

## Etalonnage du modèle conceptuel TANK dans le bassin versant Oubanguien

### [ Calibration of global conceptual Tank model in the Oubanguien watershed ]

*Louis Kongoda Lisika<sup>1</sup>, Vincent Lukanda Muamba<sup>2</sup>, and Patrick Dedetemo Kimilita<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Département de physique, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa XI, RD Congo

<sup>2</sup>Centre régional d'études nucléaires de Kinshasa (CREN-K), Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In the context of insufficient data in a given area, it is recommended to use hydrological models at low settings. This avoids the risk associated with the parameters of the model uncertainty increases. In this study, we propose to calibrate the overall conceptual model TANK Ubangian in the watershed. It is classified in the category of watersheds little instrumented. Analysis of the performance of the TANK model and the surface runoff coefficient show good calibration results TANK model. On average, the value of the Nash-Sutcliffe criterion is estimated at 0.73.

**KEYWORDS:** Modelling, conceptual global, TANK, Watershed, Oubangui.

**RESUME:** Dans le contexte de l'insuffisance de données dans une région donnée, il est recommandé d'exploiter des modèles hydrologiques à peu de paramètres. Cela permet d'éviter le risque associé à l'augmentation d'incertitude de paramètres du modèle. Dans cette étude, nous proposons d'étalonner le modèle conceptuel global TANK dans le bassin versant Oubanguien. Ce dernier est classé dans la catégorie des bassins versants peu instrumentés. L'analyse de la performance du modèle TANK et celle de coefficient de ruissellement de surface montrent de bons résultats d'étalonnage du modèle TANK. En moyenne, la valeur du critère de Nash-Sutcliffe est estimée à 0.73.

**MOTS-CLEFS:** Modélisation, conceptuel global, TANK, bassin versant, Oubangui.

## 1 INTRODUCTION

Très peu d'étude des modèles hydrologiques ont été entreprise dans le bassin versant de l'Oubangui [16]. A ce tableau, il faut ajouter l'insuffisance d'informations dans la région pour les études de modélisation [17], [11]. Cependant les études menées dans le bassin exploitant des modèles à base physique ou des modèles distribués (semi-distribué) nécessitant un grand nombre de paramètres introduisent le risque à l'augmentation d'incertitude de paramètres du modèle. Pour résoudre ce problème, certains auteurs [4], [18] tentent d'estimer les paramètres de modèles sur base des équations des régressions qui relient les propriétés physiques d'un bassin versant avec les paramètres des modèles.

Une alternative est l'utilisation des modèles conceptuels globaux à peu de paramètres. Une étude comparative des modèles conceptuels menée par Perrin.,[1] a mis en évidence la complexité des modèles à base physique (exploitant les lois physiques pour représenter le système) et ses incapacités à résoudre divers problèmes face aux modèles conceptuels. L'auteur souligne également que même si l'avantage des approches distribuées est de fournir une représentation spatialisée face aux approches globales, son apport dans un contexte de simulation pluie-débit n'est pas explicite et sa validation (par exemple l'état de saturation des sols) ne semble pas trouver jusqu'à présent de réelle justification. Il ressort de ces conclusions que les modèles conceptuels globaux possédant moins de paramètres arrivent à bien représenter l'hydro-

système conformément aux recommandations de Nash et Sutcliffe., [12] qui stipulent la construction des structures des modèles simples et sans redondances.

La plus récente d'étude de modélisation hydrologique dans le bassin est attribuée à Tshimanga., [11]. Cependant, les résultats de l'étude montrent une importante incertitude due d'une part à l'insuffisance de données et d'autre part au nombre élevé de paramètres du modèle.

La présente recherche propose alors le modèle conceptuel global TANK à peu de paramètres pour étalonner le bassin versant Oubanguien. Ainsi, elle poursuit l'objectif suivant : la caractérisation des processus hydrologiques majeurs contrôlant la dynamique de la rivière Oubangui.

