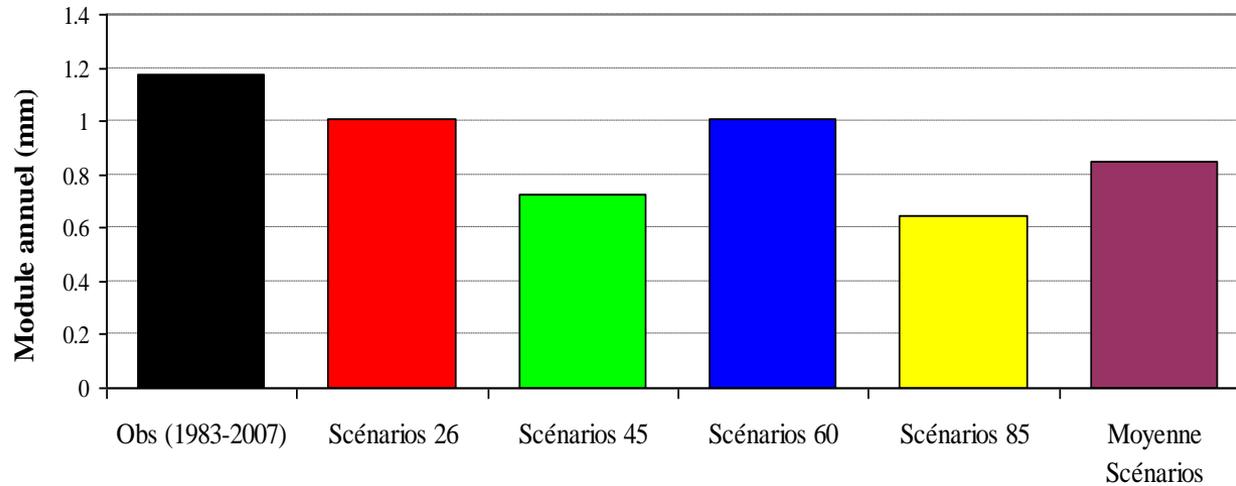
Calcul du taux de variation à l'horizon 2028 par rapport aux données observées:

$$\text{Taux (\%)} = \frac{\text{Moy Hori} - \text{Moy Obs}}{\text{Moy Obs}} * 100$$

Horizon 2028 : (2016-2040)

Prévision des écoulements futurs

Prévision des écoulements: quel signal pour l'horizon 2028 ?



Concordance des différents scénarios sur la baisse des écoulements de la Casamance à l'horizon 2028.

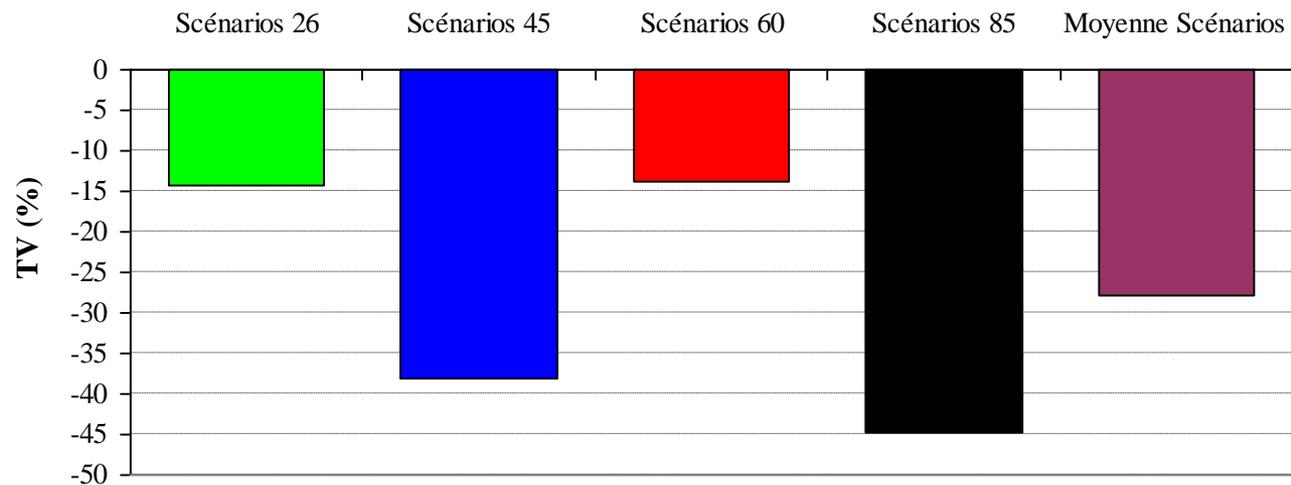
Scénario 26 : -14.3 %

Scénario 45 : -38 %

Scénario 60 : -13.9

Scénario 85 : -44.9

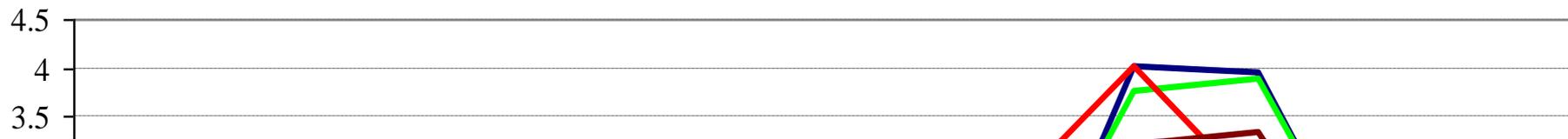
Moyenne des scénarios : -27.8



Prévision des écoulements futurs

Changement climatique: quel impact sur le régime hydrologique du haut bassin?

