



THEME :
**TESTS DE DIFFERENTS MODELES
HYDROLOGIQUES MENSUELS SUR UN
ENSEMBLE DE BASSINS VERSANTS DE
L'AFRIQUE DE L'OUEST**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

Présenté et soutenu publiquement le 23 Juin 2013 par

Inoussa BELEMBAOGO

Travaux dirigés par : Jean-Emmanuel PATUREL

Docteur Hydrologue, chargé de recherche IRD,

en accueil à 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Rabah LAHMAR

Membres et correcteurs : M. Tazen FOWE

M. Abdrahamane GADO

M. Kouassi AMANI

Promotion [2013/2014]

DEDICACES

A ma très chère famille sans distinction pour son soutien inestimable

REMERCIEMENTS

C'est un immense plaisir pour moi de remercier chaleureusement les personnes qui, durant ces trois (03) ans passés à 2iE, m'ont soutenu et guidé moralement, de près ou de loin.

Mes remerciements vont particulièrement :

A Monsieur Jean-Emmanuel PATUREL pour avoir dirigé ce mémoire et aussi pour sa rigueur, son sens du travail bien fait et surtout très formateur.

A mes Co-encadreurs M. Lawani A. MOUNIROU et M. Dial NIANG pour leur volonté de suivre ce mémoire.

A mon Co-stagiaire Mahamoudou WANDAOGO, dont l'esprit d'équipe et de collaboration a régné tout au long de ce travail.

A tous les membres du groupe G8-PAGIRE pour cette vie de famille que nous vivons au sein du groupe.

A tous les étudiants de M2/IRH

A tous le personnel du 2iE sans distinction.

Aux personnels du SP/PAGIRE pour leur écoute et soutien.

RESUME

Les modèles hydrologiques au pas de temps mensuel sont des outils de gestion et de prévision de l'évolution des ressources en Eau. A partir des données de pluies et de températures ou d'évapotranspirations potentielles, ils sont capables d'évaluer le débit et son évolution en un point donné du cours d'eau.

Chaque modèle est évalué selon sa capacité à représenter la réalité et cela se fait le plus souvent en comparant les résultats du modèle avec les données observées.

L'objectif de ce travail de recherche est d'identifier les modèles pluie-débit au pas de temps mensuel qui représente au mieux la réalité sur un ensemble de bassins versant de l'Afrique de l'Ouest. Les modèles GR2M (version de Makhoulf et celle de Mouelhi), GR3M (version de Kabouya et la version de Mouelhi), ABCD, BUCKET, SMAP et WBM ont pu être identifiés.

Des tests de performance sur ces modèles ont été faits en fonction de la méthode d'optimisation, de la fonction critère utilisée pour évaluer la performance et des périodes de calage et de validation.

Après avoir fait ces différents tests, il en ressort que la performance des modèles est dépendante de la méthode d'optimisation utilisée. Elle est également dépendante de la fonction critère à optimiser et des périodes de calage/validation choisies. Le temps d'exécution des modèles est indépendant du nombre de paramètres que comporte le modèle.

Mots Clés :

1 – Modèle hydrologique

2 - Mensuel

3 - Performance

4 – Paramètres

ABSTRACT

Hydrological monthly models are water resources forecasting and development tools. From the rainfall data, they are able to assess the flow and its evolution in a given point of the river. Each model is evaluated on its ability to represent reality and this is done most often by comparing the model results with the results from observations. The objective of this research is to identify monthly rainfall-runoff models that best represents the reality on a set of watersheds in West Africa. The GR2M models (Makhlouf version and Mouelhi version) GR3M (Kabouya version and Mouelhi version), ABCD, BUCKET, SMAP and WBM have been identified.

Performance tests on these models were made based on the optimization method, the criterion function used to evaluate the performance and calibration and validation periods. After these tests, it appears that the model performance is independent of the optimization method used. Contrariwise it depends on the criterion used and periods of calibration / validation function. It also shows that the time of model simulation is independent of the number of parameters that includes the model.

Keywords :

- 1 – Hydrological model**
- 2 - Monthly**
- 3 - Performance**
- 4 – Parameters**

SIGLES ET ABBREVIATIONS

BF :	Burkina Faso
CI :	Côte d'Ivoire
CRU :	Climate Research Unit
DGRE :	Direction Général des Ressources en Eau
GIRE :	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GR2M :	Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel
GR3M :	Génie Rural à 3 paramètres au pas de temps Mensuel
SIEREM :	Système d'Information Environnemental sur les Ressources en Eau et leur Modélisation
SMAP :	Soil Moisture Accounting Procedure
SP/PAGIRE :	Sécretariat Permanent du Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
WBM :	Water Balance Model

TABLE DES MATIERES

<i>Dédicaces</i>	<i>i</i>
REMERCIEMENTS	ii
<i>Résumé</i>	<i>iii</i>
ABSTRACT	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	v
<i>Table des matières</i>	<i>vi</i>
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
Introduction	1
Contexte de l'étude	1
Problématique	1
Objectif de l'étude (globale et spécifique)	1
Plan de travail	2
I. Etat de l'art des modèles hydrologiques Mensuels	3
I.1 Généralités sur les modèles hydrologiques	3
I.2 Les modèles pluie-débit au pas de temps mensuel	4
I.2.1 Les modèles GR	4
I.2.2 Autres modèles	6
I.2.3 Les variables d'entrées des modèles hydrologiques mensuels	8
II. Matériels et Méthodes	9
II.1 Zone d'étude	9
II.2 Matériels	13
II.3 Présentation des données	13
II.4 Méthodes	15
II.4.1 Calage/Validation	15
II.4.2 Critère d'optimisation : fonction objectif.....	15
II.4.3 Méthodes d'optimisation.....	16

II.5 Méthodologie de test des différents modèles.....	18
II.5.1 Performance	18
II.5.2 Temps de simulation	19
III. Résultats et discussion.....	20
III.1 Performance en fonction de la méthode d'optimisation	22
III.2 Performance en fonction de la fonction critère.....	25
III.3 Performance en fonction de la période de calage/validation	27
III.4 Temps d'exécution des modèles	29
III.5 Comparaison des modèles en terme de performance.....	30
Conclusions	31
Perspectives.....	31
Bibliographie	32
Annexes.....	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: récapitulatif des modèles	8
Tableau 2 : Appartenance des bassins traités par pays et grands bassins	10
Tableau 3 : Périodes de données disponibles et taux de lacunes des débits.....	14
Tableau 4 : Temps d'exécution des modèles en fonction du nombre de paramètres.....	29
Tableau 5 : Résultats du modèle GR2M de Makhoulf.....	XII
Tableau 6 : Résultats du modèle GR2M de Mouelhi	XIV
Tableau 7 : Résultats du modèle GR3M de Kabouya	XVI
Tableau 8 : Résultats du modèle GR3M de Mouelhi	XVIII
Tableau 9 : Résultats du modèle ABCD	XX
Tableau 10 : Résultats du modèle BUCKET	XXII
Tableau 11 : Résultats du modèle SMAP.....	XXIX
Tableau 12 : Résultats du modèle WBM	XXXI
Tableau 13 : Caractéristiques statistiques des paramètres des modèles.	XXXIII

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Carte de localisation des bassins versants	11
Figure 2.1: Représentation des pluies moyennes avant 1970 et après 1970 (resp. 1980 pour les bassins n’ayant pas de données avant 1970).....	20
Figure 3.1: Performance en fonction de la méthode d’optimisation	23
Figure 4.1: Performance en fonction du critère.....	25
Figure 5: Comparaison des modèles selon leurs performances	30
Figure 6: Architecture du modèle GR2M, version de Makhoulouf (1994)	I
Figure 7: Architecture du modèle GR2M version de Mouelhi (2002).....	III
Figure 8 : Architecture du modèle GR3M version de Kabouya (1991).....	V
Figure 9: Architecture du modèle GR3M version de Mouelhi (2002).....	VI
Figure 10 : Architecture du modèle ABCD	VII
Figure 11: Architecture de modèle de BUCKET	VIII
Figure 12 : Schéma structural du modèle SMAP	IX
Figure 13 : Schéma du modèle WBM	XI

INTRODUCTION

Contexte de l'étude

L'impact des changements climatiques et des activités humaines est un sujet prioritaire pour beaucoup de pays. Ces impacts se font surtout ressentir sur la ressource en eau et ont entraîné sur un grand nombre de bassins une forte variabilité de la relation pluie-débit.

La relation pluie-débit se mesure généralement à travers différents outils dont les modèles hydrologiques. Il en existe un très grand nombre qui ont été appliqués dans différents contextes mais leurs développements ont été bien moins nombreux en Afrique de l'Ouest qu'ailleurs.

Problématique

La ressource en eau est un facteur de développement socio-économique des pays de l'Afrique de l'Ouest. Il apparaît donc nécessaire, pour une gestion rationnelle de cette ressource, d'avoir une connaissance plus précise des quantités d'eau disponible. Mais très souvent, les données de débits sont moins nombreuses que les données pluviométriques car on ne peut mesurer tous les cours d'eau. La transformation des données pluviométriques en données hydrométriques devient donc une nécessité. C'est ainsi que les hydrologues ont élaboré des modèles hydrologiques qui permettent d'établir une relation entre la pluie tombée sur un bassin et le débit observé à l'exutoire de ce bassin. Cependant ces relations pluies-débits permettent-ils de représenter la réalité ?

Comme le 2iE souhaite bâtir une chaîne de traitement de données hydro-climatiques qui va des données de pluie jusqu'aux données d'écoulement (débit), il est nécessaire d'identifier quels pourraient être les modèles hydrologiques mensuels à implémenter dans cette chaîne.

Objectif de l'étude (globale et spécifique)

Les objectifs de cette étude sont multiples :

- ✓ De façon globale, il s'agit :
 - D'identifier des modèles hydrologiques au pas de temps mensuel sur un grand nombre de bassins versant de l'Afrique de l'Ouest.
 - De proposer un outil (facilement utilisable) de simulation de débit à but de recherche et d'enseignement pour le 2iE.
- ✓ Spécifiquement, cette étude cherche à :
 - programmer sous Matlab les modèles mensuels retenus ;
 - tester ces différents modèles hydrologiques mensuels en termes de performance et facilité d'utilisation.

Plan de travail

Le présent mémoire s'articule autour de quatre points qui reflètent la méthodologie à adopter pour la réalisation du travail. La première partie est consacrée à une revue bibliographique sur les modèles hydrologiques mensuels.

La seconde partie présente le cadre du travail c'est-à-dire la zone d'étude, le cadre conceptuel (méthodologie de modélisation et de comparaison) et la collecte des données

La troisième partie est consacrée à l'analyse des résultats obtenus et les discussions portées sur ces résultats.

La dernière partie de ce mémoire présente une conclusion sur l'ensemble du travail et des perspectives pour d'autres études sur la modélisation hydrologique.

I. ETAT DE L'ART DES MODELES HYDROLOGIQUES MENSUELS

I.1 Généralités sur les modèles hydrologiques

Les modèles hydrologiques ou modèles pluie-débit, sont des outils numériques ou des traductions dans un langage de programmation (Ambroise, 1999) d'une représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Ils permettent de transformer des séries temporelles de précipitations d'un bassin versant donné, en une série de débit. Un modèle hydrologique doit pouvoir décrire les différentes étapes de la transformation pluie-débit et en particulier les processus liés à la formation des crues et à l'apparition des étiages.

Chaque modèle est évalué selon sa capacité à représenter la réalité et cela se fait le plus souvent en comparant les résultats du modèle avec les résultats issus des observations.

Dans la littérature, il existe plusieurs modèles hydrologiques ayant chacun leur domaine d'application et leur spécificité. De nombreuses classifications de ces modèles sont proposées. Ainsi Gnouma (2006), classe les modèles hydrologiques en trois catégories : les modèles empiriques, les modèles conceptuels et les modèles distribués à base physique.

Perrin (2000) a proposé dans sa thèse la classification suivante :

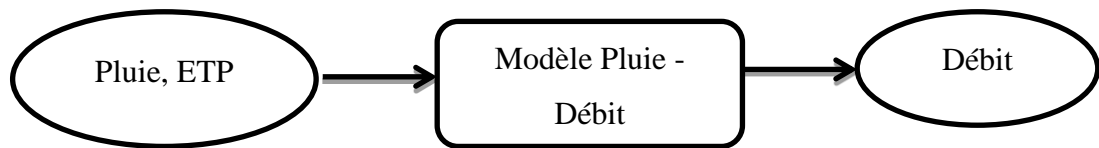
- Les modèles boîtes noires : ils établissent une relation mathématique (linéaire ou non linéaire) entre les variables d'entrée et les variables de sortie (exemples : Processus Auto-Régressif, Réseaux de Neurones) ;
- Les modèles à réservoirs : la transformation de la pluie en débit se fait par une interconnexion de réservoirs qui se vident et se remplissent au cours du temps. Les paramètres de ces modèles n'ont aucune interprétation physique directe et sont déterminés par les procédures de calage.
- Les modèles à base physique : ils se basent sur la résolution numérique des équations de Saint Venant et de Richards. Les paramètres de ces modèles sont des données physiques mesurables sur le terrain.

Les objectifs de la modélisation sont multiples et on peut citer entre autres :

- La génération des débits pour le comblement des lacunes de débits ; cela permet d'étendre les chroniques de débits à partir de celles de pluie et d'ETP.
- La prévision en temps réel des débits des cours d'eau notamment pour la prévision des crues ou des étiages ;

- La prédétermination des débits de crue ou d'étiage (par exemple les valeurs de débits d'une crue de période de retour de 10 ans ou de 100 ans) notamment dans la perspective de dimensionner des ouvrages et des aménagements dans le lit des cours d'eau ;
- La détermination des conséquences d'aménagements (barrages, occupation des sols...) sur l'hydrologie des rivières.

La modélisation pluie – débit est basée sur l'utilisation de modèles simulant la réalité :



Modélisation

I.2 Les modèles pluie-débit au pas de temps mensuel

La modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel est l'une des familles de modélisation hydrologique dont les variables (pluies, ETP et débits) ne sont connues que par leur sommation sur un mois calendaire (Mouelhi, 2002). On ignore la répartition de ces variables à l'intérieur de chaque mois.

Nous présentons les modèles en deux groupes. Le premier groupe est celui des modèles issus du CEMAGREF (l'actuel IRSTEA) connus sous le nom des modèles GR (Génie Rural). Le deuxième groupe rassemble les modèles développés hors CEMAGREF.

Dans le cadre de cette, les modèles conceptuels à réservoirs seront essentiellement utilisés.

Nous présenterons seulement le principe de fonctionnement des modèles, la description complète des modèles étant mise en annexe.

I.2.1 Les modèles GR

I.2.1.1 GR2M version de Makhlouf

Le modèle GR2M a été élaboré au CEMAGREF sur un ensemble de bassins français (Makhlouf, 1994). La particularité de ce modèle réside dans sa simplicité ainsi que le nombre relativement faible de ses paramètres. Ce modèle comporte deux paramètres X1 et X2 dont les

valeurs sont déduites d'une période d'apprentissage durant laquelle sont comparés les débits observés et ceux calculés par le modèle grâce à la seule connaissance des pluies et de l'évapotranspiration potentielle de chaque mois.

Le modèle GR2M de Makhoulf est constitué :

- D'un réservoir sol quadratique qui régit la fonction de production et qui est caractérisé par sa capacité maximale A qui représente la capacité de rétention en eau du sol. La fonction de production équilibre au mieux le bilan en volume du bassin versant ; elle traduit la plus ou moins bonne aptitude du bassin versant à produire des écoulements.
- D'un réservoir eau gravitaire (linéaire) qui régit la fonction de transfert. La distribution des débits dans le temps (ici au pas de temps mensuel) est assurée par la fonction de transfert. Cette fonction rend compte du décalage dans le temps entre la pluie et les écoulements.

Le mode de fonctionnement du modèle GR2M peut se résumer de la façon suivante :

- Une fraction de la pluie mensuelle participe à l'écoulement direct ;
- Le niveau du réservoir sol évolue en fonction de la pluie P et de l'ETP par l'intermédiaire d'une évapotranspiration réelle ETR ;
- La vidange progressive du réservoir eau gravitaire produit l'écoulement retardé.

I.2.1.2 GR2M Version de Mouehli, 2002

Comme la version de Makhoulf, ce modèle est aussi caractérisé par deux fonctions :

Une fonction de production qui s'articule autour d'un réservoir sol de capacité maximale X_2 , paramètre à caler. Cette version ne présente pas de phase d'interception partielle comme pour le cas de Makhoulf. Une percolation du réservoir sol vers le transfert est assurée par une fonction dépendant de l'état du stock H . Cette percolation suit une loi de vidange du réservoir sol de capacité maximale X_2 et d'exposant de vidange de 2,5.

La fonction de transfert est représentée par un réservoir à vidange quadratique de capacité fixée à 50 mm. Ce réservoir est modifié par un échange souterrain, dont le coefficient X_1 est le deuxième paramètre à optimiser.

L'échange souterrain a remplacé avantageusement la phase d'interception partielle présente dans le modèle de Makhoulf et assuré par une fonction issue de l'analyse au pas de temps pluriannuel (Mouehli, 2002). Ainsi, le paramètre d'échange a remplacé le paramètre qui était censé corriger l'évapotranspiration dans le modèle de Makhoulf.

I.2.1.3 GR3M ancienne version, Kabouya, 1991

Ce modèle a vu le jour suite aux travaux de Kabouya (1990, 1991).

Il est caractérisé par :

- une phase partielle d'ajustement des données qui se traduit par un paramètre lié seulement à l'ETP, contrairement au modèle GR2M version de Makhoul où le paramètre concerne la pluie et l'ETP ;
- une nouvelle forme d'interception **Z**;
- la présence d'un écoulement pseudo - direct caractérisé par son coefficient noté, $\alpha = 0,5$.

Il s'agit d'un modèle à deux réservoirs. Un réservoir sol caractérisé par le paramètre A qui représente sa capacité maximale et un réservoir linéaire de routage caractérisé par le paramètre B. En revanche, le troisième paramètre C est introduit plutôt pour corriger l'ETP de la manière suivante :

I.2.1.4 GR3M amélioré de Mouelhi, 2002

Cette version du GR3M est différente de celle de Kabouya (1991) par l'absence de l'écoulement direct et du paramètre B qui devient le coefficient de vidange.