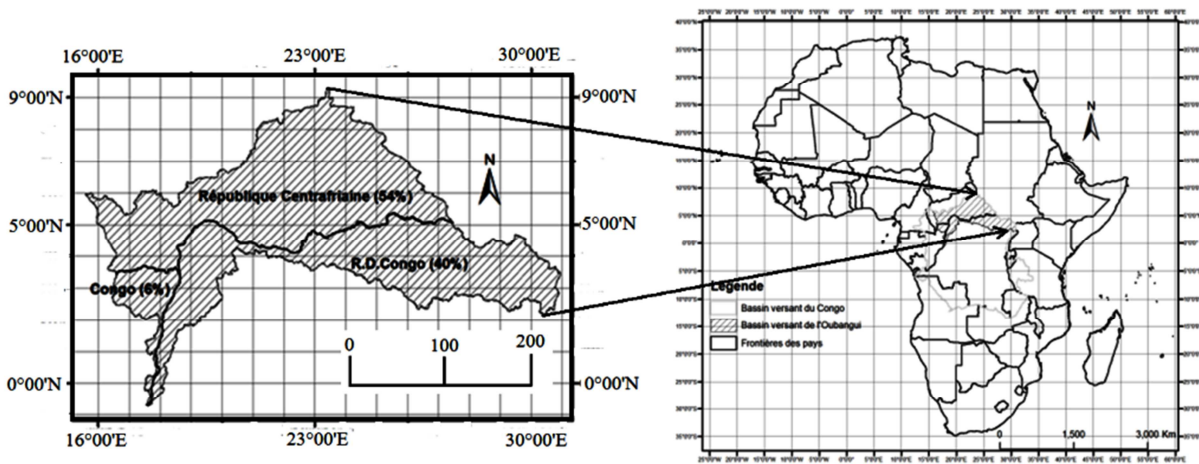
Notre hypothèse principale est que l'ajustement de paramètres effectifs d'un modèle conceptuel sur de longues séries temporelles nous permettra d'obtenir des jeux de paramètres robustes. Ces derniers caractérisent de façon univoque le fonctionnement hydrologique du bassin. L'étalonnage des modèles sur des sous-bassins, nous permettra de juger de l'homogénéité des processus au sein du bassin global.

L'insuffisance de données à pas de temps journalier dans le bassin nous contraint à opter pour l'échelle mensuelle. Par conséquent, notre seconde hypothèse est : l'utilisation des séries temporelles au pas de temps mensuel implique que les processus à hautes fréquences soient négligés.

**2 MILIEU D'ETUDE ET DONNEES**

Le bassin versant de l'Oubangui présente une forme allongée dont la partie en aval s'incurve vers le sud. Sa longueur est de l'ordre de 1788 km tandis que sa largeur est de l'ordre de 397 km [10]. Il s'étend sur environ 649836 km<sup>2</sup> entre 78 9°N à 1°S et 16°E à 31°E. 54% de sa superficie se localise en République Centrafricaine, 40% en République Démocratique du Congo et 6 % au Congo. La figure 1 présente la localisation de notre zone d'étude.

Une grande partie des informations sur ce bassin a été fournie par Callède et al., [10]. Les auteurs rassemblent des informations telles que : les données hydro-climatique de 1950 à 1975, les données géologiques, géomorphologiques, pédologiques, d'occupation de sol, des équipements pour les mesures hydrométriques, des études des écoulements (débits annuels, crues et basses eaux), du transport des sédiments et d'aménagement.



**Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Oubangui**

Le tableau 1 ci-dessous présente les références et les échelles spatio-temporelles de données récoltées dans la région.

Tableau 1 : Références et échelles spatio-temporelles de données

Donnée	Echelle spatiale (km)	Echelle temporelle	Période	Référence
MNT	0.09	No data	No data	NASA : <a href="http://srtm.csi.cgiar.org/">http://srtm.csi.cgiar.org/</a>
Climatique	55.5	Mensuelle	1901-2009	Mitchell et al., [5]
Occupation des sols	0.3	No data	No data	Verhegghen et al., [6]
Pédologie	0.09	No data	No data	Nachtergaele et al., [7]
Géologie	55.5	No data	No data	Dürr et al. [8]
Recharge des aquifères	55.5	Annuelle	1961-1990	Döll and Fiedler., [9]
Débit	No data	Mensuelle/journalière	1935-2007	Callède et al., [10] et Global Runoff Data center (GRDC)

Les données climatiques, hydrologiques ainsi que celles sur les propriétés caractéristiques du bassin versant constituent le support fondamental de la recherche. Elles ne seront pas produites mais au contraire collectées pour le routage des modèles hydrologiques. Le tableau 1 reprend les références et leurs échelles spatio-temporelles.

### 3 MATERIELS

La figure 2 illustre la structure du modèle Tank et le tableau 2 en présente ses principales composantes ainsi que ses paramètres.

Lee et al., [3] exploitent le model Tank dans une étude de l'impact de changement climatique futur sur l'écosystème aquatique de 44 sous-bassins versants du bassin versant de Nakdong (superficie : 23 300 km<sup>2</sup>) en Corée du SUD. Les étalonnages de 44 bassins versants ont donné de bons résultats. En moyenne, le coefficient de détermination est de l'ordre de 0,85 et le coefficient d'efficacité est à 0,79. Ce qui indique une très bonne reproduction de données sur le débit observation.