Comparaison des débits moyens mensuels observés et débits moyens mensuels à l'horizon 2028:



- **décalage du maximum hydrologique en octobre sauf pour le scénario 26**

- **modifications des volumes écoulés.**

- diminution des volumes écoulés pendant le mois d'août et de septembre, mois qui correspondent au maximum hydrologique.

- baisse des volumes écoulés plus prononcée pour le scénario 85

— Scénarios 26 — Scénarios 45 — Scénarios 60 — Scénarios 85 — Obs (1983-2007) — Moyenne Scénarios

Conclusions et Perspectives

Par rapport aux données observées, les scénarios du modèle climatique **CCSM4** utilisés prévoient sur le bassin de la Casamance des variations d'écoulement moyen annuel qui dépendent étroitement des prévisions de précipitation (**beaucoup d'incertitudes dans les projections de pluie**).

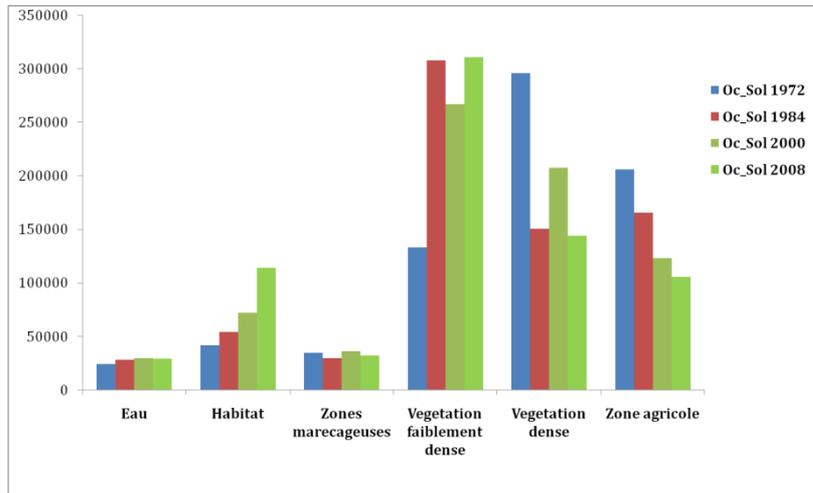
Tous les scénarios du modèle **CCSM4** prévoit une baisse des écoulements de la Casamance

Les résultats obtenus doivent être maniés avec beaucoup de précaution en raison de quelques difficultés inhérentes aussi bien à la modélisation hydrologique qu'à l'incertitude issue des modèles climatiques.

Conclusions et Perspectives

- les résultats obtenus montrent que parfois les écarts entre les données observés et calculés par le modèle GR2M sont importants sur le bassin de la Casamance comparé aux résultats sur le Bafing (fleuve Sénégal)
- dans les régions tropicales et arides, l'ETP peut représenter entre 50 % et 90 % du bilan hydrique (Derive, 2003, Le Lay, 2006 ; Ardoin-Bardin, 2000). Il s'agit donc d'une variable clef du bilan hydrique de ces régions. Or, pour le moment cette variable n'est pas encore estimée pour le futur afin d'être prise en compte dans les projections sur les ressources en eau
- Les changements climatiques correspondent à une situation où les conditions de fonctionnement hydrologique sont modifiées (Sighomnou, 2004). Cette situation pourrait être comparable à un changement de domaine de calibration du modèle. Donc on peut se demander quelle est la fiabilité des paramètres calés avec le climat actuel?

Conclusions et Perspectives



Dynamique de l'occupation dans la moyenne Casamance
(source : Touré, 2013)

Plusieurs travaux (Mahé et al., 2005; Descroix et al., 2009, 2012a, 2012b) ont montré que les modifications de l'occupation du sol ont un impact sur la réponse hydrologique des bassins versants (notion de paradoxe sahélien). Or aucune prévisions n'est disponibles qu'à l'occupation des sols du bassin versant.

Perspectives

- ✓ Calcule de l'ETP futur en utilisant la formule de Oudin (2005) qui n'a besoin que de la température et de la latitude;
- ✓ Utilisation des sorties plusieurs climatiques pour voir si une tendance se dégage



MERCI DE VOTRE AIMABLE ATTENTION!!!

ansoumana.bodian@ugb.edu.sn
bodianansoumana@gmail.com



Programme d'Appui
au Programme National d'Investissement
dans l'Agriculture au Sénégal