I.2.2 Autres modèles

I.2.2.1 Modèle ABCD (Thomas, 1981)

Le modèle "abcd" est un modèle au pas de temps mensuel. En interne, le modèle représente le stockage de l'humidité du sol, le stockage des eaux souterraines, l'écoulement direct, les eaux souterraines à l'exutoire et l'évapotranspiration réelle. C'est un modèle à quatre paramètres comme le nom l'indique : a, b, c, d, et s'articule autour de deux réservoirs : un réservoir sol de capacité maximale et un réservoir souterrain. Il a été initialement introduit par Thomas (1981) et Thomas et *al.* (1983) comme un modèle approprié pour effectuer l'évaluation des ressources en eau d'une région en utilisant une échelle de temps mensuelle.

I.2.2.2 BUCKET

Publié pour la première fois par Thornthwaite et Mather (1955), Le modèle BUCKET est un modèle mensuel à trois (03) paramètres :

- α : coefficient de séparation des écoulements
- S_{max} : capacité maximale du réservoir sol
- λ : constante de vidange du réservoir de routage

Ce modèle a été testé par Arnell (1992) sur 12 bassins en Grande-Bretagne, pour étude des effets des changements climatiques et par Alley (1984) sur 10 bassins américains (New-Jersey).

La technique d'optimisation utilisée est l'algorithme de Rosenbrock.

I.2.2.3 Modèle WBM

Ce modèle a été développé par Vörösmarty (1989) et validé pour le haut Nil Bleu en Egypte par Conway (1997). Le modèle comporte deux (02) paramètres continus (α et β) à estimer. Nous présenterons ici une version modifiée (Conway et Jones, 1999) du Water Balance Model (WBM).

Le modèle comporte un seul réservoir dont la capacité est définie suivant la capacité de rétention en eau du sol WHC (Water Holding Capacity). Ce réservoir joue un rôle de nappe de versant et produit l'écoulement de base en saison sèche. Un écoulement R se produit lorsque P (la pluie) excède l'ETP (évapotranspiration potentielle) et satisfait le déficit d'humidité du sol SMD (Soil Moisture Capacity). Une partie α (premier paramètre du modèle à optimiser) de la pluie se transforme en écoulement directe avant l'établissement du bilan d'eau.

I.2.2.4 Modèle SMAP

Le modèle SMAP comporte cinq (05) paramètres continus (SAT, E1, E2, CREC, CK) à estimer.

Il est utilisé en Algérie essentiellement pour les études de faisabilité des barrages (Promon, 1987 dans thèse de Kabouya). Au Burkina Faso, le modèle a été utilisé dans le cadre de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) pour l'estimation de la disponibilité des ressources en du pays (Wellens et Compaoré, 2003).

Le modèle SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) (Wellens et Compaoré, 2003) est un modèle au pas de temps mensuel et est constitué par des réservoirs virtuels qui simulent les phénomènes essentiels de retenue et de transfert des eaux de pluies. Deux réservoirs linéaires représentent le sol et la nappe phréatique (réservoir souterrain).

Un bilan de masse est établi à chaque pas de temps. Une fraction de l'eau précipitée passe directement comme écoulement de surface et est déduite du système, tandis qu'une partie alimentera le réservoir du sol.

Dans le réservoir du sol, une partie de la pluie résiduelle se perd par évapotranspiration réelle et l'autre partie recharge un réservoir souterrain qui par la suite produit l'écoulement de base.

La somme des écoulements superficiel et de base forme le débit total.

Le tableau 1 donne les informations sur le type de réservoirs, le coefficient d'écoulement pseudo-direct et le nombre de paramètres des modèles utilisés :

Tableau 1: Récapitulatif des modèles

Modèles	Réservoir Sol	Réservoir de routage	Écoulement pseudo-direct	Nombre de paramètres
GR2M Makkhlouf 1994)	200 mm	Libre	0	2
GR2M Mouelhi (2000)	Libre	Libre	0	2
GR3M Kabouya (1991)	Libre	Libre	0,5	3
GR3M Mouelhi (2002)	Libre	Libre	0	3
ABCD	Libre	Libre	Libre	4
BUCKET	Libre	Libre	Libre	3
SMAP	Libre	Libre	Libre	5
WBM	-	WHC	Libre	2

I.2.3 Les variables d'entrée et de sortie des modèles hydrologiques mensuels

✓ **La pluie**

La pluviométrie consiste presque toujours à mesurer une hauteur de précipitations pendant un intervalle de temps, c'est à dire qu'elle ne permet d'atteindre que le cumul des précipitations au cours de l'intervalle de temps considéré. On a coutume d'exprimer les précipitations journalières, mensuelles ou annuelles en millimètre par jour, par mois ou par an, réservant généralement l'expression en intensité (mm/h) à des intervalles de temps plus courts.

Dans notre cas, la pluviométrie (P) est exprimée en mm/mois. Elle représente la hauteur d'eau tombée sur le bassin versant considéré et intégrant la distribution spatio-temporelle.

✓ **L'évapotranspiration**

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La valeur de l'évapotranspiration potentielle est fonction de l'énergie disponible (Margat, 1997). Elle déduite par des formules empiriques telles que celles de Penman (1968), Morton (1983) ou de Turc. L'unité de l'évapotranspiration est le mm/mois.

✓ **Le débit**

Suite à une pluie tombée sur le bassin versant, tout un mécanisme complexe d'interaction de phénomènes hydrologiques et climatologiques se met en œuvre. Il se traduit par une circulation, directe ou indirecte, de l'eau à travers le sol ou le sous-sol en passant par les cours

d'eau secondaires puis principaux, et finissant par l'exutoire du bassin versant. A l'échelle globale du bassin versant, le débit à l'exutoire traduit la réaction de tout le bassin suite à une pluie. Il est mesuré par différentes techniques hydrométriques, par exemple : le jaugeage par moulinet ou le jaugeage chimique. Ce débit est exprimé en mètre cube par seconde (m^3/s) que nous ramènerons en millimètre par mois (mm/mois), pour une uniformisation de toutes les variables nécessaires dans la modélisation.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1 Zone d'étude

La zone d'étude pour ce travail rassemble 51 bassins versants de l'Afrique de l'Ouest. Le choix de ces 51 bassins est fait de sorte à représenter les différents régimes climatiques présents dans cette zone. Ces bassins sont des bassins nationaux et transfrontaliers de sept (07) pays de l'Afrique de l'Ouest dont le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Guinée Conakry, le Mali, le Niger et le Togo.

Le tableau 2 donne les pays et les grands bassins auxquels appartiennent ces 51 sous-bassins ainsi que les rivières qui drainent ces sous-bassins. Les figures 1.1, 1.2 et 1.3 indiquent les localisations de ces bassins.

Depuis le début des années 1970, l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest est touché par une sécheresse qui se caractérise par sa durée, son intensité et son extension (Ardoin-Bardin, 2004). Ainsi les précipitations annuelles ont nettement diminué.

Du point de vue climatique, ces bassins sont sahéliens, tropicaux purs, tropicaux de transition et équatoriaux guinéens.

Tableau 2 : Appartenance des bassins traités par pays et grands bassins

Bassin/Poste	S (km ²)	Grand Bassin	Rivière	Pays	Bassin/Poste	S (km ²)	Grand Bassin	Rivière	Pays	Bassin/Poste	S (km ²)	Grand Bassin	Rivière	Pays
Agboville	4673	Agneby	Agneby	CI	Fadougou	8200	Sénégal	Falémé	Mali	Pont Ouessa	66647	Mouhoun	Mouhoun	BF
Akakoemokrou	57803	Comoe	Comoe	CI	Fetekro	10000	Bandama	Nzi	CI	Porga	22276	Volta	Pendjari	Bénin
Alcongou	42444	Niger	Gouol	Niger	Garbekourou	38868	Niger	Sirba	Niger	Pt de Betenou	10326	Oueme	Oueme	Bénin
Aniassue pont	70636	Comoe	Comoe	CI	Gourbassy	17100	Sénégal	Falémé	Mali	Pont de Save	23600	Oueme	Oueme	Bénin
Bafingdala	6049	Sassandra	Bafing	CI	Iradoukou	1990	Niger	Kouroukele	CI	Rte Beoumi	12530	Bandama	Marahoue	CI
Baro	13080	Niger	Niandan	Guinée	Kalkassi	7460	Niger	Dargol	Niger	Samandéni	4575	Volta	Volta Noire	BF
Boromo	58000	Volta	Volta Noire	BF	Kankan	9900	Niger	Mlo	Guinée	Sansanne Mango	35650	Volta	Oti	Togo
Bouaflé	21267	Bandama	Marahoue	CI	Koriziena	2887	Niger	Gouol	BF	Semien	29300	Sassandra	Sassandra	CI
Bougouni	14966	Niger	Niger	Mali	koulikoro	120000	Niger	Niger	Mali	serebou	49000	Comoe	Comoe	CI
Correkope	9950	Mono	Mono	Togo	Koumangou	6730	Volta	Koumangou	Togo	Siguiri	68000	Niger	Niger	Guinée
Daka Saïdou	15500	Sénégal	Bafing	Mali	Lama Kara 1	1560	Volta	Kara	Togo	Sirka	4035	Mono	Ogou	Togo
Dapola	70000	Volta	Volta Noire	BF	Mbahiakro	15700	Bandama	Nzi	CI	Soubéré	57670	Sassandra	Sassandra	CI
Dimbokro	24100	Bandama	Nzi	CI	Mbasso	70500	Comoe	Comoe	CI	Tera	2684	Niger	Niger	Niger
Dioula	32431	Niger	BAni	Mali	Nibehibe	7280	Sassandra	lobo	CI	Tetetou	20500	Mono	Mono	Togo
Dolbel	7505	Niger	Léli	Niger	Nwokuy	15464	Mouhoun	Mouhoun	BF	Wayen	20159	Nakambé	Nakambé	BF
Dotaicope	5590	Mono	Mono	Togo	Nzianoa	35000	Bandama	Nzi	CI	Yakala	35110	Nakambé	Nakambé	BF
Douna	101600	Niger	Bani	Mali	Pankourou	84700	Niger	Bagoé	Mali	yendere	5930	Comoe	Leraba	BF

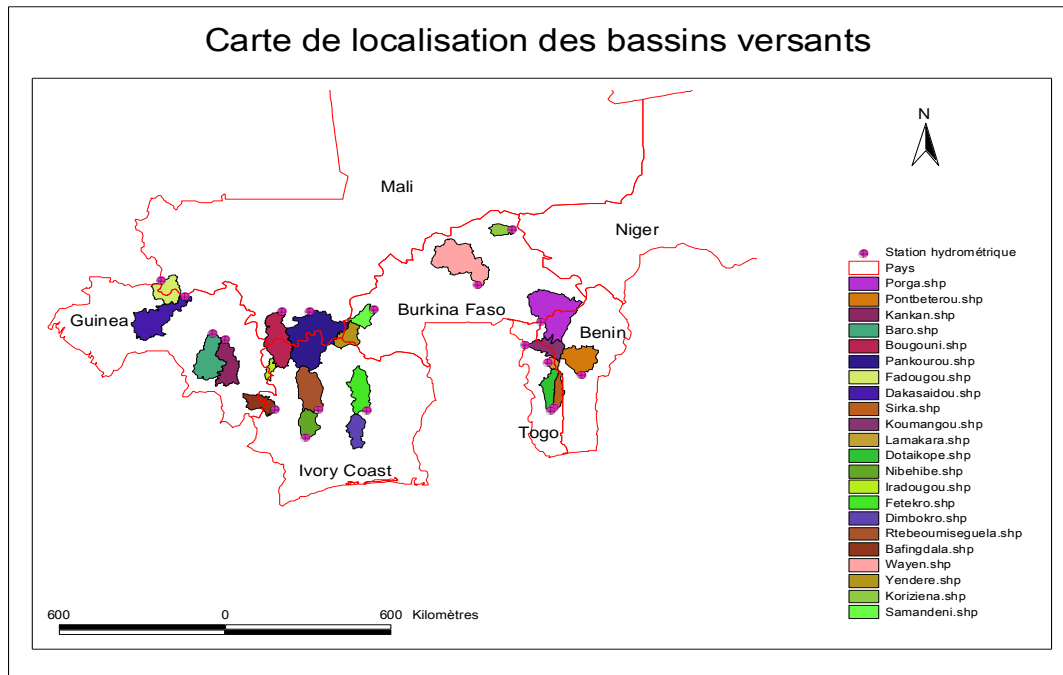


Figure 1.1: Carte de localisation des bassins versants

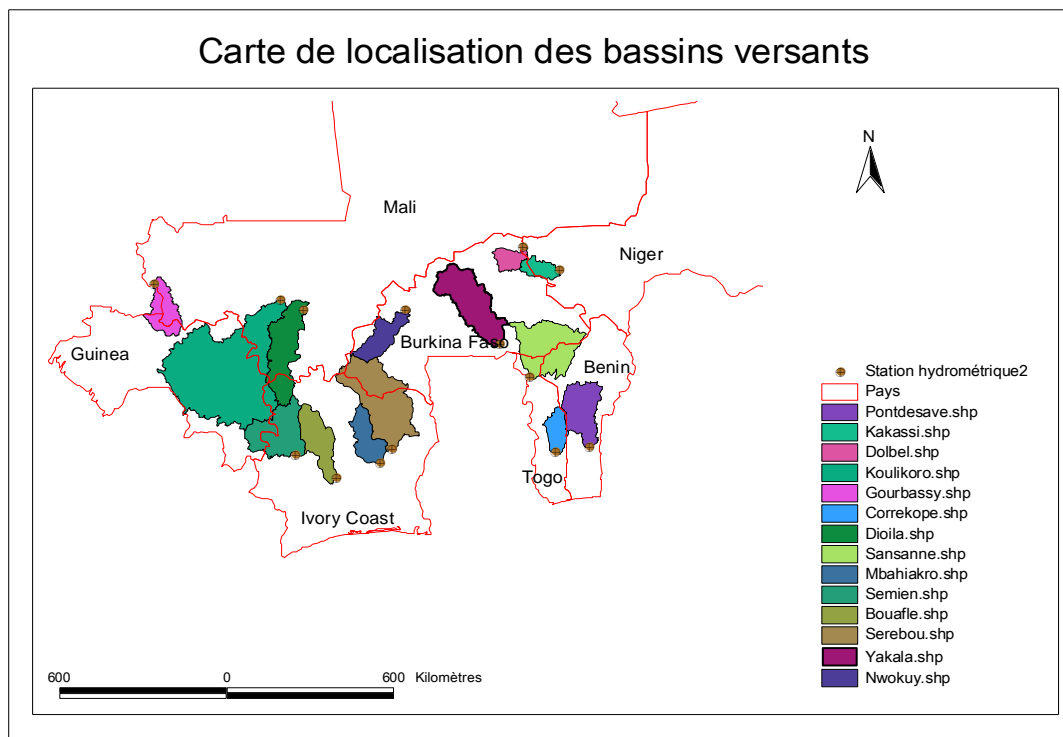


Figure 1.2 : Carte de localisation des bassins versants (suite 1)

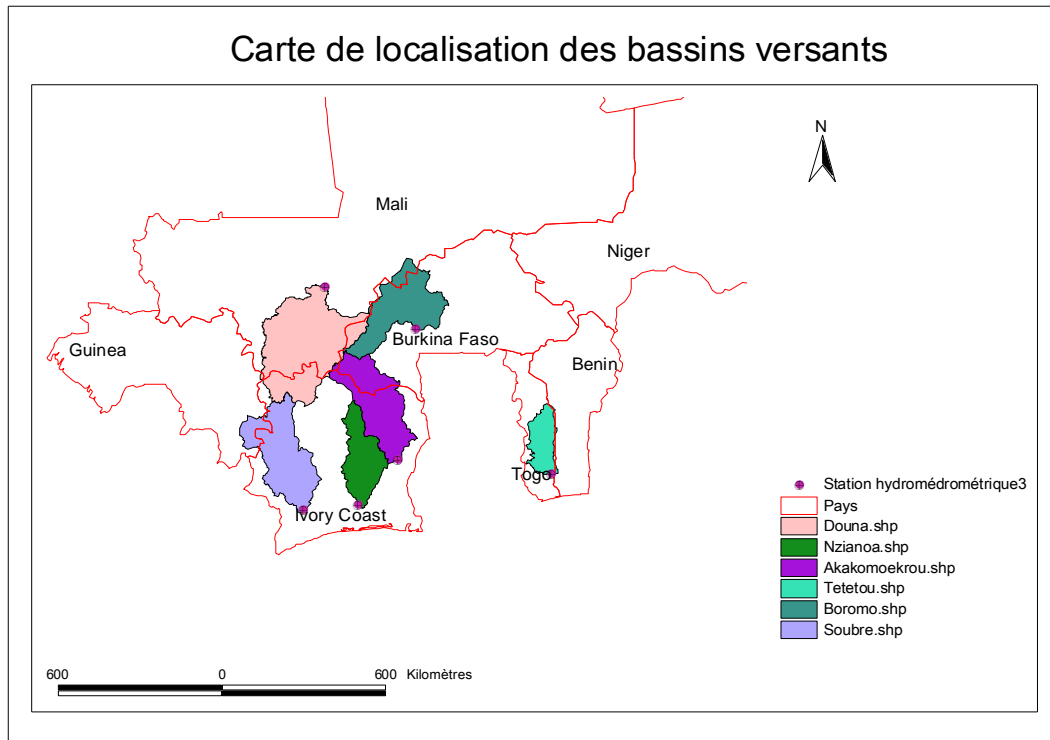


Figure 1.3 : Carte de localisation des bassins versants (suite 2)

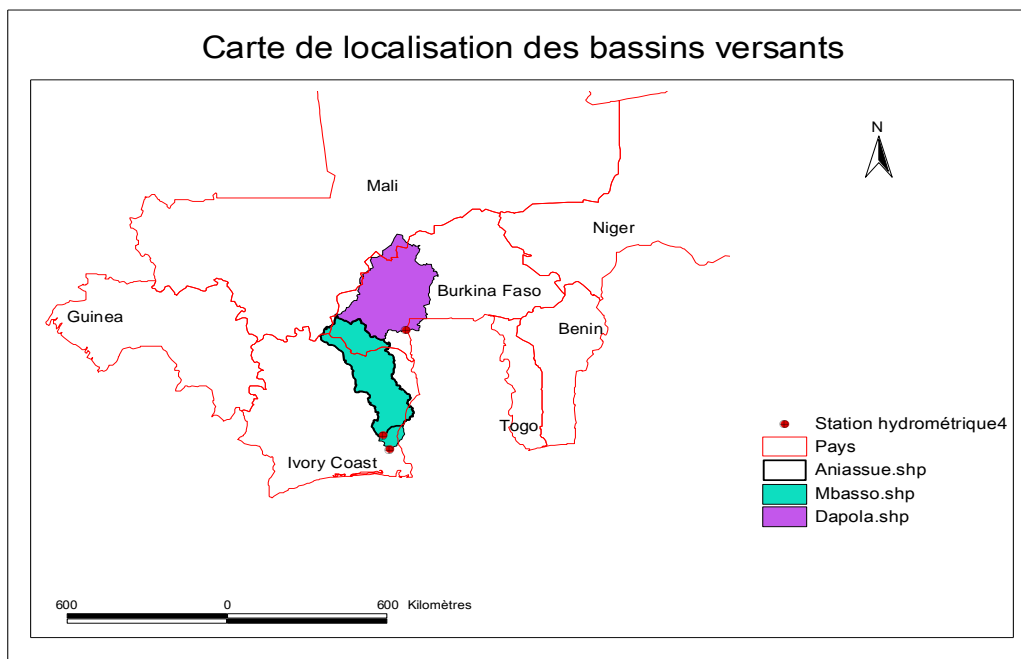


Figure 1.4: Carte de localisation des bassins versants (suite 3)

II.2 Matériels

Pour le traitement et la manipulation des données, nous avons eu recours à différents moyens informatiques. Le logiciel Matlab (MATrix LABoratory) qui est un logiciel de calculs et de programmation numérique a été utilisé. Son intérêt est de faire une programmation infiniment plus rapide pour le calcul et pour l'affichage, sa simplicité d'utilisation ainsi que la richesse de sa bibliothèque. Les écritures mathématiques des différents modèles et méthodes d'optimisation ont été éditées sous le langage de programmation Matlab. Les différentes opérations effectuées lors du calage et de la validation ainsi que les graphiques se font sur Matlab. Le logiciel Excel a été utilisé pour le stockage des données d'entrée et la conception d'un fichier batch qui facilite le choix des opérations à faire. Après l'exécution du modèle, les résultats sont stockés dans des classeurs Excel.