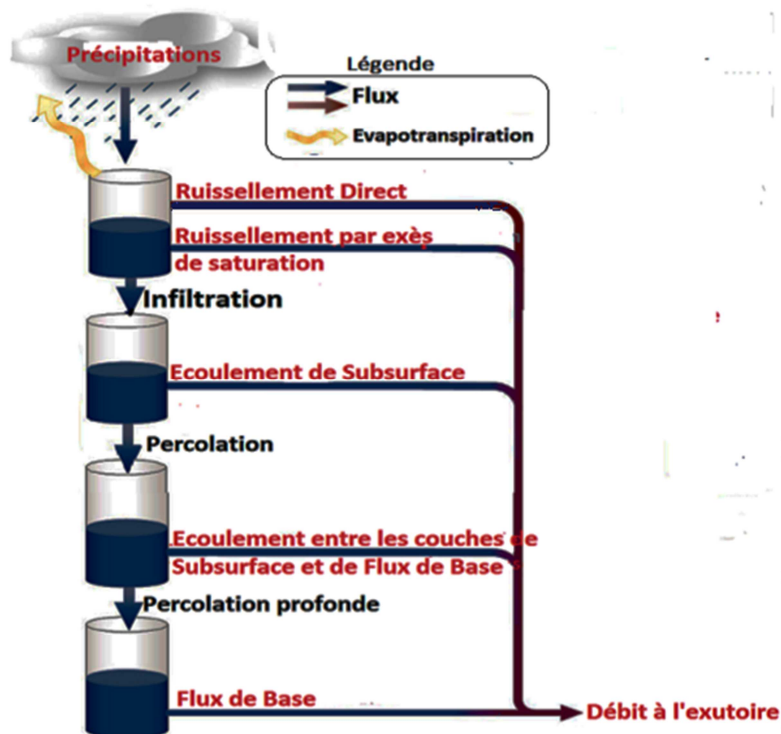


Figure 2 : Structure du modèle TANK [Podger., 2004].

Le modèle Tank [2] est un modèle conceptuel global pluie-débit composé de quatre réservoirs montés en série disposés à la verticale. Ce modèle nécessite comme entrée les précipitations et l'évapotranspiration. Les précipitations sont introduites dans le réservoir supérieur et l'évapotranspiration potentielle est soustraite de façon séquentielle à partir du réservoir

supérieur vers le réservoir du bas. Si un réservoir est vidé, le déficit de la demande d'évapotranspiration est repris au réservoir suivant jusqu'à ce que sa demande soit satisfaite.

**Tableau 2 : Principales composantes du modèle TANK et ses paramètres.**

Principales composantes du modèle	Paramètres du modèle	Description	Unités	Valeurs par défaut	Valeurs minimales par défaut	Valeurs maximale par défaut
<b>Paramètres du réservoir Tank1</b>						
	H11	Hauteur de sorti d'écoulement rapide a11	[mm]	0	0	500
	H12	Hauteur de sorti de l'écoulement lent a12	[mm]	0	0	300
	a11	Coefficient du ruissellement rapide	[-]	0.2	0.0	1.0
	a12	Coefficient du ruissellement lent	[-]	0.2	0,0	1.0
	b1	Coefficient d'infiltration	[-]	0.2	0,0	1.0
	C1	capacité du réservoir	[mm]	20	0	100
	α	Coefficient d'évaporation	[-]	0.1	0.0	1.0
<b>Paramètres du réservoir Tank2</b>						
	H21	Hauteur de sorti d'écoulement a21	[mm]	0	0	100
	a21	Coefficient du ruissellement	[-]	0.2	0.0	1.0
	b2	Coefficient d'infiltration	[-]	0.2	0.0	1.0
	C2	capacité du réservoir	[mm]	20	0	100
	α	Coefficient d'évaporation	[-]	0.1	0.0	1.0
<b>Paramètres du réservoir Tank3</b>						
	H31	Hauteur de sorti d'écoulement a31	mm	20	0	100
	a31	Coefficient du ruissellement	[-]	0.2	0.0	1.0
	b3	Coefficient d'infiltration	[-]	0.2	0.0	1.0
	C3	capacité du réservoir	[mm]	20	0	100
	α	Coefficient d'évaporation.	[-]	0.1	0.0	1.0
<b>Paramètres du réservoir tank4</b>						
	a41	Coefficient du ruissellement	[-]	0.2	0.0	1.0
	C4	capacité du réservoir	[mm]	20	0	100
	α	Coefficient d'évaporation.	[-]	0.1	0.0	1.0

Le transfert d'eau entre réservoirs se fait à travers l'infiltration, alors que le débit total de la rivière est constitué de la somme des sorties horizontales des 4 réservoirs. Les effets des pertes par interception et par stockage dans les dépressions (pertes initiales) sont pris en compte dans la structure non linéaire du modèle. La capacité de stockage est calculée à partir de la partie supérieure du réservoir jusqu'au réservoir du fond.

