



Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l'Oti à Porga (Benin) à l'aide du modèle Sacramento

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER II

.....

OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Adébayo H. Adigoun ADEKOLA

Travaux dirigés par :

Dr FOWE TAZEN

Dr Rafatou FOFANA,

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Dial NIANG

Membres et correcteurs : Dr Adjadi MOUNIROU
Dr Fowe TAZEN
Dr Rafatou FOFANA

Promotion [2015/2016]

DEDICACES

A mon père, ADEKOLA S. Rafiou, qui a toujours voulu que j’aie plus loin dans mes études. Qu’il trouve ici sa joie

A ma mère, GBADAMASSI Affoussatou, pour son Amour, sa confiance, son soutien moral et ses prières.

A mon Oncle SANOUSSI Rasack, auprès de qui j’ai eu le goût de l’apprentissage et qui a toujours cru en moi.

A mes frères et sœurs, Tchègoun, Boukola, Yachir, Imani, qui m’ont toujours soutenu et éprouvé de la joie pour mes victoires et de la peine pour mes souffrances.

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

« Celui qui n’a pas remercié les hommes, n’a pas remercié Dieu (Allah)»

A l’issue de la rédaction de mes travaux de mémoire, je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui de près ou de loin, n’ont pas ménagé leurs efforts, afin que je puisse concevoir et rédiger ce document.

Mes remerciements vont à l’endroit de

Docteur Rafatou FOFANA, Hydrologue à ABV Burkina Faso, pour m’avoir donné l’opportunité de faire ce stage. En tant que Maître de stage et dont la disponibilité, l’encadrement et les critiques pertinentes m’ont permis de mieux orienter et faire cette étude.

Mr Nelson AKIBODE, Représentant du point focal RRC Togo pour m’avoir accueilli dans sa structure.

Docteur FOWE TAZEN, docteur à la Fondation 2iE pour l’encadrement et la formation académique reçus. Votre rigueur scientifique, vos suggestions pertinentes, votre souci de l’excellence et du travail bien fait ont donné à ce mémoire, un contenu scientifique avéré.

Tout le personnel STRRC.

Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à ce travail. Trouvez ici, l’expression de ma profonde gratitude.

RESUME

Le globe subit il y a longtemps des intempéries liées au réchauffement climatique. Cette situation n’épargne guère l’Afrique et singulièrement l’Afrique de l’Ouest. En effet une partie du Ghana et du Togo qui se trouve en aval du bassin de l’Oti à Porga est affectée par les inondations depuis quelques décennies. Pour appréhender ces phénomènes devenus récurrents au fil des années et qui sont probablement dus à la variabilité et au changement climatique, un modèle hydrologique (modèle Sacramento) est implémenté sur la portion du bassin à Porga pour la prévision des débits. C’est un modèle conceptuel à cinq (5) réservoirs avec (16) paramètres qui tient compte de l’état d’humidité du sol et fonctionne au pas de temps journalier. Il prend en entrées les données de précipitations et d’évapotranspirations. Le modèle est calibré sur la période de 2003 - 2008 et validé sur la période 2010 – 2012. Le critère de Nash a permis d’apprécier les performances du modèle. Les résultats montrent que le modèle Sacramento simule bien les crues sur le bassin de l’Oti à Porga. En effet les critères de Nash obtenus en calibration et en validation sont respectivement 0,79 et 0,89.

Mots Clés :

- 1 – Sacramento (Modèle pluie-débit)**
- 2 –Modélisation hydrologique**
- 3 – Crues;**
- 4 – Oti à Porga.**

ABSTRACT

The globe undergoes long ago bad weather bound to the global warming. This situation does not save Africa and particularly western Africa. Indeed a part of Ghana and Togo which is downstream to the catchment of Oti River to Porga is affected by floods since a few decades. To arrest these phenomenon become recurring over years and which are probably owed to the variability and the climate change, a hydrological model (model Sacramento) is implemented on the portion of the catchment of Oti for the forecast of debits. It is a conceptual model possessing five (5) reservoir with (16) parameters that take into account the state of humidity of the round and it works in step of daily time. It take in entrance the data of precipitation and evapotranspiration. The model is calibrated over the period of 2003 – 2008 and to validate over the period 2010 – 2012. Criterion Nash allowed to appreciate the performances of the model. The results show that the model Sacramento feigns the floods on the catchment of Oti to Porga. The criteria of Nash obtained in calibration and validation are respectively 0, 79 and 0, 89

Key words:

- 1 – Sacramento (Rainfall-runoff modelling);**
- 2 – hydrological modelling;**
- 3 – Flood;**
- 4 – Oti à Porga.**

SIGLES ET ABREVIATIONS

ABV	: Autorité du Bassin de la Volta
BM	: Banque Mondiale
CRT	: Croix Rouge Togolaise
ETP	: Evapotranspiration potentielle
FEM	: Fonds pour l’Environnement Mondial
GDACS	: Global Disaster Alert and Coordination System
GEC	: Gaz à Effet de Serre
GFDRR	: Global Facility For Disaster Reduction and Recovery
GIEC	: Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Evolution Climat
MERF	: Ministère de l’Environnement et de la Ressource Forestière
MSPC	: Ministère de la Sécurité et de la Protection Civile
NADMO	: National Disaster Management Organisation
PDNA	: Post Disaster Needs Assessment (Evaluation des besoins après désastre)
PNUD	: Programme des Nation Unie pour le Développement
RRC	: Réduction des Risques et de Catastrophe
SMB	: Service Météorologique du Benin
SDHB	: Service de Département Hydraulique du Benin
STRRC	: Secrétariat Technique de la Plateforme nationale sur la Réduction des Risques des Catastrophes
UNISDR	: United Nation International Strategy for Disaster Reduction
EM-DAT	: The International Emergency Disaster Database

TABLE DES MATIERES

<i>DEDICACES</i>	i
<i>REMERCIEMENTS</i>	ii
<i>RESUME</i>	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
<i>SIGLES ET ABREVIATIONS</i>	v
I INTRODUCTION.....	1
I.1 Contexe.....	1
I.2 Problématique.....	2
I.3 Objectif de l’étude	2
I.4 Méthodologie générale	3
II GENERALITES SUR LES INONDATIONS ET LE MODELE SACRAMENTO	4
II.1 Typologie des inondations.....	4
II.2 Causes et impacts des inondations en Afrique de l’Ouest.....	4
II.3 Généralités sur la modélisation des inondations.....	6
II.3.1 Etat de l’art : Modélisation hydrologique, typologie des modèles hydrologiques et calage.....	6
II.3.2 Modèles hydrauliques	8
II.3.3 Modèles couplés hydrologique-hydraulique	9
III MATERIELS ET METHODES.....	10
III.1 Présentation de la zone d’étude.....	10
III.1.1 Situation géographique.....	10
III.1.2 Le Climat.....	11
III.1.3 Sols et végétations.....	11
III.2 Données hydro-climatiques sur le bassin de l’Oti à Porga	13
III.3 Critique et analyse des données	13

III.3.1	Critiques des données hydro-climatiques.....	13
III.3.2	Analyse des données hydro-climatiques	15
III.4	Démarche de la mise en œuvre du modèle hydrologique Sacramento	18
III.4.1	Justification du choix du modèle.....	18
III.4.2	Description du modèle Sacramento.....	19
IV	RESULTATS ET INTERPRETATION	28
IV.1	Analyse des évènements historiques d’inondations.....	28
IV.2	Simulation de l’écoulement par le modèle Sacramento.....	28
IV.2.1	Calage du modèle	28
IV.2.2	Validation du modèle	30
IV.2	Interprétation des résultats	31
V	PROPOSITION DES MESURES D’ADAPTATION FACE AUX INONDATIONS ...	32
VI	CONCLUSION	34
VII	BIBLIOGRAPHIE	35
VIII	ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des données hydro-climatiques	14
Tableau 3: Description des paramètres du modèle hydrologique Sacramento	20
Tableau 4: Echelle d'appréciation de Nash	25
Tableau 5: Test de sensibilité à la taille de l'échantillon de validation et calibration	26
Tableau 6: Les paramètres d'optimisations du modèle	27
Tableau 7: Listes des mesures structurelles	32
Tableau 8: Les événements historiques d'inondation dans le bassin de l'Oti.....	VI
Tableau 9: Chroniques des débits reconstitués avec le modèle Sacramento sur BV de l'Oti à Porga.....	XI

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Transformation de la pluie brute en hydro gramme de crue	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2: Localisation de la zone de l’étude	10
Figure 3: Carte du réseau hydrographique du Bassin de l’Oti à Porga	12
Figure 4: Hydrogramme des débits journaliers maximums et minimums annuels	15
Figure 5:Schémas conceptuel du modèle Sacramento	21
Figure 6: Evolution des pluies moyennes mensuelles (2003-2012)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 7: Evolution de l’ETP moyenne mensuelle (2003-2012) ...	Erreur ! Signet non défini.
Figure 8: Hydrogramme journalier de crue sur le bassin de l'Oti à Porga (2003-2012)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 9: Evolution des débits journalières max et les pluies journalières maximales	Erreur ! Signet non défini.
Figure 10: Evolution du nombre d’évènements d’inondations par an sur la période 1999 à 2013	28
Figure 11: Hydrogrammes des débits simulés et observés sur la période de calage 2004-2008	29
Figure 12:Comparaison entre les débits calculés et observés sur une période 2004-2008	29
Figure 13:Hydrogrammes des débits simulés et observés sur la période de validation 2010-2012.....	30
Figure 14: Comparaison entre les débits calculés et observés sur une période 2010-2012	31
Figure 15 : Proposition d'un circuit de diffusion d'alerte	33
Figure 16:Schema représentatif de la méthode de Thiessen	III
Figure 17:Carte de découpage des sous surfaces sur le bassin de Porga par la méthode de Thiessen.....	IV

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

I INTRODUCTION

I.1 Contexe

L’Afrique connaît depuis quelques décennies les perturbations climatiques. Ainsi, l’Afrique de l’Ouest considérée comme la région la plus vulnérable au changement climatique est confrontée aux évènements extrêmes dont les inondations (Sarr, 2011). Ces inondations accrues ont un impact majeur sur le développement socio-économique des pays de la sous-région (DCN, 2010). Selon les statistiques de la base de données EM-DAT (2014), les inondations ont affecté plus de 13,6 millions de personnes en Afrique de l’Ouest ces dix dernières années (2004-2013).