Les fonds de cartes des différents bassins et l'hydrographie sur ces bassins ont été téléchargés sur le site de HSM-SIEREM (www.hydrosciences.fr/sierem).

II.3 Présentation des données

Les données d'entrées des modèles utilisés dans le cadre de ce travail sont les données climatiques que sont les chroniques de pluies (P) et d'évapotranspiration potentielle (ETP) et les données hydrologiques que sont les chroniques de débits.

Les données de pluie et d'ETP proviennent du CRU (Climate Research Unit). La formule utilisée pour le calcul de l'ETP est celle de Penman. Ces données climatiques ne présentent aucune lacune.

Les mesures hydrologiques de débits sont des données issues de différentes stations hydrométriques.

Les données de débits proviennent de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) du Burkina Faso pour les stations hydrométriques situées sur le territoire burkinabé, les autres données ayant été obtenues via HSM-SIEREM (www.hydrosciences.fr/sierem). On dispose pour cette étude des données de débits mensuels pour des périodes variables d'une station à une autre. Les taux de lacunes varient aussi entre 0% et 39% selon les bassins.

Le tableau 3 présente les périodes et pourcentage de lacunes des données hydrométriques.

Tableau 3 : Périodes de données disponibles et taux de lacunes des débits

Nom station	Période	Lacune	Nom station	Période	Lacune	Nom station	Période	Lacune
Agboville	1955-1991	31%	Fadougou	1925-1990	9%	Pont Ouéssa	1952-1998	17%
Akakomoekrou	1956-1998	1%	Fetekro	1960-1996	2%	Porga	1951-1998	17%
Alcongou	1961-1982	0%	Garbekouro u	1956-1982	13%	Pont de Betenou	1969-1998	32%
Aniassue pont	1953-1998	3%	Gourbassy	1925-1998	19%	Pont de Save	1952-1996	23%
Bafingdala	1961-1998	3%	Iradougou	1962-1996	0%	Rte Beoumi	1954-1997	4%
Baro	1950-1995	0%	Kalkassi	1957-1982	9%	Samandéni	1969-1994	13%
Boromo	1969-1998	1%	Kankan	1950-1996	2%	Sansanne Mango	1953-1991	30%
Bouafle	1954-1998	1%	Koriziena	1972-1998	14%	Semien	1954-1998	12%
Bougouni	1956-1979	11%	koulikoro	1927-1997	0%	serebou	1963-1996	1%
Correkope	1956-1991	16%	Koumangou	1959-1991	39%	Siguiri	1952-1998	0%
Daka Saïdou	1956-1990	2%	LamaKara 1	1954-1990	2%	Sirka	1957-1990	32%
Dapola	1969-1998	0%	Mbahiakro	1954-1996	1%	Soubré	1954-1998	27%
Dimbokro	1961-1998	17%	Mbasso	1956-1996	17%	Tera	1961-1995	31%
Dioila	1953-1998	12%	Nibehibe	1961-1998	8%	Tetetou	1951-1998	18%
Dolbel	1961-1980	5%	Nwokuy	1965-1977	14%	Wayen	1972-1998	14%
Dotaicope	1960-1991	18%	Nzianoa	1953-1998	9%	Yakala	1956-1985	17%
Douna	1950-1998	4%	Pankourou	1956-1998	4%	Yendere	1955-1998	2%

II.4 Méthodes

II.4.1 Calage/Validation

Le calage consiste à déterminer les paramètres optimaux pour lesquelles le modèle représente au mieux la réalité pour les données hydro-climatiques d'une période donnée.

Pour la validation, il consiste, pour une autre période de données n'ayant pas servi pour le calage, d'appliquer au modèle les valeurs des paramètres obtenues lors du calage. Si la valeur de la fonction critère est jugée satisfaisante, on retient ces paramètres pour l'ensemble des périodes.

II.4.2 Critère d'optimisation : fonction objectif

II.4.2.1 Choix de la fonction objectif

Il existe dans la littérature plusieurs fonctions critères. La modélisation hydrologique comporte un certain nombre de paramètres identifiés généralement avec un critère de choix à partir de séries de mesures de pluie et de débit d'un bassin versant. Ainsi pour garder une certaine cohérence avec certains travaux hydrologiques déjà menés, notre choix de la fonction critère se porte sur le critère de Nash-Sutcliffe (Nash et *al.*, 1970) pour les raisons principales suivantes:

- ✓ Une étude comparative entre différentes formes de critères a été effectuée par Servat et *al.* (1989) et a montré que le critère de Nash-Sutcliffe (NS) s'impose comme celui qui globalement permet d'accéder au meilleur calage.
- ✓ Lors de ses travaux de recherche au sein du Cemagref, Perrin (2000) a utilisé le même critère, après une étude comparative avec d'autres formes de fonctions critères, en vue d'une amélioration du modèle GR4J.

II.4.2.2 Description du critère NS

Le choix du critère dépend en fait de l'objectif choisi pour le modèle : NS (Q) évalue majoritairement l'aptitude du modèle à simuler des débits de crue, alors que NS ($\ln(Q)$) se focalise plutôt sur les débits d'étiage. Compromis entre ces deux extrêmes, NS (\sqrt{Q}) permet d'avoir un critère d'évaluation objectif qui ne donne pas démesurément plus de poids aux faibles débits qu'aux forts. D'après Perrin (2000), le critère NS (\sqrt{Q}) offre le plus de robustesse pour la validation (Perrin, 2000).

$$NS(Q) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs}^i - Q_{cal}^i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs}^i - \overline{Q_{obs}})^2}$$

$$NS(\ln Q) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\ln(Q_{obs}^i) - \ln(Q_{cal}^i))^2}{\sum_{i=1}^N (\ln(Q_{obs}^i) - \overline{\ln(Q_{obs})})^2}$$

$$NS(\sqrt{Q}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\sqrt{Q_{obs}^i} - \sqrt{Q_{cal}^i})^2}{\sum_{i=1}^N (\sqrt{Q_{obs}^i} - \sqrt{\overline{Q_{obs}}})^2}$$

NS varie entre $-\infty$ et 1. Une valeur de NS égale à 1 signifie que le modèle est « parfait » : le résultat de la simulation du modèle calé est en total accord avec les observations. Une valeur de NS inférieure à 0 signifie que le modèle n'explique pas mieux le comportement du bassin que le modèle de référence, ici à « débit constant », la moyenne.

II.4.3 Méthodes d'optimisation

Les méthodes d'optimisation utilisées sont celles de Rosenbrock (1960) et du Simplex développé par Nelder et Mead (1964). Nous présenterons sommairement le principe de fonctionnement de ces méthodes, les algorithmes complets décrivant ces méthodes d'optimisation ayant déjà fait l'objet de plusieurs études.

II.4.3.1 Principe de la méthode de Rosenbrock

On se donne un point de départ. La méthode consiste à procéder par recherches unidimensionnelles successives le long d'un jeu de n directions orthonormées dans l'espace des paramètres à optimiser. La recherche débute en introduisant la modification d'un pas de Δx_1 dans la première direction correspondant à l'axe du premier paramètre. Si la valeur de la fonction critère à ce nouveau point est inférieure ou égale à la valeur du point précédent (succès), le pas Δx_1 est alors multiplié par facteur α positif, et on remplace le premier point par ce nouveau point. Si la valeur est supérieure au point précédent (échec) le premier point n'est pas remplacé et le pas de recherche Δx_1 est multiplié par un facteur β négatif. Rosenbrock recommande l'utilisation de $\alpha=3$ et $\beta=-0,5$. Le processus se poursuit jusqu'à l'obtention d'un succès suivi d'un échec. On change alors de systèmes d'axes. Le point d'arrivée, celui où la valeur du critère est la plus faible depuis le début du processus, sert à définir le premier axes du nouveau système d'axes. On répète le processus jusqu'à ce qu'on

enregistre à nouveau un succès suivi d'un échec sur chaque axe. L'arrêt de la méthode s'effectue à partir d'un nombre donné d'étapes de recherches (ou itérations) ou lorsque les variations de la fonction critère restent inférieures à une valeur donnée.

II.4.3.2 Principe de la méthode du Simplex

Un Simplex est un polyèdre régulier à $n+1$ sommets dans espace à n dimensions (E^n), avec n le nombre de paramètres à optimiser. Dans le cas de la recherche du minimum d'une fonction critère $f(x)$, on peut sélectionner des valeurs de x en des points de l'espace E^n situés aux sommets du Simplex. La fonction critère peut être évaluée en chacun des sommets du Simplex. On peut alors faire une projection du point présentant la valeur la plus élevée passant par le barycentre des autres sommets. Ce point est alors supprimé et un nouveau Simplex obtenu par « réflexion » peut être constitué à partir des points restants et du nouveau point projeté. L'élimination systématique du sommet présentant la valeur la plus élevée de la fonction critère et de quelques règles permettant de réduire la taille du Simplex, permet une recherche directe à pas fixe mais à direction variable.

II.4.3.3 La recherche du point de départ

Les deux méthodes d'optimisation nécessitent le choix d'un jeu initial de paramètres comme point de départ.

Nous avons constaté que la recherche de l'optimum est fortement tributaire des valeurs initiales des paramètres. Plus les valeurs initiales sont proches des valeurs à l'optimum, plus la recherche de l'optimum vrai est meilleure. Pour cela, nous avons adopté la démarche suivante :

Les autres paramètres étant fixés, on discrétise l'espace de variation d'un paramètre à un pas donné. On calcule la valeur de la fonction critère en chaque point de discrétisation. Le point où la fonction critère est minimale correspond à la valeur initiale de ce paramètre. On répète la même procédure pour chacun des autres paramètres. Cela nous permet de trouver un jeu initial de paramètre voisin de celui des paramètres optimum.

Les paramètres ainsi obtenus sont utilisés comme point de départ par la méthode d'optimisation (Rosenbrock ou Simplex selon le cas).

II.5 Méthodologie de test des différents modèles

II.5.1 Performance

II.5.1.1 Caractéristiques d'évaluation de la performance d'un modèle

Du point de vue hydrologique, un des objectifs d'un modèle est de pouvoir générer des chroniques de débit à partir des chroniques de pluie P et d'évapotranspiration potentielle ETP qui sont les données d'entrées du modèle. Le modèle sera d'autant plus satisfaisant que les débits simulés (Q_{sim}) à partir du modèle seront proches des débits réellement observés (Q_{obs}).

Un modèle est dit performant s'il est capable de bien retranscrire en phase de calage les débits observés sur un bassin.

L'évaluation de la performance d'un modèle ne se fait pas seulement sur un seul bassin et une seule période d'étude mais aussi sur d'autres périodes et sur plusieurs bassins.

Apprécier la performance du modèle consiste donc à juger de la proximité des deux séries chronologiques Q_{obs} et Q_{sim} . Il est donc nécessaire d'utiliser des critères de validité d'un modèle. Pour ce faire, nous allons considérer les approches utilisées par HOFFER (2005) dans ses travaux de mémoire de fin d'étude:

- Si $NS > 0,8$ alors le modèle est bon sur la période.
- Si $0,7 < NS \leq 0,8$ alors le modèle est satisfaisant
- Si $0,6 < NS \leq 0,7$ alors le modèle est acceptable
- Si $0,5 < NS \leq 0,6$ alors le modèle est peu acceptable
- Si $NS \leq 0,5$ alors le modèle est mauvais.

Nous avons également considéré deux sous-périodes : une pour le calage et l'autre pour la validation et vice-versa. Pour l'identification de ces sous périodes, nous utilisons le principe du « Differential Split-Sample Test » (Klemes, 1986). Ce test consiste à séparer la période de données disponibles en deux sous-périodes indépendantes et présentant un caractère non stationnaire (caractéristiques climatiques indépendantes d'une période à l'autre), de caler le modèle sur une période et valider sur l'autre période, puis inversement. Compte tenu des événements climatiques qui sont survenus en 1970 et en 1980 en Afrique de l'Ouest, nous procéderons au découpage des sous périodes comme suit :

- Pour les bassins qui ont des données avant 1970 et après 1970, nous allons considérer les périodes suivantes : P1= avant 1970 et P2= après 1970 (1970 compris).
- Pour les bassins n'ayant données qu'entre 1970 – 1980 et après 1980, on a P1= avant 1980 et P2= après 1980 (1980 compris).
- Si le modèle en phase de calage est bon sur les deux sous périodes alors il est « très performant »
- Si le modèle en phase de calage est bon sur l'une des deux sous – périodes et satisfaisant sur l'autre alors il est « performant ».
- Si le modèle en phase de calage est satisfaisant sur les deux sous – périodes alors il est « moins performant ».
- Si dans une des sous périodes le Nash < 70%, le modèle sera considéré comme étant «non adaptés » à ce bassin.

II.5.1.2 Paramètres d'évaluation de la performance

La performance sera testée en fonction :

- De la méthode d'optimisation
- De la fonction critère
- Des périodes de calage/validation

II.5.2 Temps de simulation

En utilisant les mêmes données pour tous les modèles, nous évaluerons ici le temps mis pour exécuter une simulation pour chaque modèle.

Cela nous permettra de déterminer la dépendance ou non entre le temps de simulation et le nombre de paramètres du modèle.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Les modèles que nous utilisons dans le cadre de notre travail sont des modèles à réservoir. Avant donc de procéder à un calage ou une validation, il est nécessaire de renseigner les niveaux initiaux des réservoirs. Makhlouf (1990) a montré qu'une période de mise en route de deux (02) ans suffit pour obtenir de niveaux initiaux des réservoirs acceptables pour le modèle GR2M de Makhlouf.

Dans ce qui suit, nous utiliserons une période de mise en route de deux (02) ans pour tous les modèles.

Les figures 2.1, 2.2, 2.3 représentent les pluies moyennes des périodes P1 et P2 sur chaque bassin.