#### 4 CHOIX DES SOUS-BASSINS VERSANTS

La figure 3 présente la localisation de huit sous-bassins versants jaugés (Zinga, Bangui, Mobaye, Kembe, Rafai, Mbata, Zemio, Dembia) et de quatre sous-bassins versants peu jaugés (Mbagassou, Bria, Mbabari et Lougouba).

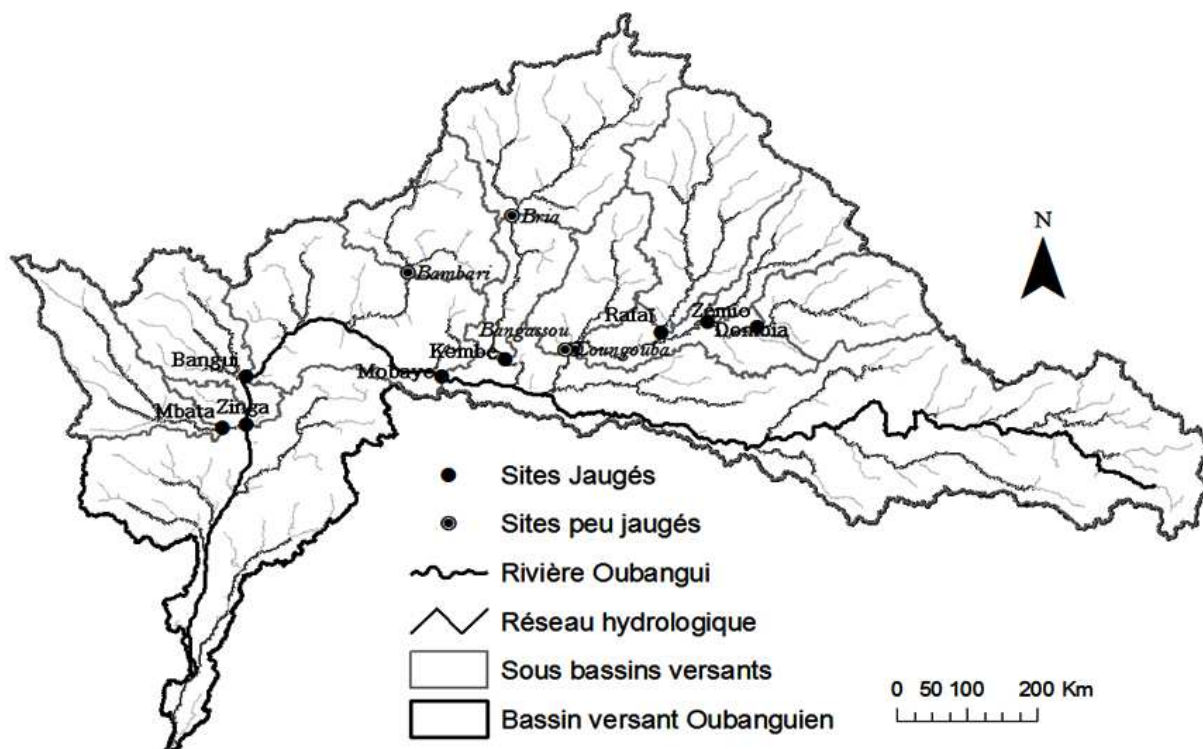


Figure 1 : Présentation de huit sous-bassins versants jaugés et de quatre sous bassins versants peu jaugés dans le bassin versant Oubanguien.

Le choix des sites des jaugeages se base sur les conditions suivantes : la taille du bassin versant, la qualité d’observation et la longueur de série chronologique.

Plusieurs bases des données ont été collectées dans cette étude, le tableau 1 en donne un résumé. Toutes ont une différence d’échelle spatiale et temporelle. Par rapport à l’échelle spatiale, le modèle Numérique de terrain et la base des données pédologiques possèdent la plus petite résolution (90 m). Les données géologiques, recharges des nappes et climatiques ont une résolution élevée (55500 m). Mitchell et al.,[5] souligne que la base de données CRU est appropriée pour des régions à grandes superficies permettant ainsi une approche de la modélisation globale.