Alors, une partie du Ghana et du Togo qui se trouve dans le bassin de l’Oti en particulier, n’en est pas épargné ces dernières décennies. Certaines localités de ces deux pays situées juste en aval dans bassin de l’Oti à Porga sont affectées par ces inondations (PDNA, 2010). Les conséquences des inondations des années 2007 à 2010 ont principalement marqué l’esprit des populations vivant dans le bassin (DSRP, 2009; GFDRR, 2012). En 2010 par exemple, les dégâts engendrés par les inondations ont été évalués à plus de 38 millions USD au Togo (PDNA, 2010).

Face à cette situation devenue de plus en plus préoccupante pour les autorités mondiales, nationales et régionales ; la Banque Mondiale (BM)/ GFDRR) a décidé de soutenir ces pays (le Ghana et le Togo) dans la gestion des risques d’inondation à l’aide des techniques modernes. Les techniques (SAP) seront gérées par les différents organes de réduction des risques des catastrophes de chaque pays dont le STRRC basé à Lomé-Togo et NADMO à Accra-Ghana. La réduction des risques d’inondation par ces techniques modernes nécessite une connaissance sur la modélisation dans laquelle se trouvent deux tâches essentielles : hydrologique et hydraulique. Dans la présente étude nous avons opté pour la modélisation hydrologique (Sacramento), elle est intégrée dans la plateforme SOBEK. Le but de cette étude est de contribuer à la connaissance des crues à travers la mise en place d’un outil de prévision des crues dans le bassin de l’Oti à Porga.

I.2 Problématique

Le bassin de l’Oti est un bassin transfrontalier partagé par quatre (4) pays de l’Afrique de l’Ouest (Benin, Burkina-Faso, Ghana, Togo) (Kankam-Yeboah *et al.*, 2004). Parmi ces pays le Ghana et le Togo sont victimes d’un problème crucial celui de l’inondation considérée comme dévastatrice. Une forte précipitation et une topographie défavorable font que les inondations sont devenues une menace pour les populations et les biens (Komi *et al.*, 2016; PNUE-FEM Volta, 2013).

Pour réduire les impacts négatifs de ce phénomène (inondation), plusieurs actions ont été entreprises entre autres : l’installation des balises par la croix rouge Togolaise (CRT) (GFDRR, 2012) pour alerter la population une fois que le niveau de l’eau est atteint le seuil critique de la balise (niveau jaune) et certains indicateurs locaux (état de nuages, attitude des batraciens, comportement des oiseaux et des insectes) qu’utilisent la communauté, sont des solutions pour limiter le risque des catastrophes.

Selon les étude de (PDNA, 2010) on détecte une faible capacité de la gestion des inondations et de connaissance des crues existante. Il devient urgent de mettre en place un outil de prévision de crue afin de réduire les risques de vulnérabilité des populations.

I.3 Objectif de l’étude

L’objectif général est de contribuer à la connaissance des crues à travers la mise en place d’un outil de prévision des crues dans le bassin de l’Oti à Porga. Ce travail vise plus spécifiquement à :

- Recenser et analyser les évènements historiques d’inondations avec leurs impacts socio-économiques et environnementaux dans le bassin d’Oti à Porga;
- Implémenter (calibrer et valider) le modèle hydrologique Sacramento pour simuler les crues dans le bassin d’Oti à Porga ;
- Proposer les mesures d’adaptation face aux inondations.

I.4 Méthodologie générale

La méthodologie sommaire adoptée pour cette étude s’articule comme suit :

Dans un premier temps, nous avons fait une revue de littérature sur les inondations, leurs causes et leurs impacts en Afrique de l’Ouest en général et particulièrement dans le bassin de l’Oti à Porga.

Dans un second temps, nous avons collecté et analysé l’ensemble des données nécessaires pour cette étude. Enfin nous avons fait la mise en œuvre du modèle Sacramento sur le bassin.

II GENERALITES SUR LES INONDATIONS ET LE MODELE SACRAMENTO

II.1 Typologie des inondations

Une inondation désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur ou qui afflue dans les talwegs ou les dépressions lorsque le débit et le volume d'eau d'une crue sont importants. En effet, il existe trois principaux types d'inondations (Provitolo, 2008) :

- **Par débordement direct** : Une inondation peut avoir lieu quand une rivière déborde donc le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur alors il envahit des vallées entières.
- **Par accumulation d'eau ruisselée** : Lorsqu'il y a une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau. Autrement dit, quand ils font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses, l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement.
- **Par débordement indirecte** : Les eaux remontent à travers les nappes alluviales, dans les réseaux d'assainissement dans des points bas localisés par effet de siphon.

Dans le cas de cette étude il s'agit de l'inondation par accumulation d'eau ruisselée.

II.2 Causes et impacts des inondations en Afrique de l'Ouest

Les activités anthropiques depuis la révolution industrielle auraient contribué à l'augmentation de gaz à effet de serre (GES) et ont eu pour effet, le réchauffement du climat mondial (GIEC, 2007). Dans le troisième rapport d'évaluation (Bilan 2001 des changements climatiques), la GIEC estimait « très probable » que l'on observe une occurrence des précipitations intenses dans le monde (GIEC, 2001). C'est ainsi le nombre, la fréquence et la gravité des catastrophes ont augmenté en Afrique et cette situation se traduit par des risques comme les inondations et des sécheresses. Les activités anthropiques sont aussi responsables de l'aggravation des inondations en raison de l'étalement urbain dans les zones à risque (lit majeur des cours d'eau, zones dépressionnaires) et la population de ses zones ne sont affectées de manière similaire.

Les données les plus récentes de la Stratégie internationale des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR, 2011) ont démontré que les inondations ont affecté plus de 34 millions de personnes sur l’ensemble du continent africain (dont 19 millions en Afrique de l’Ouest) et rien qu’en 2012, on en enregistre des pertes économiques supérieures à 1,3 milliard de dollars entre 2011 et 2012 en Afrique. Et selon les statistiques de la base de données (EM-DAT, 2014), les inondations ont touché avec des déplacés 13,6 millions de personnes en Afrique de l’Ouest ces dix dernières années (2004-2013).

II.3 Généralités sur la modélisation des inondations

La modélisation des inondations représente un atout important pour les réponses aux questions liées aux catastrophes naturelles, ces objectifs varient de la prévision à l’annonce des crues (calculs en temps réel) (Horrits, and Bates., 2001). Cette modélisation nécessite une connaissance de certains outils tels que le modèle hydrologique et hydraulique.

II.3.1 Etat de l’art : Modélisation hydrologique, typologie des modèles hydrologiques et calage

La modélisation hydrologique est l'utilisation des mathématiques pour représenter l'écoulement de l'eau dans un bassin versant. Le bassin reçoit généralement de l'eau sous forme de précipitations. Une bonne partie de l'eau se déplace à travers le bassin versant via un réseau de cours d'eau et sort à un exutoire. La modélisation d'un système hydrologique peut être utile pour simuler les différents processus de transformation pluie – débit. Le principe de la modélisation hydrologique est basé sur deux opérateurs mathématiques à savoir : la fonction de production (transformation de la pluie brute en pluie nette) et la fonction de transfert (transformation de la pluie nette en hydrogramme de crue) (figue 1). IL existe dans la littérature plusieurs définitions et classifications des modèles hydrologiques (Dooge, 1997), on distingue:

❖ Classification selon la représentation de l’espace

Selon la description des processus hydrologiques dans le modèle et sa liaison avec les caractéristiques du bassin versant, le modèle peut être global ou distribué, déterministe ou stochastique ou mixte.

- **Modèle global/distribué** : Un modèle est dit global lorsqu'il traite le bassin versant comme un objet unidimensionnel. Par contraire, dans le modèle distribué, le bassin est fragmenté en sous unités qui seront prises en compte séparément. On parle aussi parfois de modèles semi-distribués ou le bassin est divisé en sous bassins.
- **Modèles déterministes/modèles stochastiques** : Les modèles déterministes considèrent que les paramètres et variables d’entrée ainsi que leur répartition spatio-temporelle sont connus d’une manière précise, alors que les modèles stochastiques considèrent ces mêmes grandeurs et leur distribution comme étant des variables

aléatoires, donc représentées par une fonction de probabilité. Il faut dire que la majorité des modèles sont déterministes.

❖ Classification selon la discrétisation temporelle

Selon les objectifs recherchés à travers la modélisation, le comportement du bassin peut être reproduit uniquement pour des événements particuliers (typiquement des épisodes de crues) ou en continu sur une période plus ou moins longue englobant des périodes de temps sec (hors événements). Nous distinguons ainsi les modèles événementiels et les modèles continus.

- **Modèle continu/discret (événementiel) :** Dans le modèle continu, la prédiction est réalisée sur de longues durées pouvant inclure des périodes sans précipitations par contre avec le modèle discret (événementiels) l’assimilation se fait pour un événement pluvieux donné et limité dans le temps.