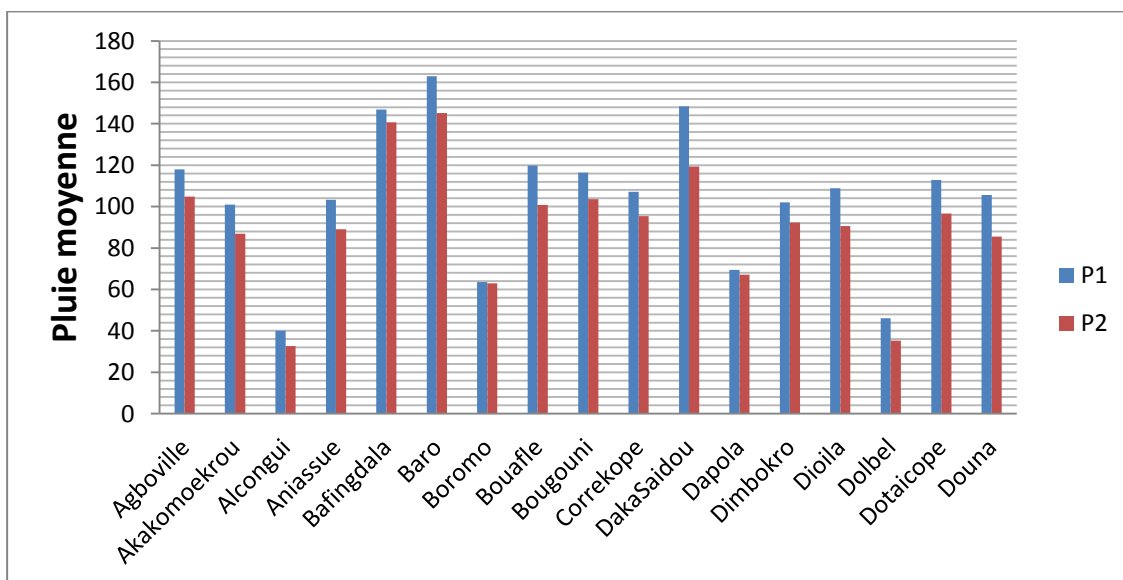


Figure 2.1: Représentation des pluies moyennes avant 1970 et après 1970 (resp. 1980 pour les bassins n'ayant pas de données avant 1970)

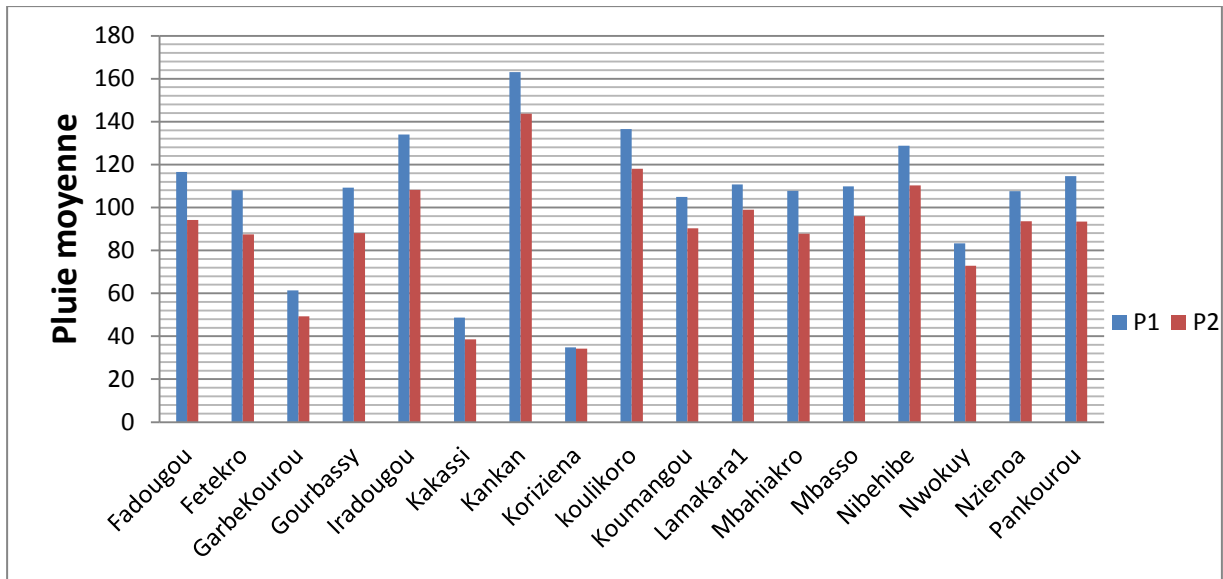


Figure 2.2 : Représentation des pluies moyennes avant 1970 et après 1970 (resp. 1980 pour les bassins n’ayant pas de données avant 1970) (suite 1)

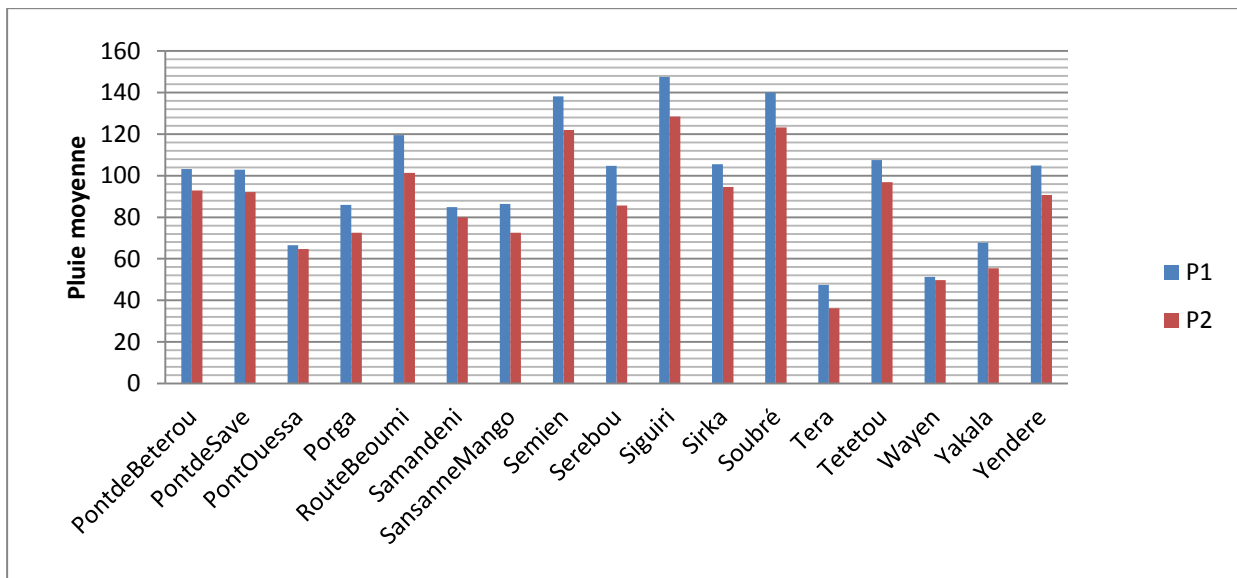
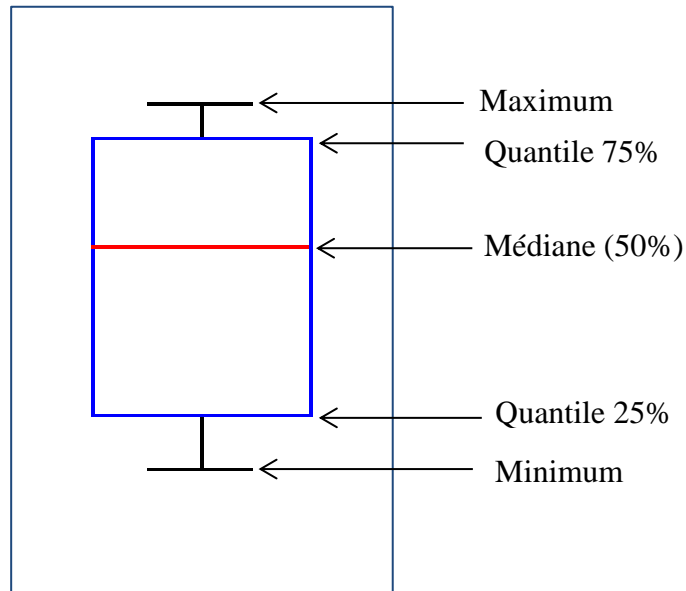


Figure 2.3: Représentation des pluies moyennes avant 1970 et après 1970 (resp. 1980 pour les bassins n’ayant pas de données avant 1970) (suite 2)

Ces figures montrent que pour tous les bassins, la pluie moyenne sur P1 est supérieure à celle sur P2. La période P1 est qualifiée d’humide et P2, de période sèche.

Nous utiliserons des boîtes à moustache pour la représentation des résultats. Ci-dessous une présentation de boîte à moustache.



S'il y a la présence de quelques valeurs exceptionnelles), ces valeurs sont représentées par des symboles + et le maximum devient le quantile 90% et le minimum devient le quantile 10%.

III.1 Performance en fonction de la méthode d'optimisation

Nous allons considérer la période P1 pour le calage et P2 pour la validation. La fonction critère utilisée est le NS (\sqrt{Q}).

Les valeurs de performance des modèles en fonction de la méthode d'optimisation sont représentées par la figure 4. Pour un souci d'échelle, les valeurs négatives de NS(%) sont limitées à -100.

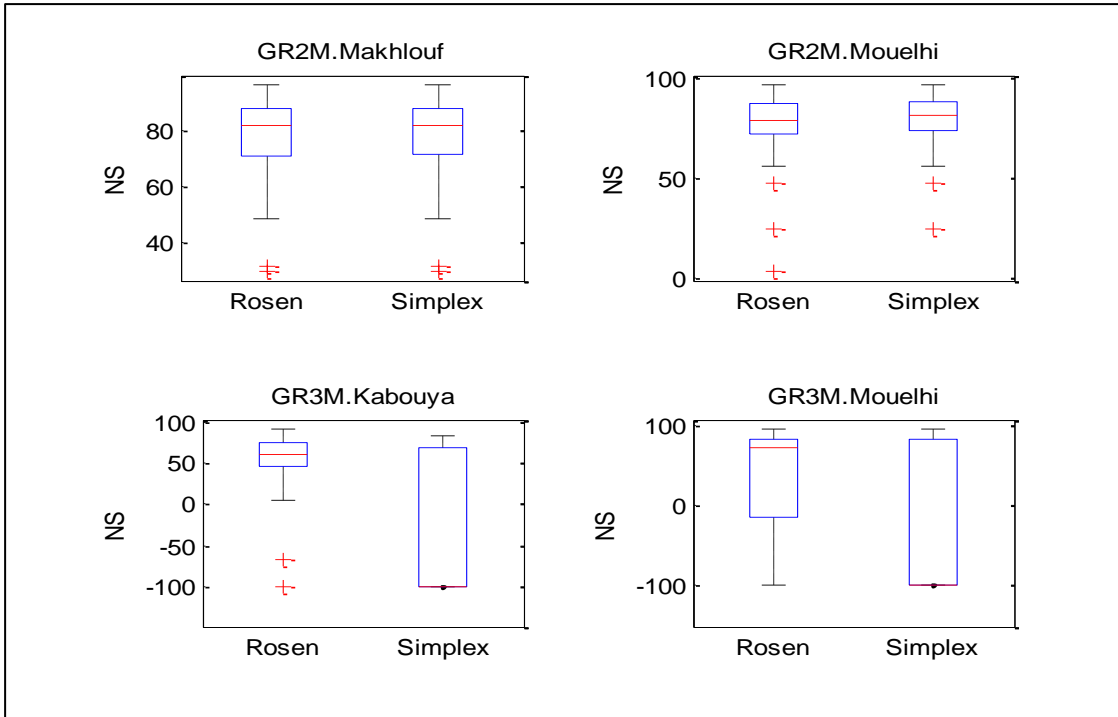


Figure 3.1: Performance en fonction de la méthode d'optimisation

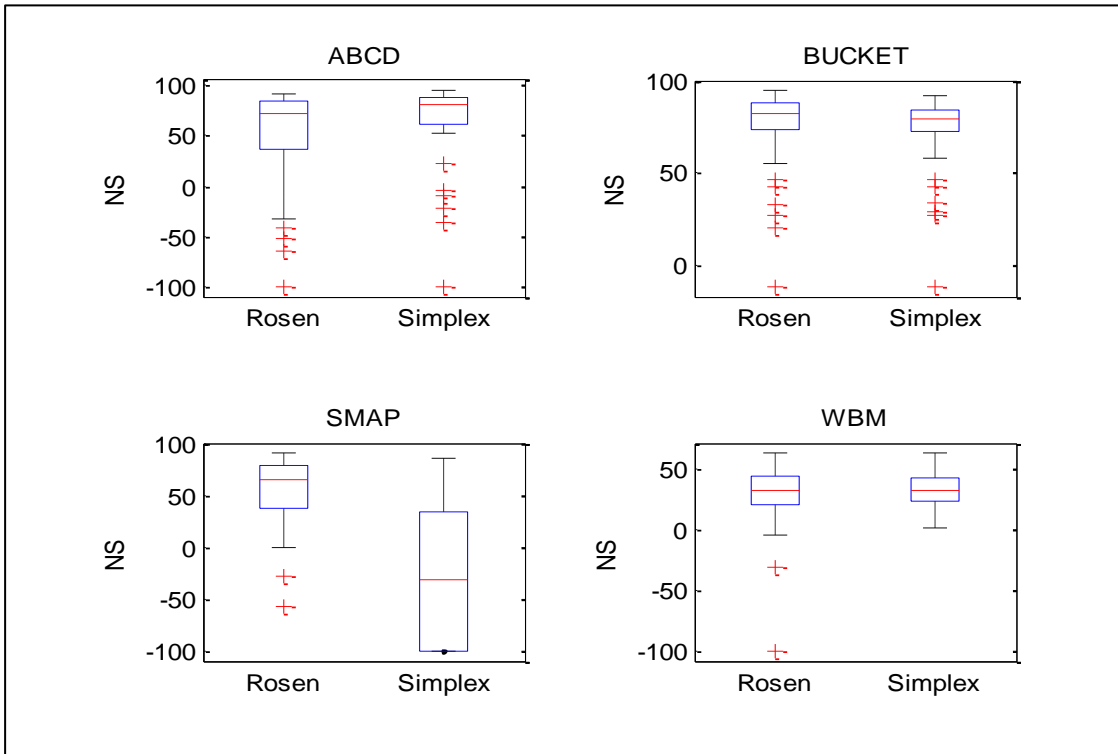


Figure 3.2 : Performance en fonction de la méthode d'optimisation (suite)

Les analyses des valeurs de performance montrent que les performances des modèles sont fonctions de méthode d'optimisation utilisée.

La méthode de Rosenbrock est adaptée aux modèles GR3M.Kabouya GR3M.Mouelhi SMAP, tandis que ABCD marche bien avec le Simplex.

Par contre les modèles GR2M.Makhlouf, GR2M.Mouelhi, BUCKET et WBM sont indépendants de la méthode d'optimisation utilisée.

Ces derniers résultats contredisent ceux de Ardoin-Bardin (2004) où on observe une diminution des performances des modèles entre Rosen et Simplex. Cela se justifiait par le fait que pour la méthode du Simplex, certains paramètres se trouvaient hors de leurs limites, ce qui peut entraîner de valeurs fortement négatives du NS. C'est cette raison même qui nous amène à tenir compte des contraintes en cas d'optimisation par la méthode du Simplex.

La convergence entre ces deux méthodes d'optimisation pour certains modèles dans le cas notre travail se justifie également par la façon dont nous déterminons le point de départ de l'optimisation.

En effet, étant donné que le point de départ est au voisinage des valeurs des paramètres à l'optimum, cela réduit les chances de tomber sur des optimums locaux.

III.2 Performance en fonction de la fonction critère

L'analyse figure ci-dessous montre que la performance des modèles est fonction du critère à optimiser.

Nous avons constaté que NS (\sqrt{Q}) (représenté par NS ($\rightarrow Q$) dans les figures) donne de meilleure performance aux modèles GR2M.Makhlouf, GR2M.Mouelhi, GR3M.Kabouya, BUCKET et WBM.

Le critère NS(Q) marche bien avec ABCD, SMAP, WBM.

Le critère NS(ln(Q)) est adaptée aux modèles GR2M et GR3M de Mouelhi.

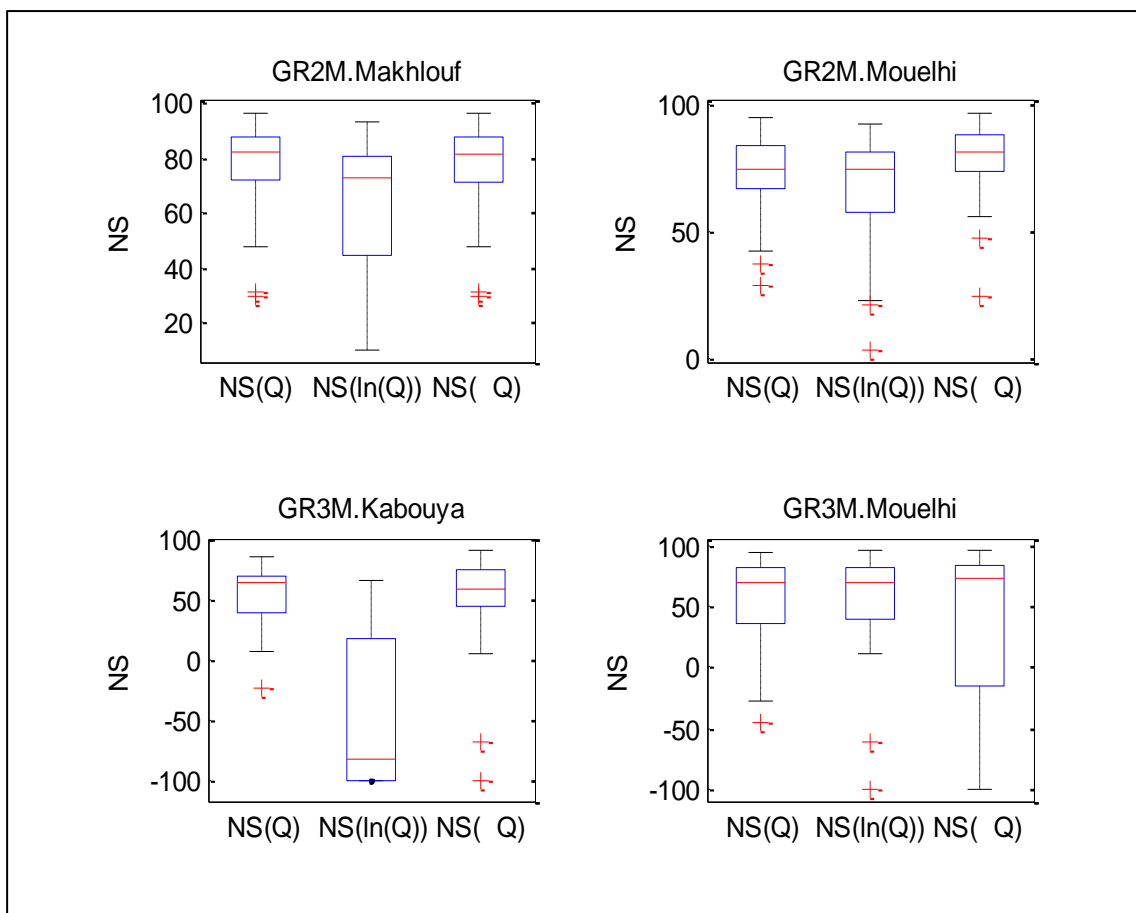


Figure 4.1: Performance en fonction du critère

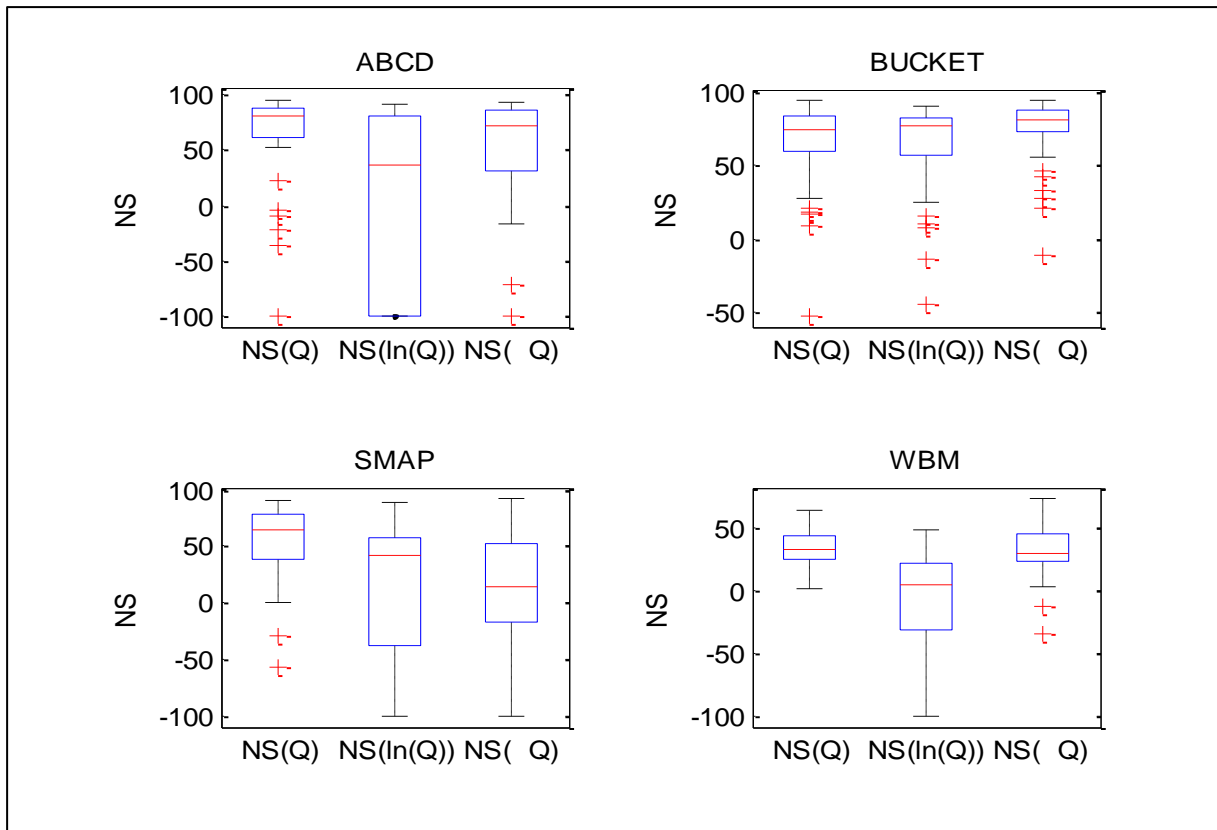


Figure 4.2 : Performance en fonction du critère (suite)

Pour ce qui suit, on utilisera le critère adapté à chaque modèle comme ci-dessus décrit pour toute simulation du modèle considéré.