Par conséquent, le premier choix des sites des jaugeages est conditionné par la taille des bassins versants qu’il délimite. Nous avons choisi les bassins versants dont la taille est au minimum 6 fois la taille de la résolution ( $3080.25 \text{ km}^2$ ) de la base de données CRU, soient les bassins versants dont la taille est supérieure à  $18481.5 \text{ km}^2$ .

Le second se base sur la qualité d’observation des sites des jaugeages. L’étude menée par Callède et al.,[10] présente une description de la qualité des observations des sites des jaugeages dans le bassin versant de l’Oubangui. Il ressort de cette étude que les sous bassins versants des Zinga, Bangui, Mobaye, Kembe, Rafai, Mbata, Zemio, Dembia, Mbagassou, Bria, Mbabari et Lougouba dont les superficies sont supérieures à  $19000 \text{ km}^2$ , ont plus ou moins des bonnes qualités d’observations de séries chronologiques des débits.

Le dernier choix basé sur la longueur des séries chronologiques de débits ayant aux plus 9 années complètes a permis de sélectionner huit sous-bassins versants : Zinga, Bangui, Mobaye, Kembe, Rafai, Mbata, Zemio, Dembia. Les huit sous-bassins feront l’objet d’une étude de calibration et quatre autre sous-bassins versants à savoir Mbagassou, Bria, Mbabari et Lougouba feront l’objet d’une étude de validation des simulations des modèles sur une base de similarité de sous-bassins versants.

## 5 ESTIMATION DE LA PLUIE MOYENNE ET D’EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MOYENNE

Le modèle hydrologique TANK est caractérisé par un format de données d’entrée. Par conséquent, le routage des modèles nécessite un formatage des données conformément au format d’entrée des modèles. Les modèles utilisés ont besoin des données d’entrée sous forme des séries chronologiques non spatialisées. Nos données climatiques de CRU étant

spatialisées, il convient donc à chaque pas de temps de sommer les valeurs de la grille de sorte à créer une série chronologique. Pour cela, on superpose aux grilles de données d'entrée les contours des sous bassins versants. Les lames d'eau précipitées ou évaporées sont donc calculées pour chaque maille, indépendamment les unes des autres, et ce pour chaque pas de temps. La pluie moyenne et l'évapotranspiration potentielle moyenne sur le bassin sont obtenues par la moyenne pondérée des contributions élémentaires des différentes mailles qui le constituent.

## 6 FONCTION OBJECTIVE OU CRITERE D'OPTIMISATION

Cette étude propose le critère de Nash-Sutcliffe [12] pour apprécier les jeux des paramètres obtenus lors d'étalonnage du modèle TANK. La formule (1.1) en donne l'estimation :

$$\text{NASH} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o_i} - Q_{s_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o_i} - mQ_o)^2} \quad (1.1)$$

Avec, NASH : Nash-Sutcliffe,  $Q_{o_i}$  : débit observé,  $Q_{s_i}$  : débit simulé et  $mQ_o$  : moyenne de débits observés.

## 7 METHODE D'OPTIMISATION DE SHUFFLED COMPLEX EVOLUTION (SCE-UA)

Plusieurs méthodes d'optimisations peuvent être utilisées pour générer les jeux des paramètres. Après plusieurs essais d'utilisation, seule la méthode d'optimisation Shuffled Complex Evolution method [13] a retenu notre attention. Dans cette étude, le modèle TANK a été exécuté un certain nombre de fois afin d'évaluer leurs performances dans l'ensemble de l'espace des paramètres. En outre, le nombre de complexes  $p$ , de points complexes  $m$ , de descendants  $\beta$  et de progénitures  $\alpha$  [13] a été augmenté dans différentes séries jusqu'à ce que les résultats aient été stables. La distribution de probabilité trapézoïdale PDF [14] a été maintenue constante dans tout le processus de calibrage.

## 8 PERIODE DE CALIBRATION ET DE VERIFICATION

Le tableau 3 présente les périodes de calibration et de validation du modèle hydrologique TANK pour les sites des jaugeages sélectionnés.