❖ Classification selon la description des processus

Pour décrire le processus de cheminement d’une goutte de pluie tombée sur le bassin jusqu’à l’exutoire, nous avons recours le plus souvent à une simplification qui consiste à décomposer le processus hydrologique en différents sous-processus qui peuvent être représentés séparément.

- **Modèle conceptuel/empirique :** Les modèles conceptuels sont basés sur la connaissance des phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui agissent sur les entrées pour obtenir les sorties alors que les modèles empiriques (boîte noire) sont construits sur l’observation des entrées – sorties sans chercher à comprendre le phénomène de conversion.

❖ Choix du modèle

Il permet d’identifier les paramètres qui influence le plus sur les résultats du modèle. Les paramètres auxquels le modèle est sensible seront retenus pour le calage, les autres seront fixés.

❖ Calage du modèle

Le calage d’un modèle consiste à trouver le jeu optimal de paramètres, c’est à dire celui qui optimise (bien souvent qui minimise) un critère numérique permettant de juger de l’adéquation du modèle pour des données disponibles. Si l’on peut avoir un assez grand nombre de critères

de jugement permettant d'apprécier les performances du modèle relativement à des aspects particuliers, en revanche le calage ne peut porter que sur l'optimisation d'un critère unique.

En général, ce critère mesure un écart entre la chronique des valeurs de débit simulé par le modèle et la chronique des valeurs observées. De nombreuses formules ont été observées pour mesurer cet écart, certaines mettant l'accent sur les crues, d'autres sur les étiages ou sur les deux à la fois ; toutes fois les critères sont construits selon le même principe : écarts entre débits observés et débits calculés pondérés.

❖ Validation du modèle

La validation est le fait d’appliquer le jeu de paramètres issu du calage à une série des données n’ayant pas servi à l’optimisation de ces paramètres. Le but est de voir si le jeu des paramètres obtenus à l’issue de la phase de calage permet de reconstituer des débits observés correspondant à des nouvelles données d’entrées du modèle. Cette validation a pour rôle de confirmer la validité des paramètres issus du calage.

Autant que possible, cette période de contrôle doit correspondre à des situations climatiques assez différentes de celles de la période de calage afin de mieux faire apparaître les qualités et les défauts du modèle. La qualité d'un modèle se mesure autant à la valeur absolue de la fonction critère qu'à la différence entre la valeur prise par la fonction sur la période de calage et celle prise sur une période de contrôle disjointe de la précédente. Cet écart donne une idée quant à l'adaptabilité et la robustesse du modèle.

II.3.2 Modèles hydrauliques

Les modèles hydrauliques sont des modèles couramment utilisés pour l'aménagement des rivières et la prévention des dommages liés aux inondations. Ces modèles calculent les hauteurs d'eau et débits sur le tronçon de rivière à partir de sa géométrie et des conditions aux limites du système: débit à l'amont du tronçon et hauteurs d'eau à l'aval. Lorsque le tronçon est long, les apports latéraux deviennent conséquents tout en demeurant rarement mesurés car provenant d'affluents secondaires. L'évaluation de ces apports constitue alors une étape essentielle dans la simulation des crues sous peine de fortes sous ou surestimations des variables hydrauliques (Julien, 2009).

II.3.3 Modèles couplés hydrologique-hydraulique

Deux options sont envisageables dans le couplage: le couplage unidirectionnel avec un passage d'information d'un modèle vers l'autre ou bidirectionnel avec des échanges dans les deux sens. La plupart des publications mentionnant un couplage entre modèles hydrologiques et hydrauliques utilisent un échange unidirectionnel: les débits d'apport sont d'abord calculés par le modèle hydrologique puis utilisés dans un second temps comme conditions aux limites par le modèle hydraulique. Cette approche reste valable tant que les conditions hydrauliques dans la rivière principale n'influencent pas celles de l'affluent (Steinebach et *al*, 2004).

III MATERIELS ET METHODES

III.1 Présentation de la zone d’étude

III.1.1 Situation géographique

Situé en amont du bassin de l’Oti, Le bassin versant de l’Oti à Porga (figure 2) est compris entre la latitude 12° 16’ et 10° 6’ Nord et la longitude 0° 16’ et 2° 24’ Est. Il s’étend sur près de 203 km de long et 160 km large avec une surface près de 23000 km² (PNUD-FEM, 2010). Les localités telles que Mandouri, de Saboba, Mango au Togo Sabari, Zabzugu et Tatalé du côté du Ghana situées en aval de la zone d’étude sont les plus touchées par les inondations (Kossi et al., 2016).

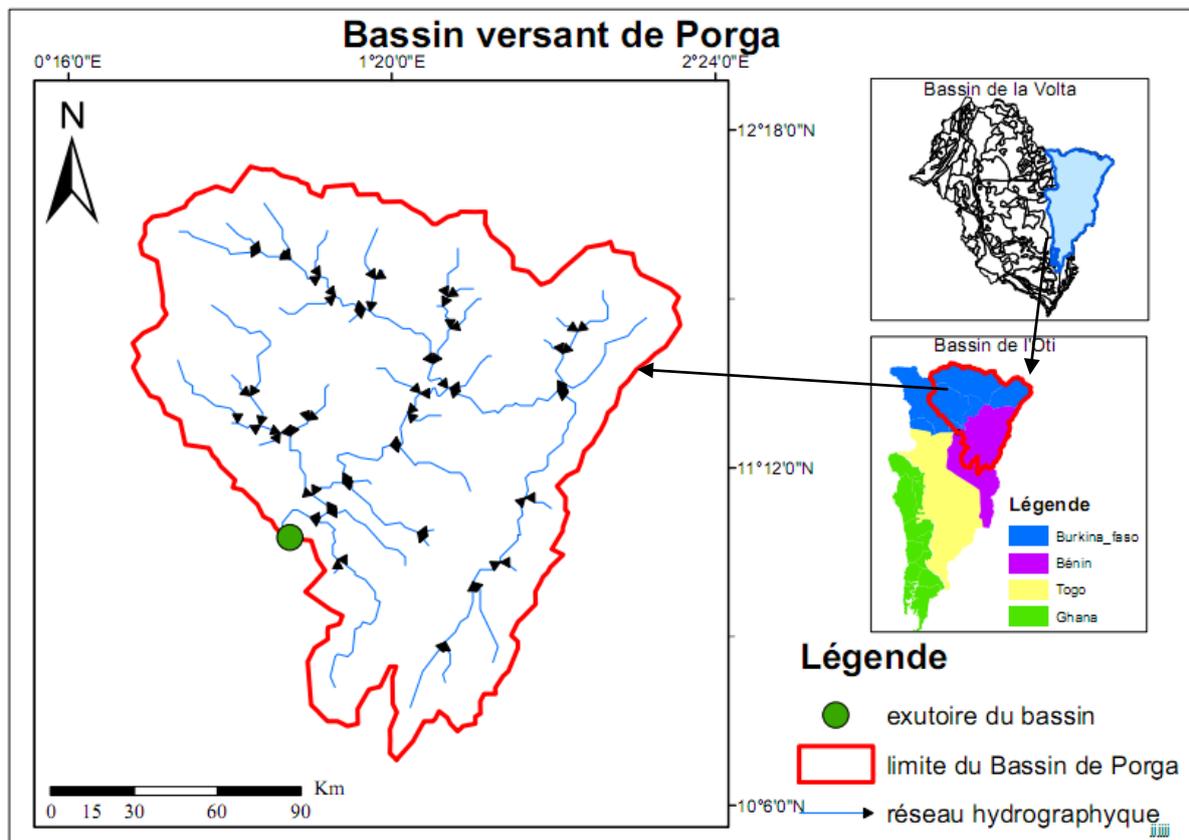


Figure 1: Localisation de la zone de l’étude

III.1.2 Le Climat

Le bassin de Porga jouit d’un climat de type tropical avec une saison sèche très marquée de novembre à mars, suivie d’une saison de pluie pour le reste de l’année (PNUD-FEM , 2010). Cette saison pluvieuse est très fluctuante et se réduit de nos jours de juin ou parfois juillet à octobre (IDIETI, 2004). Les pluies arrivent parfois très tôt et se terminent tard ou vice versa (GNITONA, 2000). La température moyenne dans le bassin varie entre 15°C et 38°C pendant la période de 1961-2006 (Dao et al., 2008).

III.1.3 Sols et végétations

Les sols de la zone d’étude sont généralement anciens et ont été lessivés pendant une longue période. Ces sols sont pauvres en nutriments essentiels (PNUD-FEM , 2010). On rencontre six (6) principaux groupes de sol dans le bassin (FAURE, 1977):

- Sols minéraux bruts (cuirasse, roche affleurante) ;
- Sols peu évolués (quartzite et micaschistes atacoriens, matériau alluvio-colluvial) ;
- Vertisols (schiste quartzeux du Buem) ;
- Sols à sesquioxydes de fer et de manganèse ;
- Sols hydromorphes ;
- Sols ferralitiques ;

La végétation du bassin de l’Oti à Porga varie en fonction du climat et de l’occupation humaine. Elle est constituée essentiellement de la savane parc anthropique (à *Adansonia digitata et parkia biglobosa*), arborée claire (à *Gardenia, Strychnos, Adansonia digitata*) et de la forêts galeries (à *Borassus aethiopum, Anogeissus leiocarpus*) sur les bourelets sableux (PNUE-FEM , 2013).