III.3 Performance en fonction de la période de calage/validation

Après analyse des figures 5.1 et 5.2 qui représentent le NS(%) des modèles en fonction des périodes de calage et de validation ci-dessous, il en ressort qu'il est préférable de faire le calage d'un modèle en période sèche et valider en période humide. Ces résultats rejoignent ceux de Coron et al. (2012) et Vaze et al. (2011) sur des bassins australiens et contredisent ceux de Wilby (2005) et de Li et al. (2011) sur des bassins anglais et autrichiens qui trouvent qu'il est préférable de transposer les paramètres d'une période humide à une période sèche.

Les premiers auteurs relient leur résultats au fait que sur les bassins australiens, l'ETP est limitée par la disponibilité en eau. Pour les bassins africains utilisés, particulièrement ceux de l'Afrique de l'Ouest, l'ETP est également limitée par l'eau disponible.

Sur P2-P1, nous avons eu du mal à simuler le modèle BUCKET, ceci étant, nous n'avons pas pu avoir de résultats de comparaisons pour ce modèle.

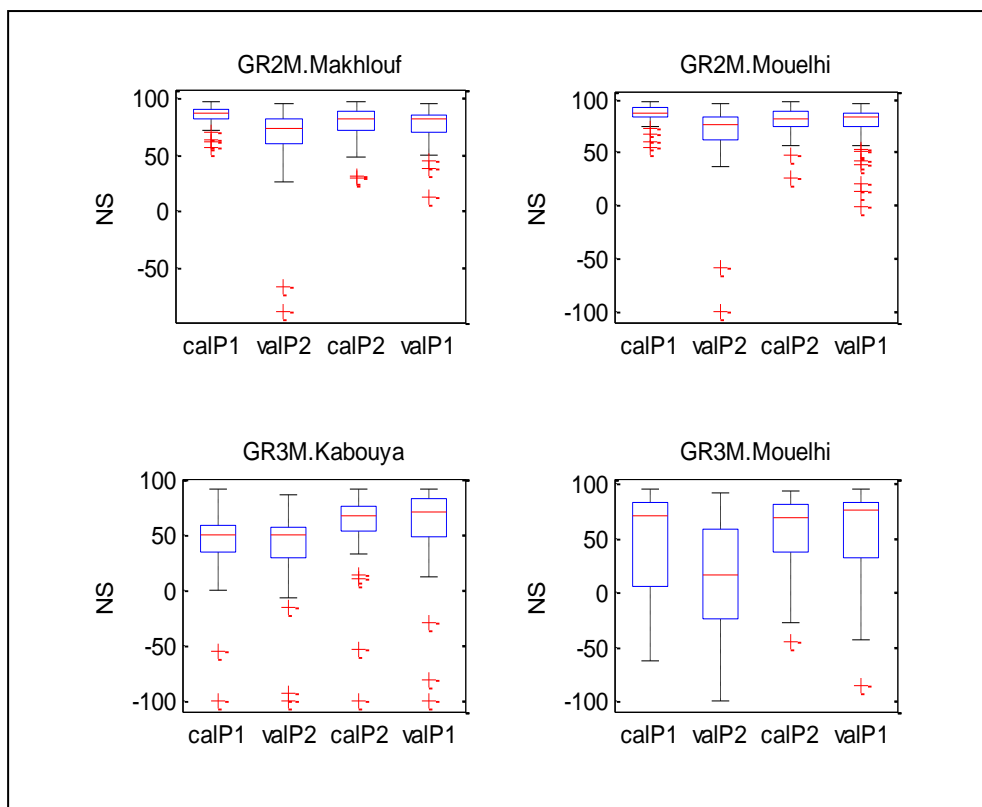


Figure 5.1 : Performance en fonction des périodes calage/validation

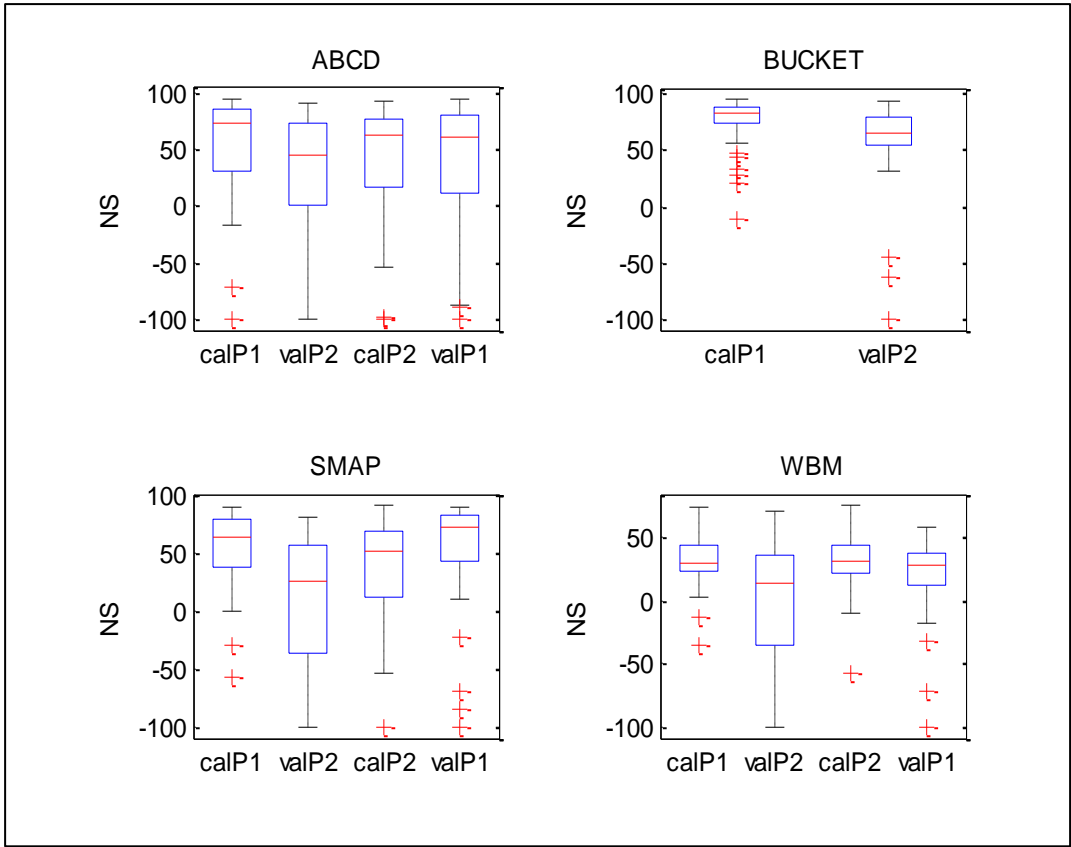


Figure 5.2 : Performance en fonction des périodes calage/validation (suite)

III.4 Temps d'exécution des modèles

En prenant les mêmes conditions de simulation, c'est-à-dire, même fonction critère, même période de calage /validation, même méthode d'optimisation, nous évaluons le temps nécessaire pour faire tourner chaque modèle.

L'analyse du tableau 4 montre que le temps d'exécution d'un modèle est indépendant du nombre de paramètres que comporte le modèle.

Tableau 4 : Temps d'exécution des modèles en fonction du nombre de paramètres

Modèles	GR2M Makhlouf	GR2M Mouelhi	GR3M Kabouya	GR3M Mouelhi	ABCD	BUCKET	SMAP	WB M
Nombre de paramètres	2	2	3	3	4	3	5	2
Temps (s)	897	726	870	889	708	885	832	738

III.5 Comparaison des modèles en terme de performance

L'analyse de la figure 5 permet de faire un classement sur l'ensemble des bassins versants traités modèles selon leurs performances.

Le modèle GR2M.Mouelhi parait le plus performant en calage ainsi qu'en validation, suivi respectivement des modèles GR2M.Makhlouf, GR3M.Mouelhi, GR3M.Kabouya, BUCKET, ABCD, SMAP et WBM. L'annexe II donne les résultats de chacun des modèles sur les 51 bassins.

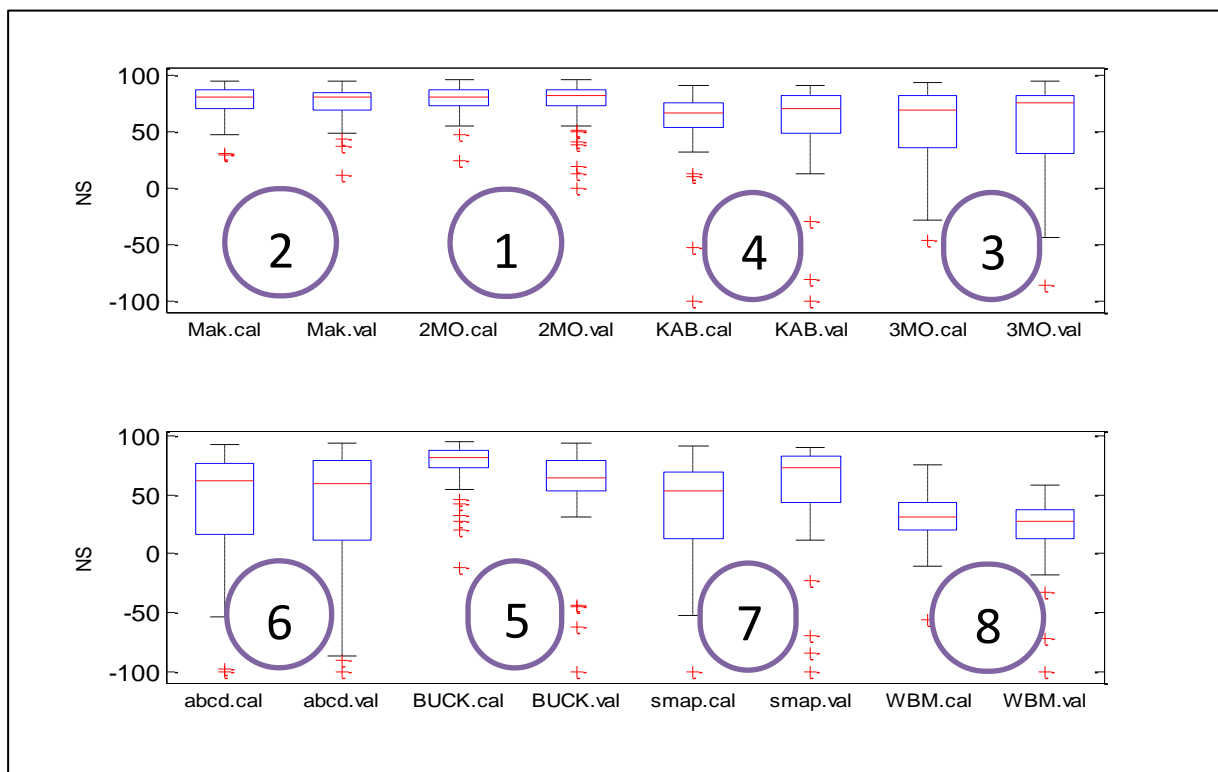


Figure 5: Comparaison des modèles selon leurs performances

CONCLUSIONS

L'objectif de ce travail de recherche est d'une part, identifier les modèles pluie-débit au pas de temps mensuel qui représente au mieux la réalité sur un grand nombre de bassins versant de l'Afrique de l'Ouest, et d'autre part, proposer un outil facilement utilisable de simulation de débit à but de recherche et d'enseignement pour le 2iE.

Une recherche bibliographique a été menée et les modèles GR2M (version de Makhoulf et celle de Mouelhi), GR3M (version de Kabouya et la version de Mouelhi), ABCD, BUCKET, SMAP et WBM ont pu être identifiés.

Des tests de performance sur ces modèles ont été faits en fonction de la méthode d'optimisation, de la fonction critère utilisée pour évaluer la performance et des périodes de calage et validation.

Au terme de ce travail, il en ressort que la performance des modèles en calage est dépendante de la méthode d'optimisation utilisée, de la fonction critère utilisée et des périodes de calage/validation. Les modèles GR et BUCKET ont de meilleure performance en calage et validation avec le critère $NS(\sqrt{Q})$, pendant que $NS(Q)$ donnent de meilleure performance aux modèles ABCD et SMAP. La fonction critère $NS(\ln(Q))$ est adapté aux modèle WBM. Il en ressort également que tous les modèles étudiés sont performants pour un calage en période sèche suivi d'une validation de la validation en période humide.

Nous avons également constaté que le temps de simulation des modèles est indépendant du nombre de paramètres que comporte le modèle.

PERSPECTIVES

Pour l'amélioration des résultats de travail, nous suggérons les recommandations suivantes :

- Identifier encore d'autres modèles mensuels qui représenterons la réalité en terme d'écoulement sur ces bassins ;
- Etendre l'étude sur un nombre de bassins encore plus grands
- Faire l'étude de la sensibilité des modèles aux paramètres à estimer.
- Faire l'étude de la transposibilité de ces modèles

BIBLIOGRAPHIE

- AHADJI, Frédéric Edem K. D. «Analyse de quelques modèles hydrologiques comportant explicitement une prise en compte d'échange entre eaux de surface et eaux souterraines – Zoom sur le Burkina Faso.» Mémoire de fin d'étude. 2013.
- Ambroise, B. «La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : Processus, Facteurs, Modèles.» HGA. Bucarest, 1999. 200.
- Ardoin-Bardin, Sandra. «Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne.» Thèse de doctorat. 2004.
- Conway, D. et P. D. Jones. «Assessing the impact of future climatic change on the water resources and the hydrology of the Rio de la Plata basin Argentina.» Rapport. 1999.
- Coron, L., et al. «Crash testing hydrological model in constricted climate conditions: An experiment on 216 Australian catchments.» Water Resources Research 26 May 2012: VOL. 48, W05552, doi:10.1029/2011WR011721.
- Dezetter, Alain. «Modélisation globale de la relation pluie débit. Application en zone de savanes soudanaises (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire).» Thèse de doctorat. 1991.
- Emma, Haziza. «Modélisation mensuelle pluie-débit/ Apports de la spatialisation- Cas des données de sols.» Mémoire de DEA. 2003.
- Gnouma, R. «Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron.» Thèse INSA Lyon, Cemagref. 2006.
- Hoffer, H. K. «Comparaison de différents schémas de modélisation hydrologique au pas de temps mensuel.» Mémoire de fin d'étude. 2005.
- Kabouya, M. «Modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel et annuel.» Thèse de doctorat. 1990.
- Klemeš, V. «Operational testing hydrological of hydrological simulations models.» Hydrological sciences-Journal des sciences hydrologiques 31 Janvier 1986: 3.
- Li C. Z., Zhang L., Wang H., Zhang Y. Q., Yu F. L. and Yang D. H. «The transferability of hydrological models under nonstationary climatic conditions.» Hydrology and Earth System Sciences Discussion 23 September 2011: 8, 8701–8736.
- Miossec, Marie-Perrine. «Apport des Multi-Modèles pour la modélisation sur des bassins.» Mémoire de DEA. 2004.
- Mouelhi, Safouane. «Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit.» Thèse de doctorat. 2002.
- Mounirou, L. A. «Modélisation hydrologique : Présentation des modèles GR2M et GR3M et leur application.» 2004.
- Ouermi, K. S. «Etude de la transposabilité des paramètres de modèles hydrologiques dans un contexte de changement global : Cas des bassins de l'Afrique de l'ouest et centrale.» Mémoire

- de fin d'étude. 2013.
- Paturel, J.E. et M. Ouédraogo. «Utilisation de modèles hydrologiques pour évaluer les ressources en eau de surface et leur évolution spatio-temporelle — application à l'Afrique de de l'Ouest.» (2003).
- Perrin, Charles. «Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit.» Thèse de doctorat. 2000.
- Servat, E. et A. Dezetter. «Selection of calibration objective fonctions in the context of rainfall-runoff modelling in a Sudanese savannah area.»» Hydrological Sciences Journal (1991).
- Thomas, H.A. Improved methods for rational water assessment. Washington: US Water Resources Council, 1981.
- Thornthwaite, C.W. et J.R. Mather. «The water balance.» (1955): 1-104.
- Vaze J., Post D. A., Chiew F.H.S., Perraud J.-M. , Viney N.R., Teng J. «Climate non-stationarity: Validity of calibrated rainfall-runoff models for use in climate change studies.» Journal of Hydrology (2010): 394 - 447-457.
- Vörösmarty, C.J. «Continental scale models of water balance and fluvial transport - an application to S. America.» Global Biogeochemical Cycles 3 (1989): 241- 265.
- Wellens, J. et N. F. Compaoré. «Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation, GE eau, Rapport Annuel No 2:Décembre 2002 - Novembre 2003.» Rapport Annuel. 2003.