**Tableau 3 : Périodes de calibration et de validation du modèle hydrologique TANK pour les sites des jaugeages de Zinga, Bangui, Mobaye, Kembe, Rafai, Mbata, Zemio, Dembia, Mbagassou, Bria, Mbabari et Lougouba**

Bassin versant	Rivière	Période de calibration	Période validation	PRE (mm.mois <sup>-1</sup> )	ET (mm.mois <sup>-1</sup> )
Bambari	Ouaka	Non Calibration	Non Validation		
Bangassou	Mbomou	Non Calibration	Non Validation		
Bangui Humide	Oubangui	1935/01 – 1969/12	1970-01-2007-12	Calibration : 130.04 Validation : 123.42	Calibration : 106.88 Validation : 107.11
Bangui Sèche	Oubangui	1970/12-2007/12	1935-01 - 1969-12	Calibration : 123.42 Validation : 130.04	Calibration : 107.11 Validation : 106.88
Bria	Kotto	Non Calibration	Non Validation		
Dembia	Ouara	1953/01-1975/12	Non Validation	128.38	107.05
Kembe	Kotto	1948/01-1975/12	Non Validation	117.1	110.9
Lougouba	Mbari	Non Calibration	Non Validation		
Mbata	Lobaye	1950/11-1975/12	Non Validation	128.52	106.6
Mobaye	Oubangui	1939/01-1959/12	1960/06-1975/12	130.68	105.94
Rafai	Chiko	1952/01-1972/07	Non Validation	123.21	109.3
Zemio	Mbomou	1952/08-1973/03	1986/04-1994/03	126.8	107.05
Zinga	Oubangui	1946/01-1975/12	Non Validation	129.22	106.83

PRE = précipitation et ET = évapotranspiration potentiel de référence.

A cause de manque des données chronologiques des débits, seuls les sous bassins versants de Bangui, Mobaye, Zemio feront l'objet de calibration et de validation.

Concernant, le sous bassin versant de Bangui, nous avons fait le choix d'un découpage en fonction de la période de rupture des séries climatiques. Celle-ci se situe aux environs de 1970. Nous avons donc effectué dans un premier temps un calage sur la période humide et une validation sur la période sèche. Inversement, la calibration se fera pendant la période sèche et la validation pendant la période humide. Pour la même raison de manque des données, l'approche de calibration et validation inverse ne sera pas appliquée dans le sous bassin versant de Mobaye, Zemio.

## 9 ETALONNAGE DU MODELE TANK

La source des données de débits [10] montre que les données du site de jaugeage Kembe ne sont pas de bonne qualité. De la même source, nous observons une insuffisance des données dans la série chronologique des débits du site de jaugeage Dembia. Ces observations laissent croire à des mauvais résultats des simulations du modèle dans ces deux sous bassins versants. C'est en effet, le cas (tableau 4), ces deux sous bassins génèrent en général des critères de performance de mauvaise qualité. Par contre, les sous bassins BH, BS et Mobaye sont ceux dont le débit est le mieux reproduit. Si nous les comparons au niveau de la calibration (tableau 4), nous pouvons observer de bonnes performances pour l'ensemble des sous bassins versants. Au niveau de la vérification, en général les performances du modèle décroissent. Cependant sur Mobaye, la vérification des paramètres optimisés du modèle donne de très bons résultats. Les mauvais résultats de la vérification obtenus dans le bassin versant Zemio peut être expliqué par l'insuffisance et la qualité de données qui ont servi à la période de vérification des simulations.

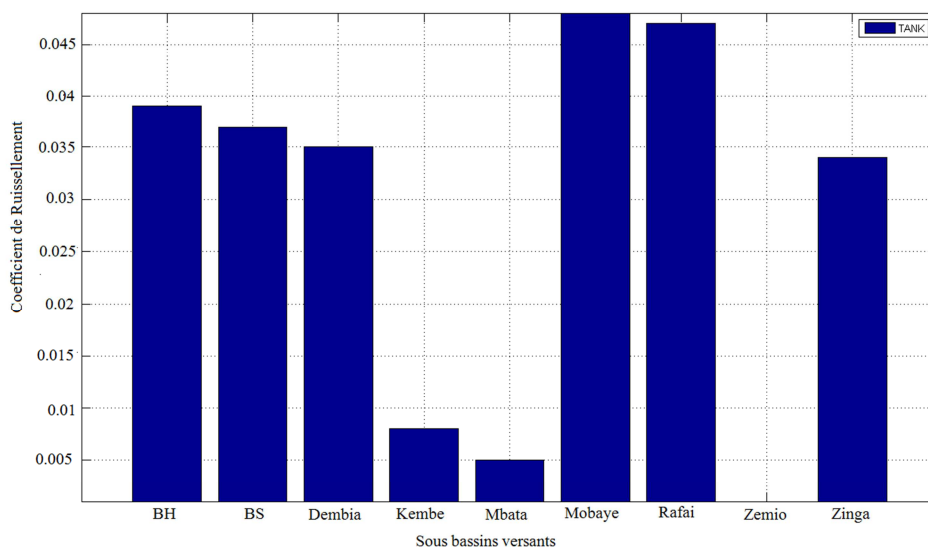
La vérification des simulations du modèle dans le sous bassin versant de Bangui durant la période sèche (BS), donne de meilleurs résultats que celle de la période humide. Cela montre clairement que le choix de la période de calibration ou de vérification est très crucial dans une étude de modélisation. En effet, BH et BS appartiennent au même sous bassin versant et donnent des résultats tout à fait différents de Nash vérification. Cela est dû aux différentes périodes choisies pour la calibration et la vérification des simulations.