III.1.4 Hydrographie

Le bassin de l’Oti à Porga draine une partie des pays transfrontaliers (Benin, Burkina faso, Togo et du Ghana) avec pour principal cours d’eau la rivière Oti. Cette rivière naît au cœur des montagnes pluvieuses de l’Atakora au Bénin, où elle est connue sous le nom de rivière Pendjari puis elle traverse le Togo et le Ghana, où elle prend le nom de rivière Oti (Mul et *al.*, 2015). Le bassin de l’Oti à Porga a une pluviométrie moyenne de 1100 mm/an pendant la période de 1960-2000 et une faible densité de drainage de 0,027 km/km² ce qui amène la rivière Oti à produire un débit moyen annuel qui varient entre 100 et 300m³/s et peut atteindre jusqu’à plus de 500 m³/s (PNUD-FEM, 2010).

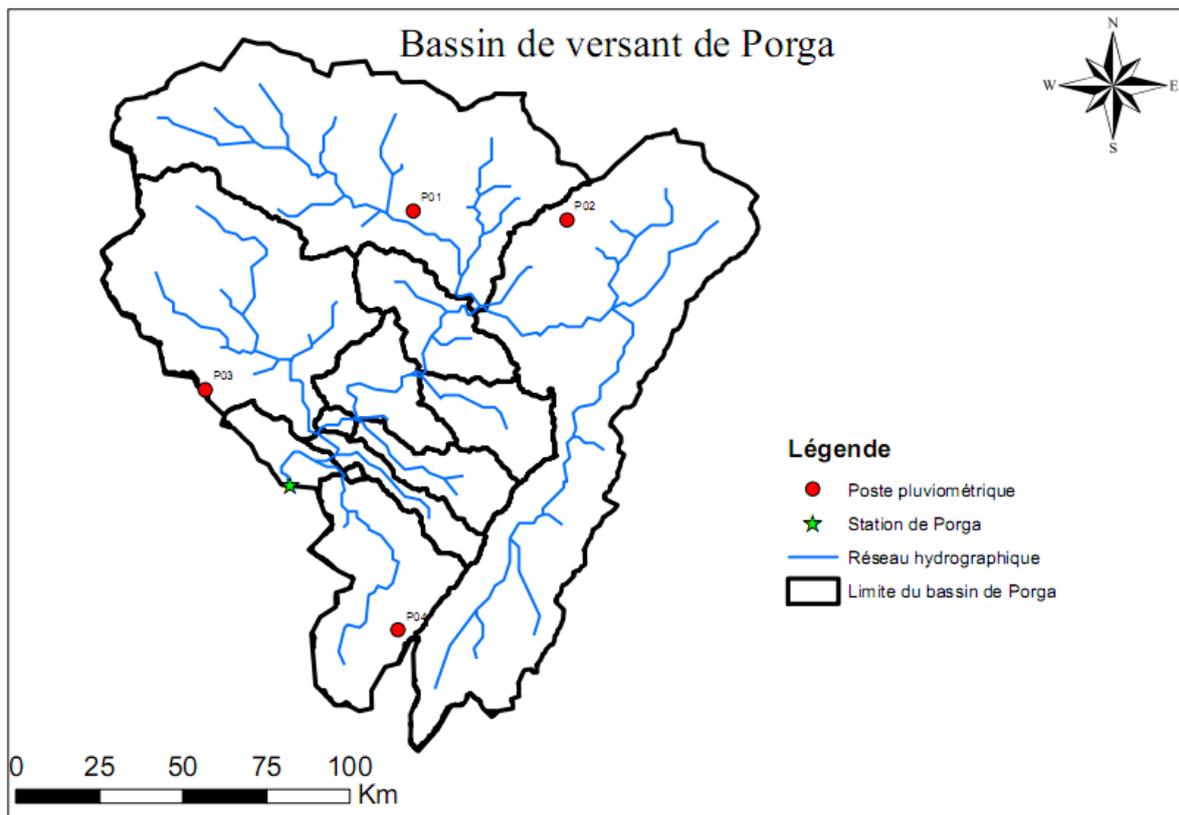


Figure 2: Carte du réseau hydrographique du Bassin de l’Oti à Porga

III.2 Données hydro-climatiques sur le bassin de l’Oti à Porga

❖ Données de précipitations

Les séries de précipitations frontalières sont issues de trois (3) postes pluviométriques (Doubodo (P1), Arly (Po2) ; Pama (Po3)) et d’une station synoptique (Tiélé (P4)). Les données ont été fournies par le Service Météorologique du Benin (SMB) et couvrent la période de 2003 à 2012.

❖ Données d’évapotranspirations

Les données liées à l’évapotranspiration potentielle sont issues de la station synoptique de Tiélé et ont été fournies par le Service Météorologique du Benin. Il s’agit des données journalières de la zone d’étude obtenues à partir de la formule de Penman- Monteith sur une période de 2003 à 2012.

❖ Données hydrométriques

Les données de débit observé sont celles de la station hydrométrique se trouvant à l’exutoire du bassin de Porga. Elles ont été fournies par la Direction de Hydraulique du Benin sur une période de 2003 à 2012. La figure 3 présente la localisation de la station hydrométrique.

III.3 Critique et analyse des données

III.3.1 Critiques des données hydro-climatiques

❖ Critiques des données pluviométriques

La critique des données permet d’avoir une idée sur la qualité des données disponibles. Une étude d’homogénéité ou de la stationnarité des séries de données est importante avant toute exploitation. Cependant, l’hétérogénéité ou la non stationnarité des données pluviométriques n’impliquent pas forcément un changement dans la relation pluie-débit.

Nous allons analyser plutôt les données sous l’angle des lacunes. On constate que ces données disponible sont exempte des lacunes. Le tableau 1 donne la synthèse des données hydro-

climatiques suivant les périodes d’observation (2003-2012).

Tableau 1 : Synthèse des données hydro-climatiques

Nom des Postes pluviométriques et station synoptique	Coordonnées des stations		Périodes		Longueur des chroniques	Lacunes (%)
	X	Y	Début	Fin	(jrs)	
Doubodo (Po1)	971584,91	1300753,27	2003	2012	3289	0
Arly (Po2)	1017648,96	1298080,97	2003	2012	3289	0
Pama (Po3)	90932	90932	2003	2012	3289	0
Tiéélé (Po4)	967060,53	1174414,47	2003	2012	3289	0

❖ Détermination de la pluie moyenne sur le bassin de l’Oti à Porga
 Pour déterminer la pluie moyenne journalière sur le bassin de l’Oti à Porga, nous avons utilisé la méthode des polygones de Thiessen. Elle consiste à déterminer la zone d’influence de chaque station pluviométrique du bassin. Les détails de calcul de la pluie moyenne sur notre bassin versant sont mentionnés dans l’annexe 1.

❖ Critiques des données hydrométriques
 La figure 4 illustre l’hydrogramme des débits journaliers maximums et minimums annuelles. On constate que l’année 2009 présente des anomalies puisque les débits maximums et minimums sont nettement inférieurs aux valeurs des autres années. Cette anomalie peut être due à des erreurs systémiques (défauts d’appareillage, déplacement du site d’observation au cours du temps). Le débit journalier maximum et minimum annuel a été observé en 2003 et on remarque qu’il est supérieur autres années. Cela peut s’explique par son comportement en terme hydrologique (une précipitation annuelle est de 1162.54 mm dans le bassin de l’Oti à Porga).

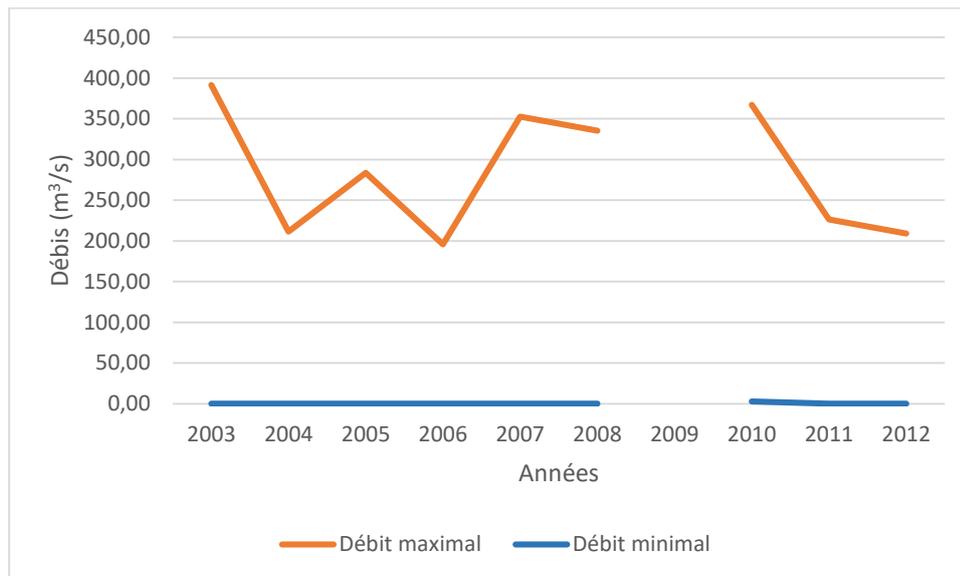


Figure 3: Hydrogramme des débits journaliers maximums et minimums annuels

III.3.2 Analyse des données hydro-climatiques

❖ Analyse des données de précipitation

La figure 6 présente une analyse des données de pluies moyenne mensuelle (pluies ponctuelles au niveau des quatre (4) stations en pluies moyennes). On remarque que les mois de novembre à mars sont caractérisés par une pluie pratiquement nulle: C’est la période de sécheresse. La pluie revient en mi-mars jusqu’en novembre. Elle atteint sa moyenne max en août. Ainsi, le mois d’août est considéré comme le mois de forte pluie et septembre le mois de décrue. On peut donc conclure qu’il s’agit d’un régime pluviométrique unimodal avec une saison des pluies (mars à octobre) et une saison sèche (novembre à février).