ANNEXES

Annexe I-1 : Description du modèle GR2M de MAKhlouf

Les paramètres :

X1 : Coefficient de correction des données d'entrées

X2 : Proportion de l'écoulement retardé

Schéma du modèle :

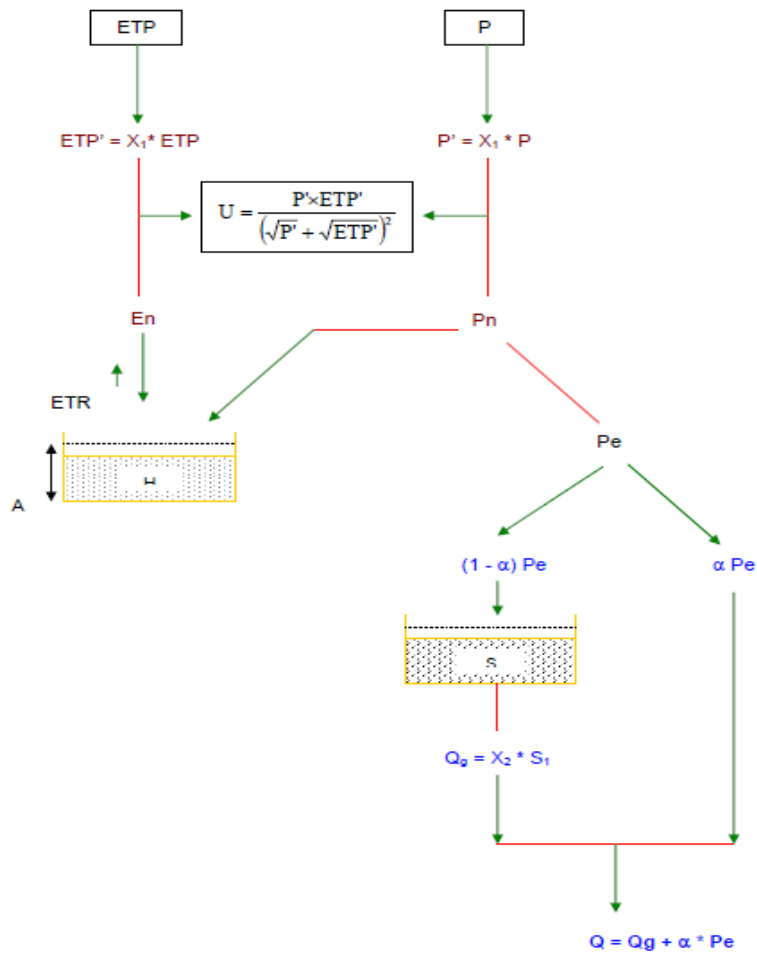


Figure 6: Architecture du modèle GR2M, version de Makhoulouf (1994)

Source :HOFFER(2005)

Description :

$$P' = X_1 \times P \text{ et } ETP' = X_1 \times ETP$$

$$U = \frac{P' \times ETP'}{(\sqrt{P'} + \sqrt{ETP'})^2}$$

$$Pn = P' - U \text{ et } En = ETP' - U$$

On note H le niveau du réservoir sol en début du mois i .

$$H_1 = \frac{H + A \times V}{1 + \frac{H \times V}{A}} \text{ avec } V = \tanh\left(\frac{P_n}{A}\right)$$

$$P_e = P_n - (H_1 - H)$$

$$H_2 = \frac{H_1 \times (1 - W)}{1 + W \left(1 - \frac{H_1}{A}\right)}, \text{ avec } W = \tanh\left(\frac{E_n}{A}\right).$$

Le niveau du réservoir sol au début du pas de temps suivant est : $H = H_2$

$$ETR = H_1 - H_2$$

On note S est le niveau du réservoir eau gravitaire au début du mois i .

$$S_1 = S + (1 - \alpha)P_e$$

$$Q_g = X_2 \times S_1 \text{ avec } 0 < X_2 < 1.$$

$$S_2 = S_1 - Q_g$$

Le niveau du réservoir à la fin du mois i est alors : $S = S_2$

L'écoulement total Q s'écrit : $Q = Q_g + \alpha \times P_e$.

Annexe I-2 : Description du modèle GR2M de Mouelhi

Les paramètres :

X1 : Coefficient d'échange souterrain

X2 : Capacité maximale du réservoir sol

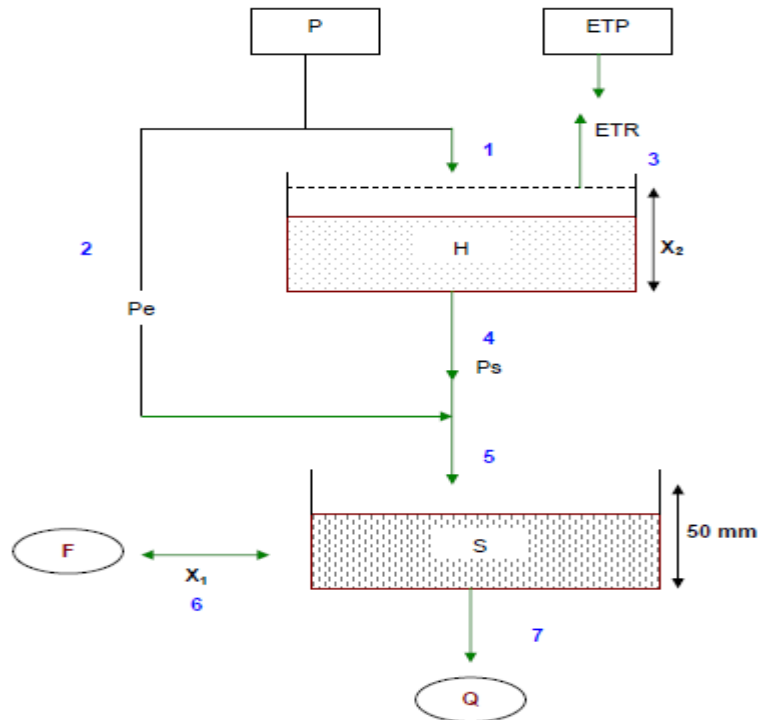


Figure 7: Architecture du modèle GR2M version de Mouelhi (2002)

Source :HOFFER(2005)

$$V = \tanh\left(\frac{P}{X_2}\right),$$

$$H_1 = \frac{H + V \times X_2}{1 + \frac{H \times V}{X_2}}$$

$$P_e = P - (H_1 - H)$$

$$W = \tanh\left(\frac{ETP}{X_2}\right)$$

$$H_2 = \frac{H_1 \times (1 - W)}{1 + W \left(1 - \frac{H_1}{X_2}\right)}$$

$$H_m = \frac{H_2}{\left[1 + \left(\frac{H_1}{X_2}\right)^{2,5}\right]^{0,4}}$$

$$P_s = H_2 - H_m$$

$$S_1 = S + P_e + P_s$$

$$S_2 = \frac{S_1}{X_1 + \frac{S_1}{50}}$$

Le niveau du réservoir en début du mois suivant : $S = S_2$

L'échange, F qui agit sur le réservoir R : $F = 50 \times (1 - X_1) \times \text{Ln} \left(1 + \frac{S_1}{X_1 \times 50} \right)$.

Le débit écoulé à la fin du mois : $Q = (S_1 - S_2) + F$

Annexe I-3 : Description du modèle GR3M de Kabouya

Les paramètres :

A : capacité maximale du réservoir sol

B : capacité maximale du réservoir de routage

C : coefficient de correction de l'ETP

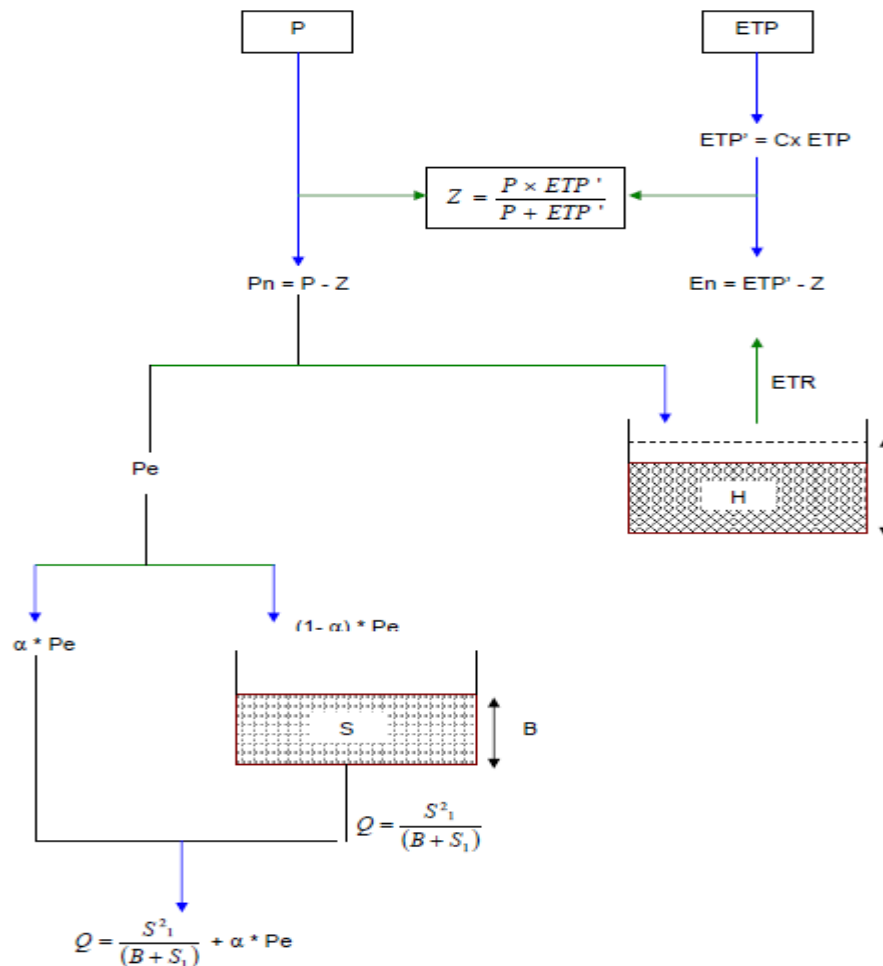


Figure 8 : Architecture du modèle GR3M version de Kabouya (1991)

Source :HOFFER(2005)

Description du modèle :

$$\alpha = 0,5$$

$$ETP' = C \times ETP \quad \text{et} \quad Z = \frac{P \times ETP'}{P + ETP'}$$

L'obtention des valeurs de toutes les variables qui interviennent dans le modèle est possible grâce aux expressions mathématiques issues du modèle GR2M version de Makhoulf.

L'architecture du modèle GR3M version de Kabouya (1991) est représentée sur la figure suivante.

Annexe I-4 : Description du modèle GR3M de Mouelhi

Les paramètres :

A : capacité maximale du réservoir sol

B : capacité maximale du réservoir de routage

C : coefficient de correction de l'ETP

Cette version du GR3M est différente de celle de Kabouya (1991) par l'absence de l'écoulement direct et du paramètre B qui devient le coefficient de vidange. L'architecture du modèle GR3M amélioré de Mouelhi est représentée par la figure suivante :

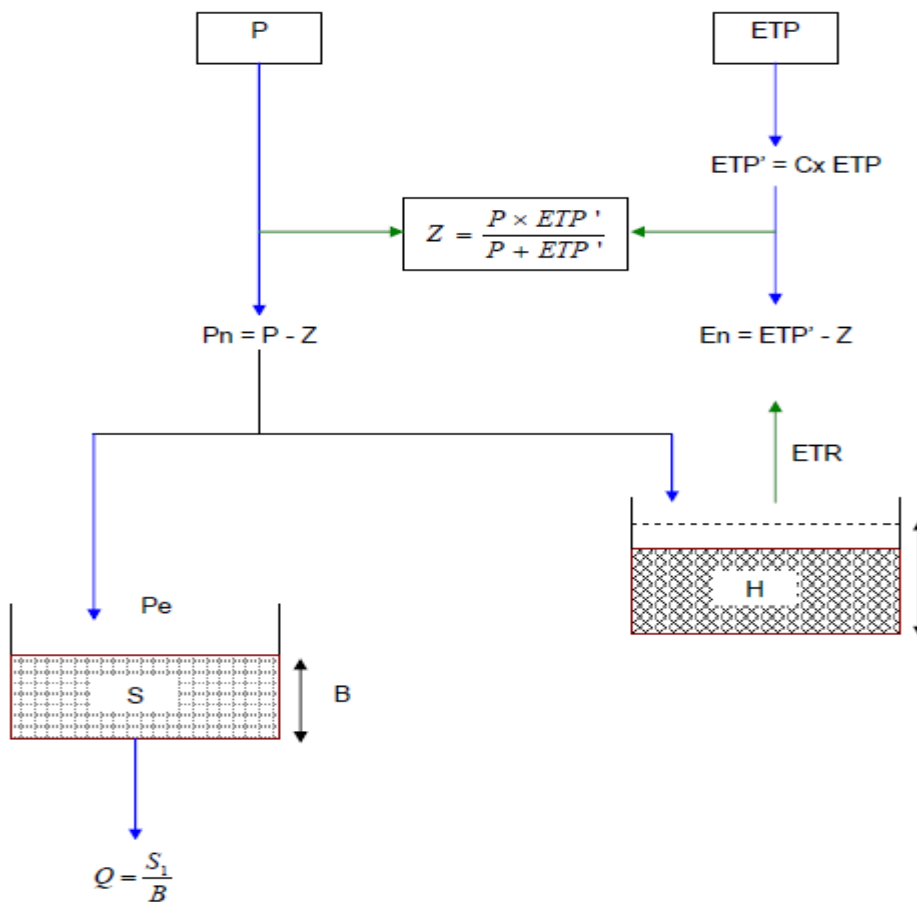


Figure 9: Architecture du modèle GR3M version de Mouelhi (2002)

Source :HOFFER(2005)

Description du modèle :

Les variables qui interviennent dans le modèle sont celles dont les expressions mathématiques sont données dans modèle GR2M version de Makhoulouf.

Annexe I-5 : Description du modèle ABCD

Les paramètres :

a : capacité du sol à induire un ruissellement avant saturation

b : limite supérieure de l'eau disponible

c : fraction du débit moyen qui recharge la nappe (réservoir eau souterraine)

d : constante de vidange du réservoir eau-souterraine

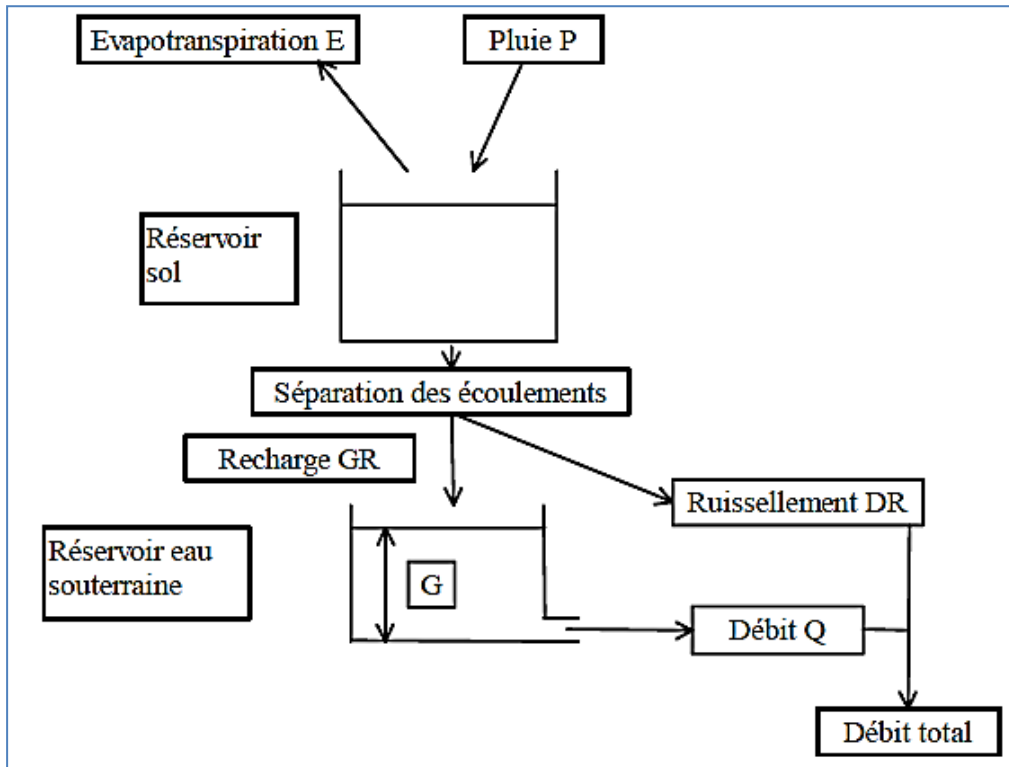


Figure 10 : Architecture du modèle ABCD

Source : AHADJI(2013)

$$W_i = P_i + S_{i-1}$$

$$Y_i(W_i) = \frac{W_i + b}{2 \times a} - \sqrt{\left(\frac{W_i + b}{2 \times a}\right)^2 - W_i \times \left(\frac{b}{a}\right)}$$

$S_i = Y_i \times \exp(-PE_i / b)$ où PE_i est l'évapotranspiration potentielle du mois i .

$$GR_i = c \times (W_i - Y_i) \text{ et } DR_i = (1 - c) \times (W_i - Y_i)$$

$$Q = d \times (G_i + GR_i)$$

$$G_i = \frac{GR_i + G_{i-1}}{1 + d}$$

Le débit total : $Q_{total} = Q + DR_i$

Annexe I-6 : Description du modèle BUCKET

Les paramètres :

- α : coefficient de séparation des écoulements
- S_{max} : capacité maximale du réservoir sol
- λ : constante de vidange du réservoir de routage

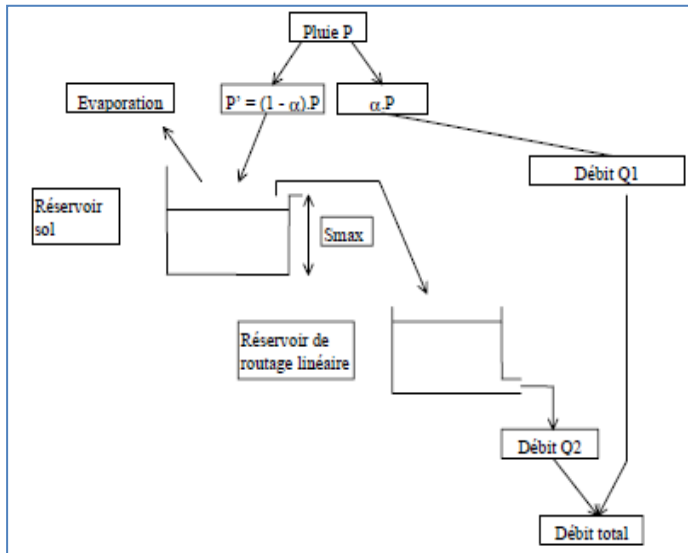


Figure 11: Architecture de modèle de BUCKET

Source : Perrin(2013)

La description du modèle est le suivant :

- Séparation des écoulements :

$P' = (1 - \alpha) \times P$: transité par le réservoir sol

$\alpha \times P$: ruissellement direct.