**Tableau 4 : Calibration et vérification des simulations du modèle TANK dans le sous bassin versant de Bangui en période humide (BH), Bangui en période sèche (BS), Dembia, Kembe, Mbata, Mobaye, Rafai, Zemio, Zinga. Avec BH : Bangui durant la période humide (1935-1969), BS : Bangui durant la période sèche.**

paramètres	Unités	Sous bassin versants								
		Zinga	Zemio	Rafai	Kembe	Dembia	Mbata	Mobaye	Bangui sèche	Bangui humide
Surface	Km <sup>2</sup>	525243.400	27946.200	53284.500	79045.000	20233.800	31197.800	400900.000	495140.000	495140.000
H11	[mm]	310.547	463.562	437.110	324.745	458.220	296.600	317.308	234.098	494.220
a11	[-]	0.056	0.0021	0.083	0.018	0.065	0.010	0.065	0.042	0.047
a12	[-]	0.072	0.026	0.018	0.020	0.030	0.018	0.005	0.042	0.037
a21	[-]	0.130	0.598	0.504	0.628	0.955	0.338	0.442	0.391	0.824
a31	[-]	1.000	0.211	0.366	0.048	0.921	0.231	0.640	0.292	0.758
a41	[-]	1.000	0.003	0.929	0.999	0.099	0.028	0.002	0.002	0.010
α	[-]	4.724	4.450	2.487	3.000	0.027	4.823	4.648	4.111	4.257
b1	[-]	0.014	0.078	0.021	0.036	0.010	0.091	0.052	0.044	0.014
b2	[-]	0.609	0.635	0.929	0.500	0.272	0.737	0.567	0.863	0.734
b3	[-]	0.130	0.576	0.929	0.320	0.064	0.302	0.298	0.665	0.549
C1	[mm]	34.896	75.546	36.879	99.654	98.947	73.737	31.702	88.874	25.671
C2	[mm]	12.208	12.407	44.146	80.416	21.818	65.818	56.130	60.239	59.032
C3	[mm]	23.124	42.984	86.438	77.516	23.720	62.179	69.234	97.634	9.484
C4	[mm]	99.183	92.721	68.455	38.510	98.229	79.630	16.616	43.378	63.661
H12	[mm]	146.599	190.642	114.238	198.113	277.288	279.169	171.471	53.091	388.051
H21	[mm]	9.635	31.128	11.322	4.256	4.525	0.003	9.792	15.016	5.090
H31	[mm]	41.901	15.371	10.000	14.831	7.224	70.000	4.491	7.542	6.989
H41	[mm]	55.707	21.695	10.128	46.948	97.951	93.449	30.181	13.462	9.467
Nash-S utcliffe	[-]	0.862	0.754	0.746	0.449	0.420	0.764	0.860	0.860	0.853
Calibration										
Nash-S utcliffe	[-]	-	-0.065	-	-	-	-	0.878	0.827	0.532
Vérification										

## 10 COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Dans le sous bassin versant de Mbata de nature karstique [10], le modèle TANK arrive à bien capturer le signal du système hydrologique. La plus petite valeur du coefficient de ruissellement est estimée par ce sous-bassin versant (figure 4). Ce dernier, est le seul sous -bassin versant de nature karstique sélectionné dans cette étude. Par conséquent, parmi les sous bassins versants sélectionnés, seul, celui de Mbata peut être caractérisé par une valeur très petite de coefficient de ruissellement.



La figure 4 présente le coefficient de ruissellement [15] estimé par les modèles TANK dans les sous bassins versants de Bangui humide (période de calibration : 1935-1969), Bangui sèche (période de calibration : 1970-2009), Dembia, Kembe, Mbata, Mobaye, Rafai, Zemio et Zinga.