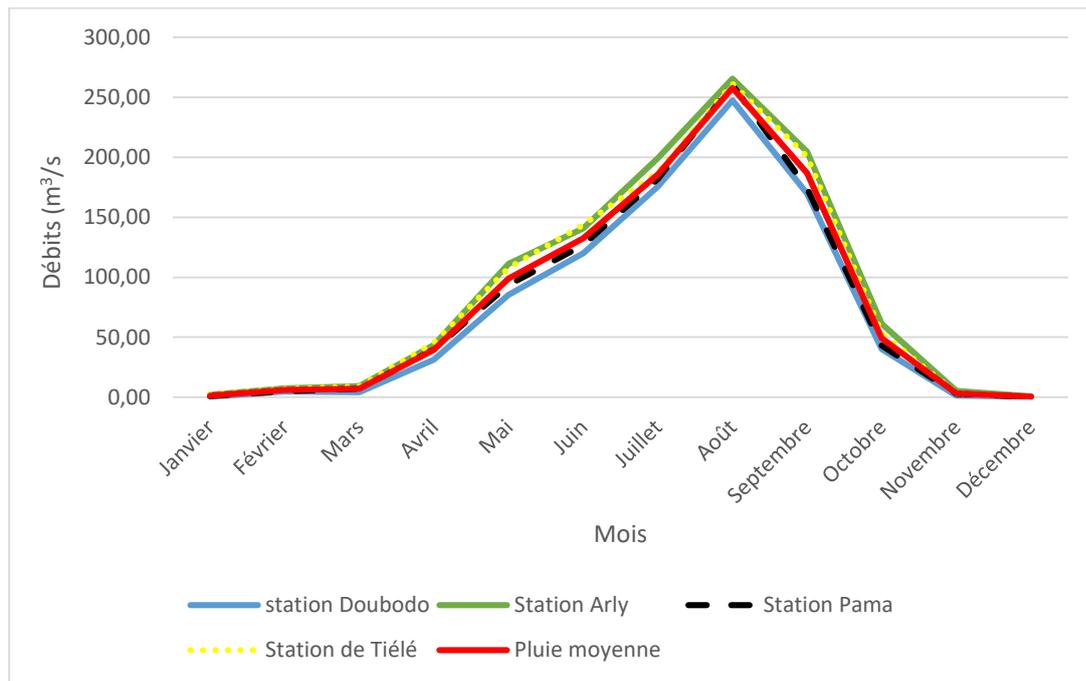


Figure 4: Evolution des pluies moyennes mensuelles (2003-2012)

❖ Analyse des données de l’ETP

La figure 7 montre une analyse des données de l’ETP moyenne mensuelle sur la période de 2003-2012. On remarque que l’ETP croît du mois de septembre au mois de mars: cela montre que c’est la période sèche. L’ETP décroît à la fin du mois de mars jusqu’en août. Ces mois sont considérés comme des périodes pluvieuses par conséquent l’ETP baisse.

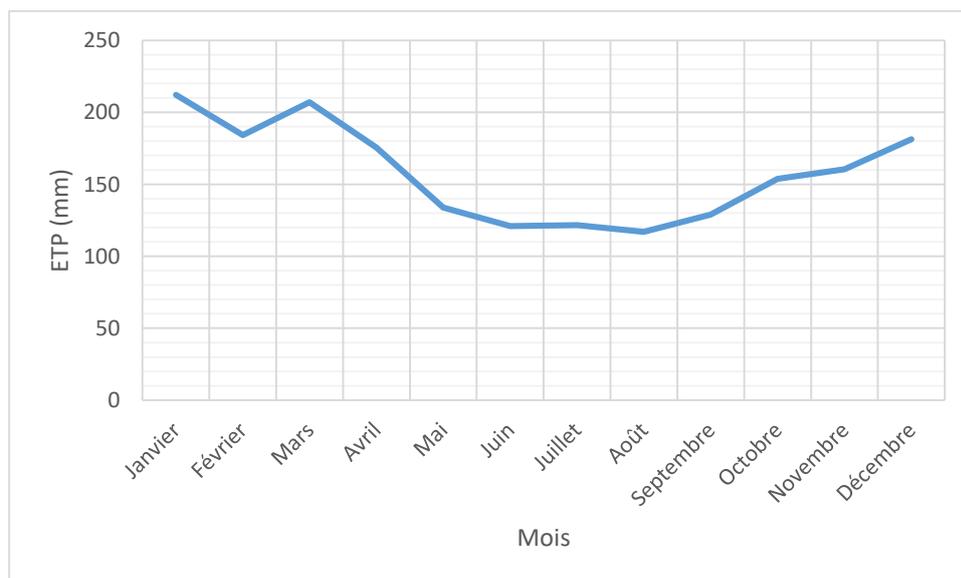


Figure 5: Evolution de l’ETP moyenne mensuelle (2003-2012)

❖ Analyse des données de débits

La figure 8 présente la variabilité des débits journaliers observés sur la période de 2003-2012 au niveau de la station de porga. Nous constatons, une importante variabilité des débits observés sur la période (2003- 2012). Les pics de crue varient entre 391,50 m³/s et 195 m³/s.

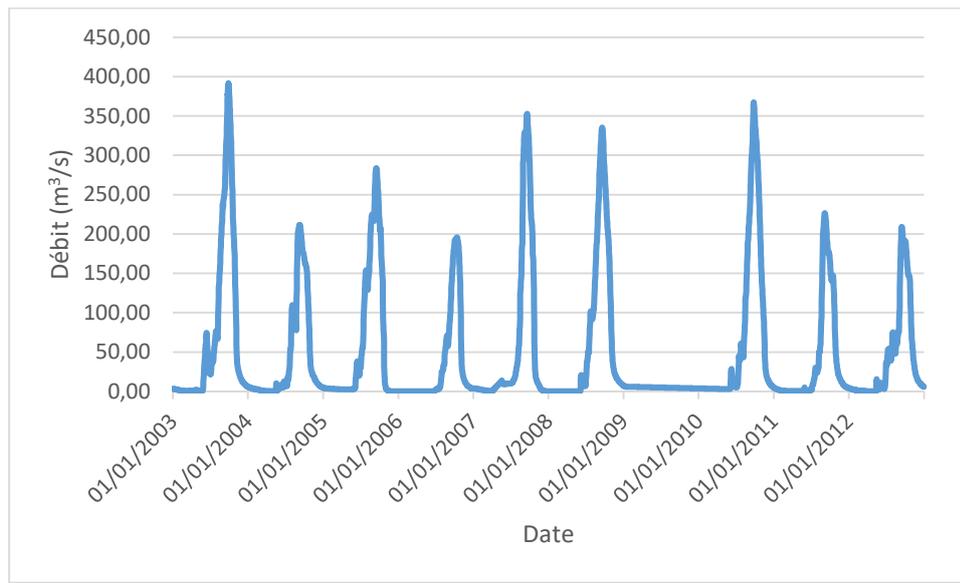


Figure 6: Hydrogramme journalier de crue sur le bassin de l'Oti à Porga (2003-2012)

❖ Analyse des données de débits journaliers maximum annuels et de pluie moyenne journalière maximale

Lorsque nous comparons les dates de pluie moyenne journalière maximale et les débits journaliers maximums observés dans la figure 9, nous remarquons qu'il y a un décalage autrement dit les pluies journalière maximales sont observées dans le mois d'août et les débits journaliers maximums dans le mois de septembre. Nous pouvons déduire que ce décalage est dû aux certains facteurs tels que l'humidité du sol, la végétation, la taille du bassin, la structure topographique qui ont une influence sur la précipitation justement pourquoi la date du maximal de pluie ne correspond pas au maximum de débit. La corrélation entre les deux séries est $R^2=0,23$ ce qui traduit une dépendance faible entre les pluies journalières maximales et les débits journaliers maximums.

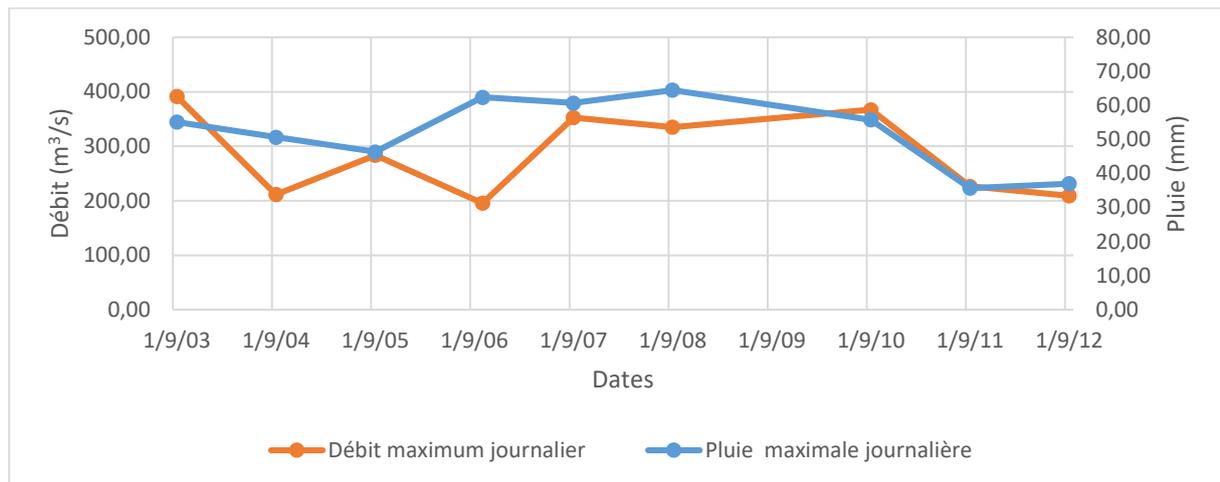


Figure 7: Evolution des débits journaliers max et les pluies journalières maximales

❖ Analyse des événements historiques d’inondation

L’analyse des événements historiques d’inondations s’est basée sur les étapes suivantes :

Nous avons d’abord consulté les archives sur les événements inondations en Afrique de l’Ouest et après identifier les archives qui concernent la zone d’étude. Enfin, nous avons fait une liste de ces archives suivies des informations (voir annexe 2).