- Réservoir sol :

Si $P' \geq ETP$ alors $S_i = \min\{(P' - ETP) + S_{i-1}; S_{max}\}$

Si $P' < ETP$ alors $S_i = S_{i-1} \times \exp[-(ETP - P') / S_{max}]$.

$\Delta Q = (P' - ETP) + S_{i-1} - S_{max}$ si $P' > ETP$ et $S_i = S_{max}$

$\Delta Q = 0$, sinon

- Réservoir de routage :

Le réservoir de routage reçoit le surplus ΔQ . Celui-ci se partage entre une partie destinée à augmenter l'humidité du réservoir sol et une partie destinée à l'écoulement. Le débit du réservoir est donné par :

$R = (1 - \lambda) \cdot (Q_{i-1} + \Delta Q)$, tandis que le nouvel état d'humidité Q_i est donné par :

$Q_i = \lambda \times (Q_{i-1} + \Delta Q)$ où λ est un paramètre compris entre 0 et 1.

- Débit total : $Q = Q_1 + Q_2$

Annexe I-7 : Description du modèle SMAP

Les paramètres :

SAT : Capacité de saturation du réservoir du sol

E1 : Coefficient de contrôle de l'ETP

E2 : Coefficient de contrôle de l'écoulement de surface

CREC : Coefficient de recharge de la nappe

CK : Constante de récession hydraulique du réservoir.

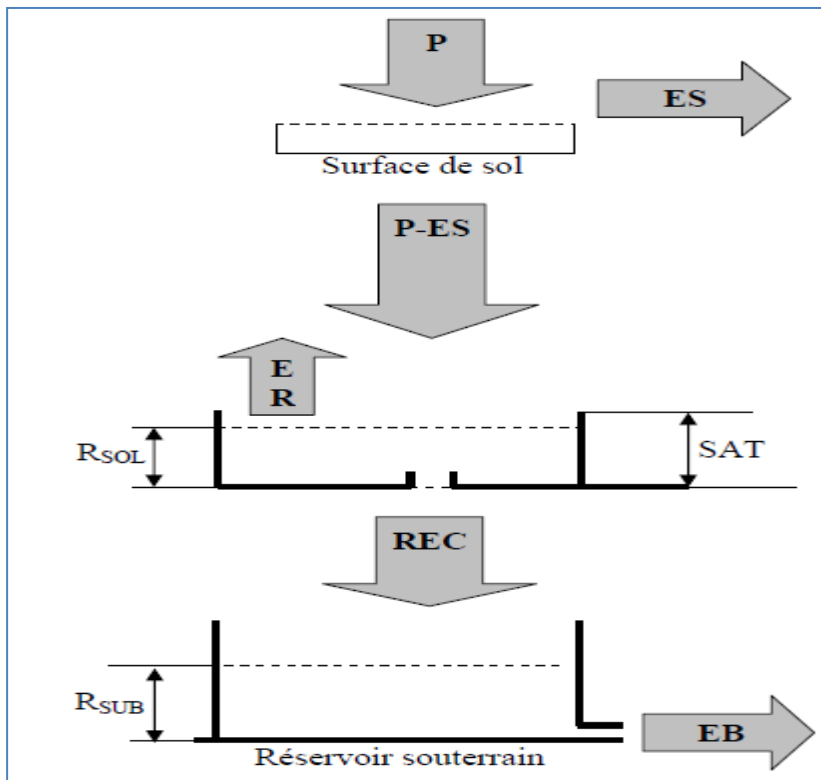


Figure 12 : Schéma structural du modèle SMAP

Source : AHADJI(2013)

$$TU = \frac{R_{sol}}{SAT}$$

$$ES = P \times TU^{E2}$$

$$ER = EP \times TU^{E1}$$

EP : Évapotranspiration potentielle [mm]

La recharge du réservoir souterrain se déduit du niveau d'eau dans le réservoir du sol par l'équation :

$$REC = R_{sol} \times TU^4 \times CREC$$

REC : Recharge [mm]

La valeur de l'exposant de TU est prise égale à 4 pour que la recharge s'approche de zéro quand la teneur en eau du sol s'approche de la capacité du terrain.

Dans le second réservoir linéaire, le niveau de l'eau est abaissé à un taux constant qui correspond à l'écoulement de base : $EB = R_{sub} \times (1 - CK)$

Rsub : Niveau du réservoir souterrain en mm.

EB : Ecoulement de base en mm.

Les équations suivantes définissent à chaque pas de temps le bilan de masse :

$$RSOL(i + 1) = RSOL(i) + P - ER - ES - REC$$

$$RSUB(i + 1) = RSUB(i) + REC - EB$$

Où i et i+1 indiquent les mois considérés et RSOL et RSUB les niveaux dans chaque réservoir.

Le débit total est alors: $Q = ES + EB$

Le niveau d'eau initial dans le réservoir souterrain, RSUBi est déterminé de la manière suivante :

$$RSUBi = \frac{Q_{bin} \times T}{S(1-CK)}$$

S : Surface du bassin [km²]

T : Nombre de secondes dans le mois.

Annexe I-8 : Description du modèle WBM

Les paramètres :

- α : proportion de l'écoulement directe
- β : proportion qui participe à l'écoulement retardé

Schéma du modèle :

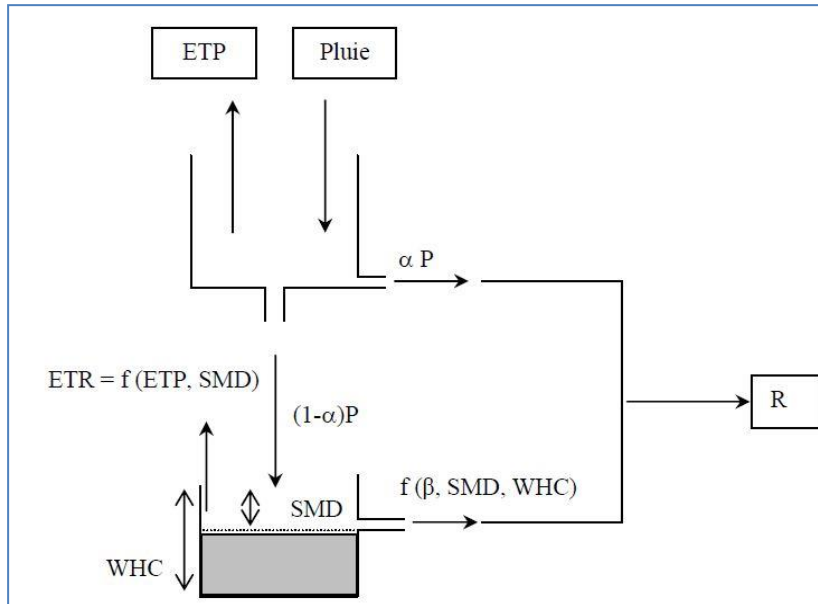


Figure 13 : Schéma du modèle WBM

Source : ARDOIN-BARDIN (2004)

WHC : la capacité de rétention en eau du sol

SMD : le déficit d'humidité du sol (Soil Moisture Deficit)

- Durant les mois où la pluie excède l'ETP, ($P \geq ETP$) et où SMD est satisfaite ;

$$AR_i = (1 - \alpha)P_i + SR_{i-1} - ETP_i + SMD_{i-1}$$

$$\text{Débit total} : R_i = \alpha \times P_i + \beta \times AR_i$$

$$SR_i = (1 - \beta) \times AR_i$$

$$SMD_i = 0$$

- Lorsque la pluie est insuffisante pour satisfaire l'ETP et combler le SMD, l'humidité contribue à satisfaire en partie la demande évaporatoire et SMD s'accroît :

$$SMD_i = SMD_{i-1} + (1 - \alpha)P_i - ETR_i$$

Plus le sol s'assèche, plus il est difficile de satisfaire la demande évaporatoire. C'est ainsi que l'ETR est exprimée par : $ETR_i = K \times ETP_i$, où K dépend de l'état d'humidité du sol.

- Si $SMD_{i-1} > -25mm$, alors $K = 1$

- Si $-0,5 \times WHC < SMD_{i-1} < -25$, alors $K = 0,5 + 0,5 \times \frac{WHC + SMD_{i-1}}{0,5 \times WHC - 25}$

- Si $SMD_{i-1} < -0,5 \times WHC$, alors $K = 0,1$.

Le débit total est alors donné par la relation : $R_i = \alpha \times P_i + \beta \times SR_{i-1}$

Annexe II : Résultats des calages/validations des modèles

Annexe II-1 :

Tableau 5 : Résultats du modèle GR2M de Makhlouf

Bassins	Debut calage	Fin calage	Debut validation	Fin validation	Nash_cail	Nash_val	Param1	Param2
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	49,68	64,58	0,17	0,78
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	78,50	78,66	0,37	0,71
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	88,81	66,71	0,58	0,85
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	77,20	76,98	0,34	0,69
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	79,81	83,76	0,46	0,58
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	91,48	88,75	0,60	0,56
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	61,64	51,94	0,25	0,44
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	63,25	75,97	0,28	0,72
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	84,85	84,88	0,44	0,58
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	81,73	84,93	0,43	0,87
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	96,09	95,60	0,61	0,61
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	83,51	80,85	0,34	0,69
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	68,04	11,70	0,27	0,67
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	86,56	67,33	0,36	0,60
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	68,70	62,58	1,00	0,67
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	81,94	84,68	0,49	0,87
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	87,29	68,89	0,36	0,54
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	91,80	86,35	0,55	0,70
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	70,53	81,61	0,33	0,77
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	86,70	37,03	0,48	0,77
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	91,68	85,98	0,46	0,74
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	64,84	81,51	0,51	0,61
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	87,87	37,71	0,85	0,90
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	92,95	90,37	0,65	0,60
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	86,78	58,33	0,95	0,94
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	91,59	91,05	0,55	0,50
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	92,53	88,11	0,64	0,75
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	90,06	90,10	0,83	0,85
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	72,06	81,11	0,33	0,74
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	77,69	79,57	0,33	0,69
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	47,96	61,60	0,15	0,64
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	80,05	76,12	0,39	0,35
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	66,68	73,88	0,25	0,69
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	83,14	73,09	0,38	0,58
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	82,92	78,42	0,39	0,82
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	81,05	82,64	0,42	0,79
PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	31,53	48,88	0,28	0,51

Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	83,63	85,20	0,45	0,63
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	62,23	73,58	0,30	0,72
Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	83,87	83,48	0,42	0,65
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	90,06	84,01	0,50	0,69
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	91,52	84,19	0,39	0,66
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	80,64	81,12	0,39	0,69
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	93,16	88,36	0,56	0,56
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	70,72	81,17	0,41	0,87
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	29,48	44,45	0,34	0,22
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	74,86	58,30	1,00	1,00
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	78,43	86,22	0,44	0,71
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	73,45	76,60	0,62	0,62
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	85,22	88,43	0,43	0,91
Yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	71,35	76,88	0,40	0,74

Annexe II-2 :

Tableau 6 : Résultats du modèle GR2M de Mouelhi

Bassins	Debut calage	Fin calage	Debut validation	Fin validation	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	55,83	77,15	8,38	1246,00
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	78,46	81,56	2,93	1737,89
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	58,10	71,37	1,59	753,86
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	80,02	81,23	3,50	1338,58
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	78,54	85,03	3,10	2311,95
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	90,77	90,68	1,95	1791,92
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	61,24	58,95	2,41	4897,77
Bouaffle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	68,74	78,63	5,47	1267,06
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	84,67	84,27	2,64	1492,03
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	86,90	90,59	3,10	791,86
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	96,58	96,59	1,67	1338,62
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	75,71	82,78	2,15	2011,31
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	73,11	14,94	5,05	1246,00
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	87,74	74,32	2,82	1829,06
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	74,65	68,46	13,70	10,00
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	86,92	89,88	2,69	731,24
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	87,85	73,67	2,50	2011,27
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	92,65	87,31	1,90	937,86
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	74,76	86,77	4,08	1124,12
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	82,24	-1,01	2,22	545,92
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	93,18	88,41	2,38	1010,56
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	64,60	82,54	2,41	1320,30
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	74,08	46,43	1,59	336,07
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	93,47	91,31	1,80	1393,77
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	61,67	42,71	1,52	409,59
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	91,91	91,59	1,87	2065,93
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	93,32	90,88	1,59	955,90
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	71,35	72,63	4,26	40,30
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	77,00	85,36	4,09	1126,10
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	80,39	82,63	3,65	1397,35
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	58,94	79,51	9,87	1683,20
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	65,25	65,79	1,80	5553,18
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	76,27	81,76	5,43	1245,80
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	82,96	77,83	2,75	1728,78
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	88,19	84,71	3,22	1010,56
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	87,04	88,39	2,96	974,56

PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	47,41	50,23	2,19	6910,25
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	85,61	84,81	1,96	1159,73
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	65,87	75,78	5,12	1265,72
Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	81,83	83,34	1,98	1774,26
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	90,54	85,57	1,89	1010,65
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	91,50	85,11	3,58	1940,16
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	81,03	85,24	2,79	1245,85
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	94,00	90,76	1,95	1775,90
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	79,17	86,08	3,47	792,38
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	24,92	55,41	4,81	7930,42
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	3,43	7,85	0,91	3502,11
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	77,90	83,52	2,78	1737,79
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	73,55	76,91	1,35	753,55
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	75,29	78,51	2,82	627,23
yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	73,88	82,14	2,74	1211,07

Annexe II-3 :

Tableau 7 : Résultats du modèle GR3M de Kabouya

Bassins	Debut calage	Fin calage	Debut validation	Fin validation	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2	Param3
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	21,41	47,82	1,00	1112,00	35,56
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	71,69	80,57	672,43	48,87	1,10
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	53,71	29,57	1,00	102,00	20,00
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	-1504,71	8,14	9459,03	102,71	0,00
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	70,46	79,52	987,40	178,86	1,20
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	86,76	87,10	611,20	211,10	1,05
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	32,95	-12,33	33,27	59,63	10,30
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	69,09	76,73	756,99	14,70	1,55
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	48,06	53,01	1,00	102,00	11,72
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	76,36	84,70	466,82	103,16	1,23
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	49,00	45,60	1,00	1,00	7,68
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	48,09	49,87	1,00	203,00	20,00
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	69,13	36,16	647,52	40,41	1,44
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	75,30	70,28	817,42	103,52	1,10
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	37,88	60,90	1,00	1,00	20,00
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	87,29	91,00	492,21	6,85	1,11
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	74,09	69,14	767,16	103,52	1,07
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	42,93	27,90	1,00	1,00	20,00
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	-67,73	-96,44	9000,10	106,80	4,80
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	49,01	9,60	1,00	102,00	20,00
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	54,77	42,56	1,00	1,00	20,00
Iradoukou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	67,30	85,22	531,38	103,52	1,15
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	66,94	60,56	1,00	1,00	20,00
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	90,97	87,13	541,61	146,39	1,01
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	63,89	35,84	1,00	1,00	20,00
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	88,18	88,57	650,39	211,62	0,97
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	49,17	32,16	1,00	1,00	20,00
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	68,29	71,54	1,00	1,00	3,64
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	18,11	-668,43	6931,25	1,94	0,00
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	68,24	76,74	765,46	101,52	1,16
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	52,54	74,23	731,18	507,22	1,94
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	-125,91		8110,85	5,43	0,00
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	71,98	80,59	715,82	1,60	1,45
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	-1407,64		1302,66	111,94	0,00
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	84,90	84,34	653,94	26,85	1,16
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	51,83	51,00	1,00	102,00	20,00
PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	4,57	-17,90	1,00	10000,00	20,00
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	51,06	49,52	1,00	102,00	20,00

RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	59,22	73,78	629,96	101,40	1,56
Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	81,41	83,63	999,40	46,77	0,77
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	57,19	47,68	1,00	102,00	20,00
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	88,34	83,02	855,61	70,23	1,25
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	76,39	81,40	631,44	17,61	1,09
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	90,83	87,01	635,41	140,30	1,02
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	76,90	78,68	377,25	102,54	1,43
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	11,04	73,22	985,44	716,44	1,32
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	43,97	59,73	1,00	1,00	20,00
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	79,15	88,04	646,26	48,87	1,10
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	43,31	41,70	1,00	102,00	20,00
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	51,95	60,70	1,00	102,00	20,00
yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	66,39	79,31	506,81	103,44	1,25

Annexe II-4 :