## 11 CONCLUSION

L'analyse de performance et celle de coefficient de ruissellement de surface permettent de conclure que le modèle TANK a été bien étalonné dans le bassin versant Oubanguien. En effet, d'une part, l'analyse de la performance basée sur le critère de Nash-Sutcliffe montre de très bons résultats d'étalonnage des sous bassins versants. Toutefois, ceux de Kembe et Dembia présentent de très mauvais étalonnage du modèle. Cela est dû à la mauvaise qualité de données de ces sites de jaugeages. D'autre part, le seul le sous bassin versant de nature karstique sélectionné dans cette étude, celui de Mbata, a la plus petite valeur de coefficient de ruissellement de surface comparativement aux reste de sous bassins versants.

## REFERENCES

- [1] C. Perrin, Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative, Grenoble, France: Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.
- [2] J. Kim et S. Kim, «Flow duration curve analysis for Nakdong River basin using TMDL flow data,» *Journal of Korean Society on Water Quality*, vol. 23, pp. 332-338, 2007.
- [3] A. Lee, S. Cho, K. Kang et S. Kim, «Analysis of the effect of climate change on the Nakdong river stream flow using indicators of hydrological alteration,» *Journal of Hydro-environment Research*, p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2013.09.003>, 2013.
- [4] R. Kachroo, «River flow forecasting. Part 5. Application of a conceptual model,» *Journal of Hydrology*, vol. 133, pp. 1-2, 1992.
- [5] T. D. Mitchell et P. D. Jones, «An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids,» *International journal of climatology*, vol. 25, p. 693-712, 2005.
- [6] A. Verheggen et P. Defourny, A global scale land surface phenology reference dataset with 12 years of spot vegetation data. PhD Student Day ENVITAM (Espace Senghor, Gembloux, du 08.02.2012 au 08.02.2012), Gembloux: In: Proceedings, 2012, p. 81. <http://hdl.handle.net/2078.1/107067>, 2012.
- [7] A. Nachtergaele, B. van Velthuizen, B. Verelst, C. Batjes, C. Dijkshoorn, v. ., Engelen, B. Fischer, D. Jones, D. Montanarella, P. A.M., B. Prieler, E. Shi, D. Teixeira et D. Wiberg, «World Congress of Soil Science,» chez *Soil Solutions for a Changing World 1-6 August 2010*, Brisbane, Australia, 2010.
- [8] H. H. Dürr, M. Michel et S. H. Dürr, «Lithologic composition of the Earth's continental surfaces derived from a new digital map emphasizing riverine material transfer,» *Global Biogeochem. Cycles*, vol. 19, pp. GB4S10, doi:10.1029/2005GB002515, 2005.



- [9] P. Döll et M. Flörke, «Global-scale modeling of groundwater recharge,» *Hydrol. Earth Syst. Sci*, vol. 12, p. 863–885, 2008.
- [10] J. Callède, Y. Boulvert et J. Thiébaux, «Le bassin de l'Oubangui,» chez *Coll. Monographies hydrologiques*, Paris, 1992.
- [11] R. M. Tshimanga, *Hydrological Uncertainty Analysis and Scenario-Based streamflow Modelling for the Congo river Basin*, Grahamstown: RHODES UNIVERSITY, 2013.
- [12] J. Nash et J. Sutcliffe, «River flow forecasting through conceptual models part A Discussion of principles,» *J. Hydrol*, vol. 10, pp. 282-290, 1970.
- [13] Q. Duan, V. Gupta et S. Sorooshian, «A shuffled complex evolution approach for effective and efficient optimization,» *J. Optimization Theory Appl*, vol. 76(3), pp. 501-521, 1993.
- [14] G. Podger, «rainfall runoff library,» CRC for Catchment Hydrology, Australia, 2004.
- [15] A. Musy et C. Higy, *Hydrologie. 1 Une science de la nature*, Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2009.
- [16] O. Shem et R. Dickinson, «How the Congo basin deforestation and the equatorial monsoonal circulation influences the regional hydrological cycle,» chez *Paper presented at the 86th annual American meteorological society meeting, 2006*, 2006.
- [17] Y. Munzimi, «Satellite-derived rainfall estimates (TRMM products) used for hydrological predictions of the Congo River flow: overview and preliminary results. START report,» 2008. [En ligne]. Available: <http://start.org/alumni-spotlight/yolande-munzimi.html>. [Accès le 3 January 2013].
- [18] E. Kapangaziwiri, *Revised parameter Estimation methods for the Pitman monthly rainfall-runoff model*, Grahamstown(South Africa): Rhodes University, 2007.
- [19] V. Koren, M. Smith et Q. Duan, «Use of a priori parameter estimates in the derivation of spatially consistent parameter sets of rainfall-runoff models,» *Hydrology Laboratory, office of hydrologic development, NOAA/NWS, Silver spring, maryland*, vol. 6, p. 239–254, 2003.