III.4 Démarche de la mise en œuvre du modèle hydrologique Sacramento

III.4.1 Justification du choix du modèle

Nombreux sont des modèles de prévision des crues qui existent dans la littérature mais notre choix s’est porté sur le modèle de Sacramento pour des raisons suivantes :

- Le modèle Sacramento incorporé dans la plateforme SOBEK a été déjà utilisé dans l’un des sous bassin de la Volta (Volta blanche) (GFDRR, 2010.) ;
- Sa flexibilité à fonctionner avec d’autres modèles dont SOBEK hydraulique ou en couplage (Gijssbers et al., 2008) ;
- Il a été utilisé dans plusieurs pays (Australie, Queensland, New South) à cause de sa robustesse (Werner and van Dijk, 2005) ;
- Plusieurs paramètres d’optimisation dont dispose Sacramento le permet d’être proche de la réalité lors du calibrage (Deltares, 2010).

III.4.2 Description du modèle Sacramento

Le modèle Sacramento est un modèle conceptuel semi-distribué à 5 réservoirs avec seize (16) paramètres et fonctionne à de pas de temps journalier. Il traite les questions liées à la genèse des inondations dans un bassin versant (Gibertoni et *al.*, 2014; Vanderkimpfen et *al.*, 2008) et marche sur la base des données de précipitations et de l’ETP (Julien, 2009). Pour cette étude, nous utiliserons le modèle Sacramento intégré dans la plateforme SOBEK développé par Delft Hydraulics (Luis et al., 2014).

III.4.2.1 Définition

Le modèle Sacramento a été mis au point par l’équipe du centre des prévisions fluviales du service météorologique national des Etats-Unis d’Amérique à Sacramento, Californie. Il met en jeu un algorithme complexe de calcul de l’humidité pour établir les volumes de plusieurs composantes de l’écoulement, alors qu’une méthode plutôt simple et largement empirique est utilisée pour convertir ces entrées en hydrogramme à l’exutoire du bassin versant (Gibertoni et *al.*, 2014; Vanderkimpfen et *al.*, 2008). Le sol est traité en deux parties, une zone supérieure et une zone inférieure, chacune ayant une capacité de stockage de l’eau capillaire et de l’eau libre. L’eau capillaire est celle qui est fortement liées aux particules du sol et ne peut en être extraite que par l’évapotranspiration (Perrin. 2000). Le modèle permet de simuler les déplacements verticaux et horizontaux de l’eau libre. Les capacités de stockage de l’eau capillaire et eau libre dans chacune des zones sont spécifiées à titre de paramètres du modèle. L’eau qui entre dans la zone est ajoutée au volume d’eau capillaire stockée tant que la capacité de stockage n’est pas dépassée et tout volume excédentaire est ajouté au volume d’eau libre stocké (OMM, 2011).

III.4.2.2 Forces et faiblesses du modèle SACRAMENTO

Le modèle SACRAMENTO est comme tout modèle qui dispose des forces et des faiblesses. La force du modèle SACRAMENTO réside dans ces seize (16) paramètres qui lui permettent d’être plus proche de la réalité. Par contre avec les multiples paramètres dont dispose le modèle SACRAMENTO, il ne tient pas compte de l’aspect topographie.

III.4.2.3 Architecture et principe de fonctionnement du modèle Sacramento

Avant d’exécuter le modèle, il faut entrer les données (précipitation et évapotranspiration) et les valeurs des différents paramètres (tableau 3) du modèle dans les nœuds. Ces derniers sont positionnés sur chaque localisation de la station ou poste pluviométrique du bassin (carte du bassin) (Sanchez, 2011). Le principe de fonctionnement du modèle Sacramento est présenté dans la figure 5.

Tableau 2: Description des paramètres du modèle hydrologique Sacramento

	Les paramètres		Valeurs initiales	Plage de variation
	Capacités de stockage	UZFWM	Capacité maximale de la zone eau libre au niveau du réservoir de surface [mm]	30
UZTWM		Capacité maximale de la zone de rétention au niveau du réservoir de surface [mm]	50	[50-300 [
LZTWM		Capacité maximale de la zone de rétention au niveau du réservoir eau souterraine [mm]	150	[100-350 [
LZFPM		Capacité maximale en eau libre du réservoir eau souterraine primaire [mm]	100	[100-500 [
LZFSM		Capacité maximale en eau libre du réservoir eau souterraine secondaire [mm]	100	[100 -700 [
Constante de vidanges		UZK	Taux maximal de la zone de drainage latéral (fraction du contenu par jour (j^{-1}))	
	LZPK	Constante de vidange du réservoir souterrain primaire (j^{-1})		[0.001-0.01 [
	LZSK	Constante de vidange du réservoir souterrain secondaire (j^{-1})		[0.01 - 0.03 [
	K1	Constante linéaire d’un réservoir intermédiaire		0.5
Coefficient de dissociation	PFREE	Coefficient de partage (eau libre ajoutée dans les parties primaire et secondaire du réservoir eau souterraine)		[0.20 - 0.50 [
	PCTIM	Coefficient d’un écoulement inférieur à 1		0
	SIDE	Taux perdu en percolation profonde		0

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

	REXP	Un exposant constant			[2 – 8]
	ZPERC	Coefficient maximal d’infiltration			[150 – 200[
	ADIMP	Surface imperméable supplémentaire			0
	SARVA	Coefficient de rive de la végétation			0.0125
Surface (km ²)	Po1=7012.73	Po2=5712.8	Po3=4530.67	Po4= 5737.39	

La figure 5 présente l’architecture du modèle Sacramento Perrin. (2000).

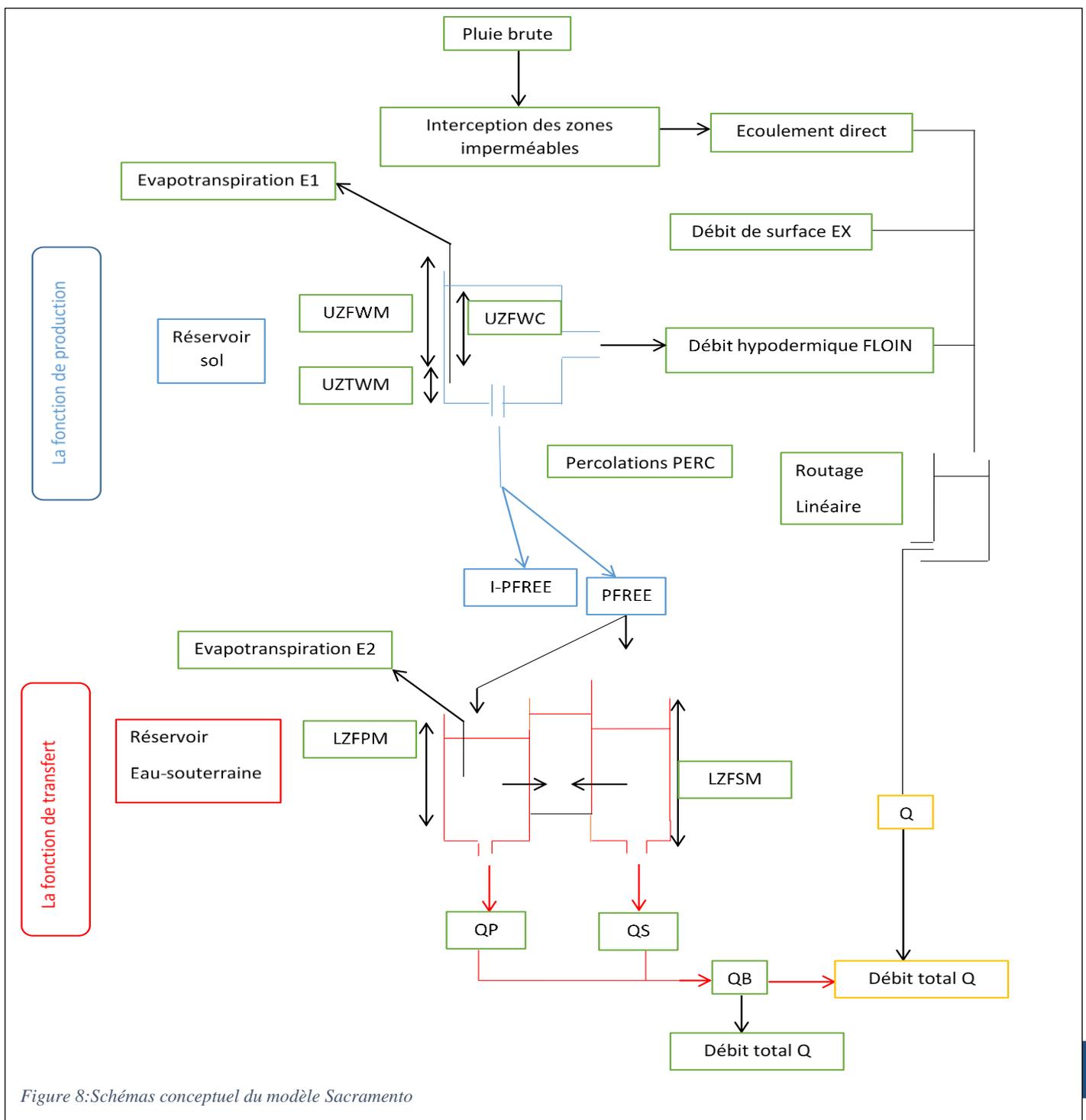


Figure 8: Schémas conceptuel du modèle Sacramento

Le modèle prend en entrées une série chronologique des pluies et d’évapotranspirations potentielles journalières. Il génère en sorties, une série chronologique de débits.