Tableau 8 : Résultats du modèle GR3M de Mouelhi

Bassins	Debut calage	Fin calage	Debut validation	Fin validation	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2	Param3
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	27,0	57,0	60,2	2,1	7,4
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	61,3	69,5	729,3	2,5	1,1
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970			1297,2	4,7	0,0
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	62,1	68,2	799,0	2,5	1,2
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	75,7	87,1	1322,7	1,7	1,2
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	81,9	83,7	1019,5	2,4	0,9
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-207,3	-322,3	7184,1	1,0	5,9
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	71,9	84,5	672,4	1,4	1,5
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	-366,4	-194,2	1,2	1,0	1,1
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	87,5	92,2	527,8	1,1	1,2
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	95,8	96,2	175,8	1,7	1,7
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980			1441,0	5,3	0,0
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	76,4	38,9	726,4	1,5	1,4
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	76,7	73,6	914,4	2,5	1,1
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970			1297,2	4,7	0,0
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	87,5	91,2	517,0	1,1	1,1
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	89,9	82,6	718,6	1,9	1,1
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970			1320,6	8,1	0,0
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	-67,7	-94,6	9101,1	5,8	4,8
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970			1320,6	4,8	0,0
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970			1320,6	8,1	0,0
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	55,8	75,3	566,6	2,5	1,2
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970			1547,2	4,6	0,0
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	79,7	81,5	835,8	2,4	0,9
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980			1547,2	4,8	0,0
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	-157,1	-149,3	9479,0	1,0	3,0
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970			1297,2	4,9	0,0
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	91,8	93,2	236,1	1,2	1,0
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	-59,6	-90,6	9322,2	1,0	4,0
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	65,1	67,7	799,0	2,5	1,2
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-65,1	-67,9	9863,0	1,0	4,0
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	76,1	73,6	953,8	2,9	0,8
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	80,7	87,5	627,9	1,4	1,5
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	74,7	75,0	794,0	2,5	1,1
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	88,2	86,4	703,2	1,2	1,1
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	-57,5	-53,5	9245,2	1,0	3,0
PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980			1439,7	5,6	0,0
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970			1320,6	8,1	0,0
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	68,5	80,5	664,5	1,4	1,5

Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	85,7	88,2	1395,8	1,6	0,7
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970			1320,6	8,1	0,0
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	90,5	86,5	1076,9	1,5	1,2
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	-1397,3	-269,4	8169,5	1,0	0,0
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	-115,4	-171,7	8935,0	1,0	3,2
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	83,8	87,8	435,7	1,2	1,4
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	31,8	50,1	1543,4	4,3	1,3
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970			1547,2	4,6	0,0
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	63,4	62,1	970,2	2,5	1,0
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980			1297,2	5,6	0,0
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970			1070,7	4,6	0,0
yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	73,6	83,3	697,3	1,3	1,1

Annexe II-5 :

Tableau 9 : Résultats du modèle ABCD

Bassins	Debut calage	Fin calage	Debut validation	Fin validation	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2	Param3	Param4
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	-32,5	-371,0	1,0	4950,0	0,1	0,0
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	46,6	73,6	1,0	1130,3	0,0	0,7
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	71,4	-288,8	1,0	319,5	0,0	1,0
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	28,1	61,1	1,0	1212,9	0,0	1,0
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	3,9	-122,2	1,0	10000,0	0,7	0,0
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	55,9	67,6	1,0	2122,0	0,8	0,3
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-34,7	-101,6	1,0	708,0	1,0	0,4
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-10,5	1,9	1,0	3637,0	0,9	0,3
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	82,2	75,2	1,0	1404,7	0,0	0,5
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	68,7	79,5	1,0	1120,8	0,3	0,0
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	87,2	94,1	0,9	1149,9	0,3	0,0
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-37,8	-43,6	1,0	708,0	1,0	1,0
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-10,2	-74,1	1,0	1920,0	0,5	0,0
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	72,9	51,7	1,0	1011,1	0,3	0,3
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	53,0	-202,2	1,0	340,5	0,2	1,0
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	84,4	89,1	1,0	642,0	0,4	0,0
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	75,7	55,5	1,0	910,0	0,4	0,3
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	77,6	82,2	0,9	891,9	0,4	0,0
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	4,0	-12,0	1,0	1718,0	0,5	0,5
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	66,5	-904,8	1,0	420,4	0,4	1,0
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	79,4	83,3	1,0	846,9	0,4	0,0
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	64,7	81,6	1,0	1239,2	0,3	0,0
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	74,7	-331,3	1,0	304,0	0,0	1,0
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	70,5	69,6	1,0	1819,0	0,7	0,3
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	81,4	22,9	1,0	302,1	0,0	1,0
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	90,5	89,3	1,0	1434,2	0,1	0,0
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	86,8	86,6	1,0	790,7	0,0	0,0
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	84,9	88,4	1,0	518,1	0,1	0,0
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	13,6	-72,6	1,0	1718,0	0,7	0,6
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	35,0	51,6	1,0	1420,2	0,0	0,7
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-27,7	-32,3	1,0	10000,0	0,5	0,0
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	-87,7	-852,0	1,0	708,0	1,0	1,0
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	-3,2	-15,2	1,0	1920,0	0,8	0,3
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	62,3	77,0	1,0	1213,2	0,0	0,8
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	73,8	80,1	1,0	1019,6	0,4	0,0
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	76,6	85,3	1,0	1081,1	0,2	0,0
PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-70,9	-64,7	1,0	708,0	1,0	0,8
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	75,0	62,8	1,0	754,2	0,3	0,0
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	20,9	39,3	1,0	2425,0	0,6	0,0

Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	23,9	64,1	1,0	1325,3	0,0	0,7
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	76,1	72,9	1,0	822,4	0,0	1,0
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-47,7	-65,0	1,0	8990,0	0,9	0,0
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	20,8	69,4	1,0	1127,4	0,0	0,9
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	90,4	91,9	1,0	1352,0	0,2	0,0
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	78,4	64,8	1,0	1010,6	0,2	0,0
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-78,9	-29,8	1,0	10000,0	1,0	0,1
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	72,7	-145,1	1,0	301,9	0,2	1,0
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	5,8	49,8	1,0	1514,9	0,0	0,7
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	59,1	55,4	1,0	542,5	0,1	0,9
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	-27,9	-27,1	1,0	9293,0	1,0	1,0
Yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	67,0	74,5	1,0	821,2	0,3	0,0

Annexe II-6 :

Tableau 10 : Résultats du modèle BUCKET

Bassins	Debut_cal	Fin_cal	Debut_val	Fin_val	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2	Param3
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	67,4	45,7	0,0	46,5	0,2
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	78,7	-60,6	0,0	119,4	0,3
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	15,1	12,7	0,0	15,8	0,0
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	76,9	46,0	0,0	11,3	0,3
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	75,5	58,4	0,1	119,3	0,4
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	81,7	66,4	0,0	119,4	0,5
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	10,8	-246,0	0,0	40,5	0,4
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	73,4	-73,4	0,0	147,4	0,3
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	83,6	70,0	0,0	220,3	0,4
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	80,5	67,5	0,0	64,7	0,2
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	82,5	75,2	0,0	119,4	0,4
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	64,4	53,2	0,0	16,1	0,4
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	54,7	-161,4	0,0	119,4	0,5
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	72,0	36,1	0,0	119,3	0,4
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	48,3	40,8	0,0	12,2	0,0
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	83,0	67,8	0,0	92,6	0,2
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	90,6	21,1	0,0	228,7	0,5
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	79,8	72,6	0,0	119,4	0,4
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	66,6	-305,9	0,0	119,4	0,3
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	46,7	-2769,6	0,0	26,2	0,3
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	80,4	72,7	0,0	119,4	0,4
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	77,9	-34,8	0,0	119,4	0,4
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	7,1	33,9	0,0	15,1	0,0
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	85,4	69,6	0,1	119,4	0,5
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	31,8	44,5	0,0	4999,8	1,0
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	88,3	77,9	0,0	119,3	0,5
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	88,9	80,6	0,0	46,5	0,3
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	87,2	82,9	0,0	22,0	0,3
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	69,7	-66,7	0,0	46,6	0,3
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	77,3	-173,7	0,0	119,4	0,3
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	24,9	2,6	0,0	3423,3	0,2
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	-44,4	-748,6	0,0	119,4	0,5
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	71,6	43,4	0,0	52,5	0,3
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	85,5	41,7	0,0	119,4	0,4
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	85,9	73,0	0,0	46,4	0,2
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	80,1	69,7	0,0	119,4	0,2
PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-14,3	-160,5	0,0	46,5	0,4
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	78,7	74,3	0,0	64,8	0,3
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	78,3	-30,1	0,0	147,4	0,3

Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	39,3	46,0	0,0	46,5	0,4
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	82,1	17,2	0,0	119,4	0,3
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	80,6	-22,7	0,0	119,4	0,4
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	83,9	-75,7	0,0	119,4	0,4
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	75,2	61,4	0,0	10,0	0,5
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	67,9	61,3	0,0	119,4	0,2
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	81,2	-87,8	0,0	119,4	0,4
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	27,5	12,7	0,0	12,2	0,0
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	85,4	62,9	0,0	46,5	0,3
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	48,9	24,9	0,0	11,7	0,0
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	80,0	65,7	0,0	10,0	0,2
yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	90,9	54,0	0,0	155,8	0,4

Annexe II-7 :

Tableau 11 : Résultats du modèle SMAP

Bassins	Debut_cal	Fin_cal	Debut_val	Fin_val	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2	Param3	Param4	Param5
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	-122	42	1167	1	4	1	1
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	14	64	1051	1	3	0	1
Alcongou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	68	35	2722	1	2	0	1
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	35	77	1277	1	4	0	1
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	53	72	1482	1	3	1	1
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	63	83	1747	1	3	0	0
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	39	60	2965	1	4	0	0
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	12	65	1143	1	4	1	1
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	-37	19	987	1	3	0	1
Correkoïpe	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	85	89	995	1	4	1	1
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	92	91	1288	1	2	0	1
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	63	73	1827	1	3	0	1
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-271	74	1139	1	4	0	1
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	7	70	1309	1	3	0	1
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	47	-84	1138	1	1	1	1
Dotaicoïpe	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	72	86	860	1	3	1	1
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	-52	46	1130	1	4	0	1
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	83	79	1202	1	2	1	1
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	41	74	1545	1	4	0	1
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	-186	-454	1931	2	2	1	1
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	78	84	1341	1	2	1	1
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	66	80	1104	1	4	0	1
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	79	-23	3441	1	1	0	1
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	81	82	1356	1	3	0	1

Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	25	11	1690	2	1	1	1
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	81	84	1506	1	4	0	0
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	86	86	910	1	2	0	1
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	83	86	606	1	2	0	1
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	62	75	1202	1	3	1	1
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	8	51	1366	1	4	0	1
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-390	-278	1402	1	4	0	1
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	5	-69	1481	1	4	0	0
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	-53	49	1111	1	4	1	1
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	-118	42	932	1	3	0	1
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	68	87	1282	1	3	0	1
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	62	87	993	1	3	1	1
PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	60	42	3417	1	4	0	0
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	68	51	1044	1	3	0	0
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	30	75	1356	1	4	0	1
Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	53	77	1741	1	3	0	1
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	40	42	875	1	3	0	0
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	85	84	1724	1	4	0	1
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	56	80	1281	1	3	0	1
Siguir	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	70	85	1385	1	3	0	0
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	49	58	691	1	3	1	1
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-132	73	1790	1	4	1	1
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	40	-246	921	1	1	1	1
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	53	85	1241	1	3	0	1
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	63	47	1144	1	2	0	0
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	67	75	2503	1	3	0	1
yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	77	71	867	1	4	1	1

Annexe II-8 :

Tableau 12 : Résultats du modèle WBM

Bassins	Debut_cal	Fin_cal	Debut_val	Fin_val	Nash_cal	Nash_val	Param1	Param2
Agboville	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1955	01/12/1970	-222,2	-241,9	0,8	1,0
Akakomoekrou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	12,2	-13,1	0,0	0,0
Alcongui	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1961	01/12/1970	-490,3	-468,2	0,8	1,0
Aniassue	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	-224,0	-131,4	0,8	1,0
Bafingdala	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-51,1	-173,5	0,1	0,0
Baro	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1950	01/12/1970	-27,1	-30,6	0,3	0,0
Boromo	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-636,1	-679,8	0,8	1,0
Bouafle	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-22,6	-0,4	0,1	0,0
Bougouni	01/01/1971	01/12/1979	01/01/1956	01/12/1970	-52,3	-95,1	0,0	0,0
Correkope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1956	01/12/1970	-40,3	-76,6	0,0	0,0
DakaSaidou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1956	01/12/1970	78,6	-29,7	0,7	1,0
Dapola	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-255,9	-387,0	0,8	1,0
Dimbokro	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-242,1	82,7	0,8	1,0
Dioila	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	-10,8	-116,2	0,1	0,0
Dolbel	01/01/1971	01/12/1980	01/01/1961	01/12/1970	40,8	-383,7	0,0	1,0
Dotaicope	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1960	01/12/1970	22,7	21,1	0,1	0,0
Douna	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1950	01/12/1970	-125,7	-8,2	0,8	1,0
Fadougou	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1925	01/12/1970	30,9	18,9	0,2	0,0
Fetekro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1960	01/12/1970	-16,4	8,9	0,1	0,0
GarbeKourou	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1956	01/12/1970	-327,2	-499,3	0,8	1,0
Gourbassy	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1925	01/12/1970	31,1	23,6	0,1	0,0
Iradougou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1962	01/12/1970	-27,8	-44,5	0,1	0,0
Kakassi	01/01/1971	01/12/1982	01/01/1957	01/12/1970	44,8	-431,5	0,0	1,0
Kankan	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1950	01/12/1970	-3,5	-22,6	0,3	0,0
Koriziena	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	48,4	29,8	0,0	1,0
koulikoro	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1927	01/12/1970	-85,9	-78,7	0,1	0,0
Koumangou	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1959	01/12/1970	-48,3	-111,0	0,0	0,0
LamaKara1	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1954	01/12/1970	35,9	-0,2	0,5	0,1
Mbahiakro	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1954	01/12/1970	0,5	14,5	0,0	0,0
Mbasso	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1956	01/12/1970	-191,7	-227,2	0,8	1,0
Nibehibe	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1961	01/12/1970	-276,0	-306,1	0,8	1,0
Nwokuy	01/01/1971	01/12/1977	01/01/1965	01/12/1970	-699,2	-766,3	0,8	1,0
Nzienoa	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1953	01/12/1970	-227,0	-188,0	0,8	1,0
Pankourou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1956	01/12/1970	-106,4	-303,4	0,0	0,0
PontdeBeterou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	38,0	14,3	0,1	0,0
PontdeSave	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	-97,0	-104,1	0,0	0,0

PontOuessa	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1969	01/12/1980	-892,7	-733,1	0,8	1,0
Porga	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1952	01/12/1970	13,0	-1,2	0,0	0,0
RouteBeoumi	01/01/1971	01/12/1997	01/01/1954	01/12/1970	1,5	-0,5	0,0	0,0
Samandeni	01/01/1981	01/12/1994	01/01/1969	01/12/1980	-112,9	-472,9	0,0	0,0
SansanneMango	01/01/1971	01/12/1991	01/01/1953	01/12/1970	-2,5	1,9	0,1	0,0
Semien	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-0,9	-46,8	0,1	0,0
Serebou	01/01/1971	01/12/1996	01/01/1963	01/12/1970	-14,0	-4,8	0,1	0,0
Siguiri	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1952	01/12/1970	-16,5	-60,6	0,2	0,0
Sirka	01/01/1971	01/12/1990	01/01/1957	01/12/1970	14,0	29,8	0,0	0,0
Soubré	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1954	01/12/1970	-290,9	-101,0	0,0	0,0
Tera	01/01/1971	01/12/1995	01/01/1961	01/12/1970	48,1	-441,2	0,0	1,0
Tetetou	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1951	01/12/1970	-2,3	32,0	0,0	0,0
Wayen	01/01/1981	01/12/1998	01/01/1972	01/12/1980	-225,3	-159,3	0,8	1,0
Yakala	01/01/1971	01/12/1985	01/01/1956	01/12/1970	-215,3	-243,1	0,8	1,0
Yendere	01/01/1971	01/12/1998	01/01/1955	01/12/1970	-284,0	-482,8	0,0	0,0

Annexe III : Caractéristiques statistiques des paramètres des modèles

Tableau 13 : Caractéristiques statistiques des paramètres des modèles.

Modèles	Paramètre	Moyenne	Minimum	Quantiles					Maximum m	écartyp e
				10%	25%	50%	75%	90%		
GR2M Makhlouf	X1	0,47	0,15	0,28	0,34	0,42	0,55	0,65	1,00	0,19
	X2	0,69	0,22	0,54	0,60	0,69	0,77	0,87	1,00	0,15
GR2M Mouelhi	X1	3,24	0,91	1,59	1,95	2,74	3,54	5,12	13,70	2,23
	X2	1672,61	10,00	627,23	965,23	1265,72	1775,08	2311,95	7930,42	1530,73
GR3M Kabouya	A	1018,31	1,00	1,00	1,00	531,38	744,08	999,40	9459,03	2215,42
	B	309,52	1,00	1,00	10,77	102,00	103,52	211,10	10000,00	1396,75
	C	8,32	0,00	0,97	1,10	1,45	20,00	20,00	35,56	9,50
GR3M Mouelhi	A	2199,37	1,15	517,03	710,88	1076,90	1440,35	8935,00	9862,95	2967,54
	B	3,00	1,00	1,00	1,27	2,40	4,63	5,65	8,09	2,14
	C	1,31	0,00	0,00	0,00	1,11	1,39	3,20	7,40	1,57
ABCD	a	0,99	0,93	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,01
	b	2032,15	301,92	420,43	731,10	1127,44	1718,00	4950,00	10000,00	2666,78
	c	0,37	0,00	0,00	0,05	0,29	0,65	0,96	1,00	0,35
	d	0,41	0,00	0,00	0,00	0,27	0,84	1,00	1,00	0,42
BUCKET	α	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,02
	Smax	247,68	10,00	12,20	46,41	119,27	119,37	147,38	4999,80	825,77
	λ	0,33	0,00	0,18	0,26	0,34	0,43	0,46	1,00	0,16
SMAP	SAT	1423,65	605,98	909,62	1077,53	1281,34	1525,74	1931,22	3440,53	614,32
	E1	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,14	1,71	0,15
	E2	3,11	1,33	2,10	2,67	3,34	3,75	4,00	4,00	0,77
	CREC	0,38	0,00	0,01	0,04	0,29	0,60	1,00	1,00	0,36
	CK	0,82	0,00	0,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,38
WBM	α	0,30	0,00	0,01	0,03	0,08	0,80	0,80	0,80	0,35
	β	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,49