❖ Principe de fonctionnement du modèle Sacramento

Le fonctionnement du modèle Sacramento s’explique par deux grandes fonctions: La fonction de production (l’écoulement direct, le réservoir de surface) et la fonction de transfert (percolations, réservoir souterraine).

-Ecoulement direct

Il correspond au ruissellement sur les zones imperméables ou à la portion de la pluie directement tombée sur le réseau hydrographique. Il est exprimé par :

$$R1 = P \cdot ACTIM \quad (1-1)$$

Où P est la pluie brute et ACTIM un coefficient inférieur à 1. L’autre partie de la pluie alimente le réservoir de surface [(1-ACTIM).P].

- Réservoir de surface :

Il reçoit la pluie non interceptée par les zones imperméables (figure 5). Le réservoir de surface est constitué de deux zones. La première représentante l’eau de rétention (réserve difficilement accessible) et la deuxième l’eau libre (réserve facilement utilisable) avec pour capacité maximale UZFWM. La capacité de la zone de rétention est UZTWM. Lorsque la capacité maximale UZFWM est dépassée, l’excédent écoule sous forme de ruissellement (débit de surface). Ce réservoir sol est soumis à l’évapotranspiration. E1 fonction de l’évapotranspiration potentielle EP et du taux de remplissage du réservoir :

$$E1 = EP \cdot UZTWC / UZTWM \quad (1-2)$$

De capacité maximale UZFWM et de niveau UZFWC, la zone d’eau-libre contient l’excédent de la zone de stockage d’eau de rétention. Elle se vidange en un débit hypodermique FLOIN de façon linéaire avec une constante UZK et par percolation PERC:

$$FLOIN = UZFWC \cdot UZK \quad (1-3)$$

- Percolations :

Elles alimentent le réservoir eau-souterraine. Ce réservoir est constitué de trois zones, l’une constituant le stockage de l’eau de rétention, les deux autres constituant les zones d’eau libre primaire et secondaire. En condition de saturation du réservoir eau-souterraine, elles ne peuvent excéder une percolation maximale PBASE déterminée par :

$$\mathbf{PBASE = (LZFSM. LZSK) + (LZFPM.} \quad (1-4)$$

Où LZFPM est la capacité maximale en eau libre du réservoir eau-souterraine primaire, LZFSM est la capacité maximale en eau libre du réservoir eau-souterraine secondaire, et LZPK et LZSK sont les constantes de vidange de ces zones. En condition sèche, cette infiltration maximale est :

$$\mathbf{[PBASE. (1 + Z)],} \quad (1-5)$$

Où Z est une constante. La demande en percolation LZPD peut s’exprimer sous la forme :

$$\mathbf{LZPD = PBASE. (1 + Z. DEWETREXP)} \quad (1-6)$$

Où REXP est un exposant constant, et DEWET représente le rapport entre le déficit total de remplissage des trois zones du réservoir eau-souterraine par leurs capacités totales.

Finalement, la percolation PERC peut être exprimée par :

$$\mathbf{PERC = LZPD. UZFWC/UZFWM} \quad (1-7)$$

Les percolations sont divisées en deux parties, la première (1 - PFREE) allant vers la zone d’eau de rétention, la seconde PFREE représentant l’eau libre ajoutée dans les parties primaire et secondaire du réservoir eau souterraine (PFREE est divisée entre les deux parties à un taux déterminé par le déficit en eau de ces parties). Si la zone de rétention est saturée, toute l’eau est dirigée vers les parties primaires et secondaires.

- Réservoir eau-souterraine :

La zone de rétention est soumise à l’évaporation E2 exprimée par :

$$\mathbf{E2 = (EP - E1). LZTWC / (UZTWM + LZTWM)} \quad (1-8)$$

Où LZTWM est la capacité maximale de la zone de rétention. Les zones primaire et secondaire

se vidangent de façon linéaire en des débits QP et QS :

$$QP = LZFCP \cdot LZPK$$

(1-9)

$$QS = LZFSC \cdot LZSK$$

(1-9)

Qp et Qs sont ajoutés pour former le débit de base QB. Une partie de ce débit de base (SIDE. QB) se perd en percolations profondes.

- Débit total :

Les différentes composantes du débit de surface (R1, FLOIN et EX) sont additionnées et routées par l’intermédiaire d’un réservoir linéaire de constante K1 pour donner le débit QQ. QQ ajouté au restant du débit de base donne le débit total Q.

III.4.2.3 Procédure de calage et de validation du modèle Sacramento

Le calage et la validation du modèle Sacramento intégré dans SOBEK consiste à :

- Scinder d’abord les séries chronologiques de pluie et d’ETP (2003-2012) en sous-périodes de calage et de validation en précisant que les années 2003 et 2009 sont considérées respectivement comme une année de mise en route et d’anomalie ;
- Ajuster les 16 paramètres initiaux pour maximiser le critère de performance lors du Calage ;
- Appliquer les paramètres obtenus après calage sur une autre sous-période pour la validation. Si l’on observe une chute de performance important au cours de cette opération. Cela explique l’incapacité du modèle à s’adapter à des conditions différentes de celles utilisées pour le calage.

III.4.2.4 Critères de performance du modèle

Les critères de performance sont souvent utilisés pour apprécier la qualité du modèle. Dans cette d’étude, nous allons utiliser le critère Nash. Notre choix sur la fonction critère s’est porté sur Nash pour des raisons suivantes :

- Selon Perrin. (2000), lors de ses travaux de recherche à Cemagref, après une étude comparative de plusieurs critère a conclu la pertinence fondamentale du critère de Nash ;

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

- Les études de Dezetter. (1991) sur la performance d’un certain nombre de critères numériques de calage en Côte d’Ivoire montre que le critère Nash donne globalement le résultat le plus satisfaisant.
- Selon Mouelhi. (2003) Le critère de Nash formulé sur la variable Q a tendance à privilégier les débits très élevés) ;

La formule de Nash est exprimée par l’équation (2-1)

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_i^N (Q_{i,c} - Q_{i,o})^2}{\sum_i^N (Q_{i,o} - \bar{Q}_o)^2} \quad (2-1)$$

$Q_{i,c}$: le débit calculé au jour i de la période simulation

$Q_{i,o}$: le débit observé au jour i de la période simulation

\bar{Q}_o : Le débit moyen journalier observé sur la période de simulation et N : la longueur de la période simulation

La valeur de Nash varie entre $-\infty$ et 1. Le tableau 4 montre les valeurs de Nash suivies des appréciations.

Tableau 3: Echelle d’appréciation de Nash

Valeurs de Nash	Appréciations
] 0,8 ; 1]	Bon
] 0,7 ; 0,8]	Satisfaisant
] 0,6 ; 0,7]	Acceptable
] 0,5 ; 0,6]	Peu acceptable
] $-\infty$; 0,5 [Mauvais

III.4.2.5 Choix de période de mise œuvre du modèle

Pour le choix des périodes de calibration et de validation, nous avons effectué un test de sensibilité à la taille de l’échantillon. Chaque test est apprécié par un critère de performance Nash. Pour ce faire nous avons opté pour une démarche de calibration croissante sur la période 2004 à 2008 avec un pas de temps d’un an tout en fixant 2003 comme la période de routage. Dans le cas de la détermination de la taille de validation, nous avons adopté la méthode simple qui consiste à prendre dans un premier de 2006 à 2012 puis de 2007 à 2012 en décrémentant au fur et à mesure la longueur de la période d’un an. Pour mieux comprendre nous avons illustré les différents tests dans le tableau 5

Tableau 4: Test de sensibilité à la taille de l’échantillon de validation et calibration

Numéro des tests	1	2	3	4	5	6
Période de calibration	2004 - 2005	2004 - 2006	2004 – 2007	2004 – 2008	2004 – 2009	2004 - 2010
Nash (%)	0,72	0,67	0,74	0,79	0,30	0,45
Période de validation	2006 - 2012	2007 - 2012	2008 - 2012	2009 - 2012	2010 - 2012	2011 - 2012
Nash (%)	0,45	0,44	0,31	0,02	0,89	0,79

Au regard de ce tableau nous avons porté notre choix sur le test 4. **C’est-à-dire la période allant de 2004 – 2008 qui servira au calage** et le test 5 **la période allant de 2010 – 2012 qui servira à la validation**. Ce choix se justifie comme suit :

- Le Nash de calibration est plus meilleur que les autres tests ;
- Il intègre une large période en calibration
- .Quant au test 5 le Nash de la validation est significatif et meilleur par rapport au Nash de la validation du test 4 qui est très faible à cause de l’anomalie de 2009.
- Le test 5 dispose des données d’une série de trois (3) ans qui est nettement convainquant par rapport au test 6 qui présente une série sur deux (2) années.

III.4.2.6 Méthode d’optimisation du modèle

Il existe deux méthodes de base pour le calage des modèles hydrologiques. La méthode d’optimisation automatique réservée pour les petits bassins (OMM, 2011) et la méthode par tâtonnement (essais et erreurs). Une estimation a priori des paramètres est nécessaire pour de nombreux modèles à base physique. C’est le cas du modèle Sacramento qui utilise la méthode de tâtonnement pour ses paramètres. Parmi les seize (16) paramètres dont disposent le modèle Sacramento, trois (3) ont été identifiés comme étant des paramètres (PFREE, UZTWM et LZPK) qui influencent plus sur les pics et plus on les fait varier à différent pas plus on a une bonne représentation de crue. Selon les études réalisées sur la comparaison des modèles par (Franchini et Pacciani 1991). Il ressort que certains paramètres d’optimisation (Tableau 6) sont sensibles et ont une influence sur les pics des crues. L’ajustement manuel basé sur les intervalles de pas a été utilisé pour ces paramètres particulièrement.

Tableau 5: Les paramètres d’optimisations du modèle

Paramètres	Définition	Plage de variation
LZPK	Constante de vidange du réservoir souterrain primaire (j^{-1})	[0,001 – 0,01[
PFREE	Coefficient de partage (eau libre ajoutée dans les parties primaire et secondaire du réservoir eau souterraine)	[0,20 – 0,50[
UZTWM	Capacité maximale de la zone de rétention au niveau du réservoir de surface (mm)	[50-300[

IV RESULTATS ET INTERPRETATION

IV.1 Analyse des évènements historiques d’inondations

La figure 10 présente au total 21 évènements d’inondations sur une période 1999 à 2013. On remarque que les inondations significatives se font remarquer à partir des années suivantes 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010 et 2011. Sur les 15 ans on a (1,4) évènement d’inondations par année.

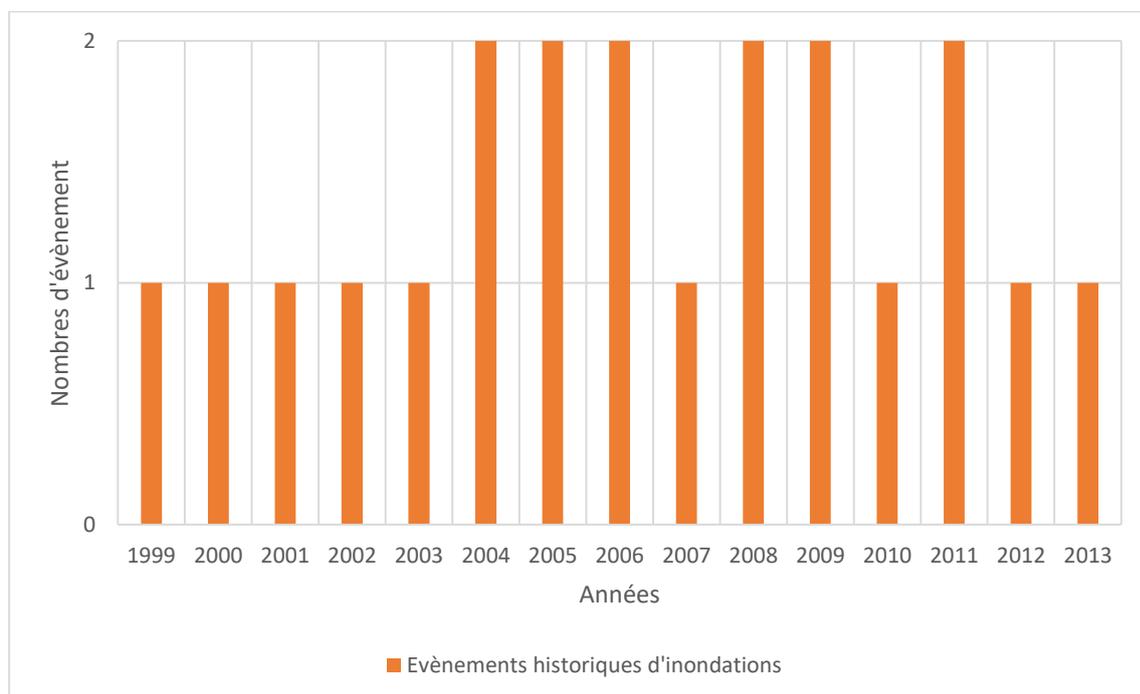


Figure 9: Evolution du nombre d'évènements d'inondations par an sur la période 1999 à 2013

IV.2 Simulation de l'écoulement par le modèle Sacramento

IV.2.1 Calage du modèle

La figure 11 présente les hydrogrammes de débits simulés après le calage (2004-2008) par le modèle Sacramento. Nous précisons que l'année 2003 est exclue de l'appréciation des résultats car elle a servi à la mise en route du modèle.

Nous remarquons un léger décalage de pic entre les débits observés et les débits simulés cela peut être dû à la fonction de production du modèle. Lorsque nous comparons les temps

d’apparition des pics des débits simulés et des débits observés, nous constatons que les pics des débits simulés apparaissent plus tôt que les pics des débits observés cela peut s’expliquer par la réaction de la fonction de transfert du modèle. Enfin, le modèle le modèle simule mieux les fortes crues par rapport aux faibles crues et surestime les débits d’été sur toutes les années.

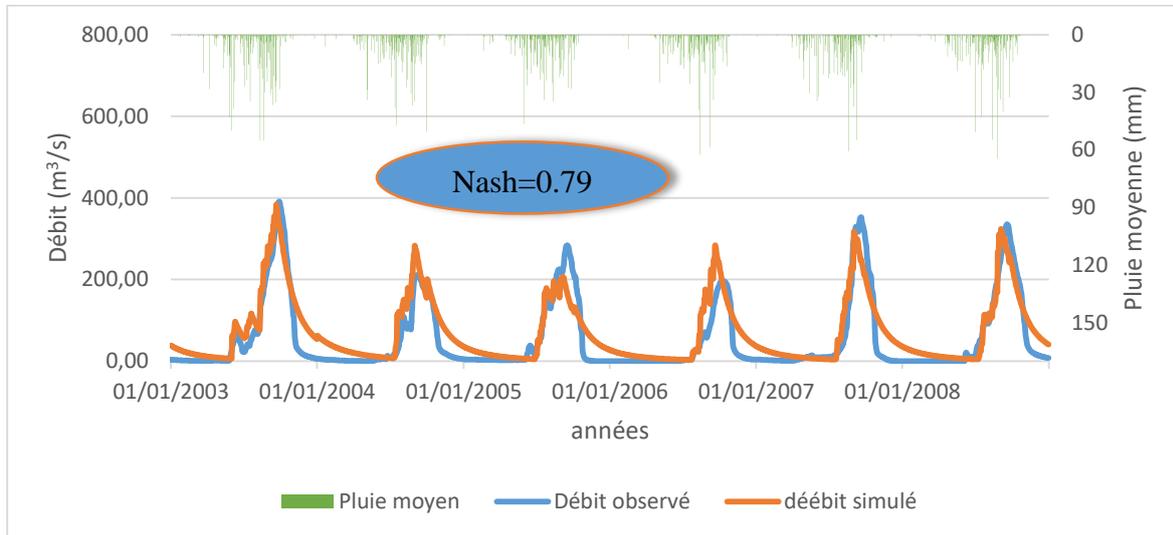


Figure 10: Hydrogrammes des débits simulés et observés sur la période de calage 2004-2008

La figure 12 représente la distribution des débits simulés en fonction des débits observés pour la période de 2004 à 2008. On remarque une dispersion plus ou moins acceptable des débits par le modèle avec un critère de corrélation $R^2= 0,82$ ce qui conduit à une dépendance forte entre les débits simulés et les débits observés.

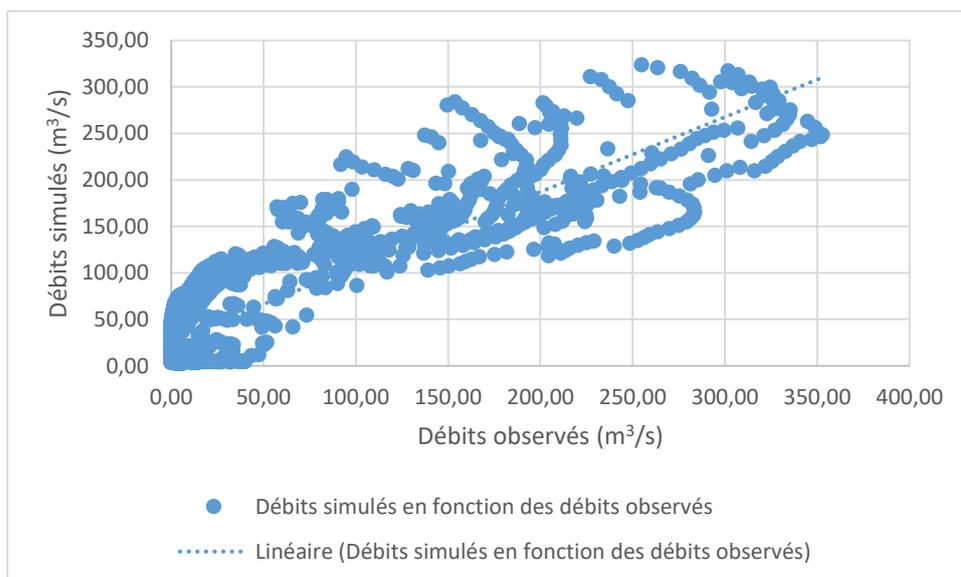


Figure 11 : Comparaison entre les débits calculés et observés sur une période 2004-2008

IV.2.2 Validation du modèle

La figure 13 représente les hydrogrammes observés et simulés sur la période de validation (2010 – 2012). La valeur de Nash obtenue en validation est 0,89. On peut dire que le modèle a une bonne restitution des débits. Nous remarquons que même en validation le modèle surestime les débits d’été

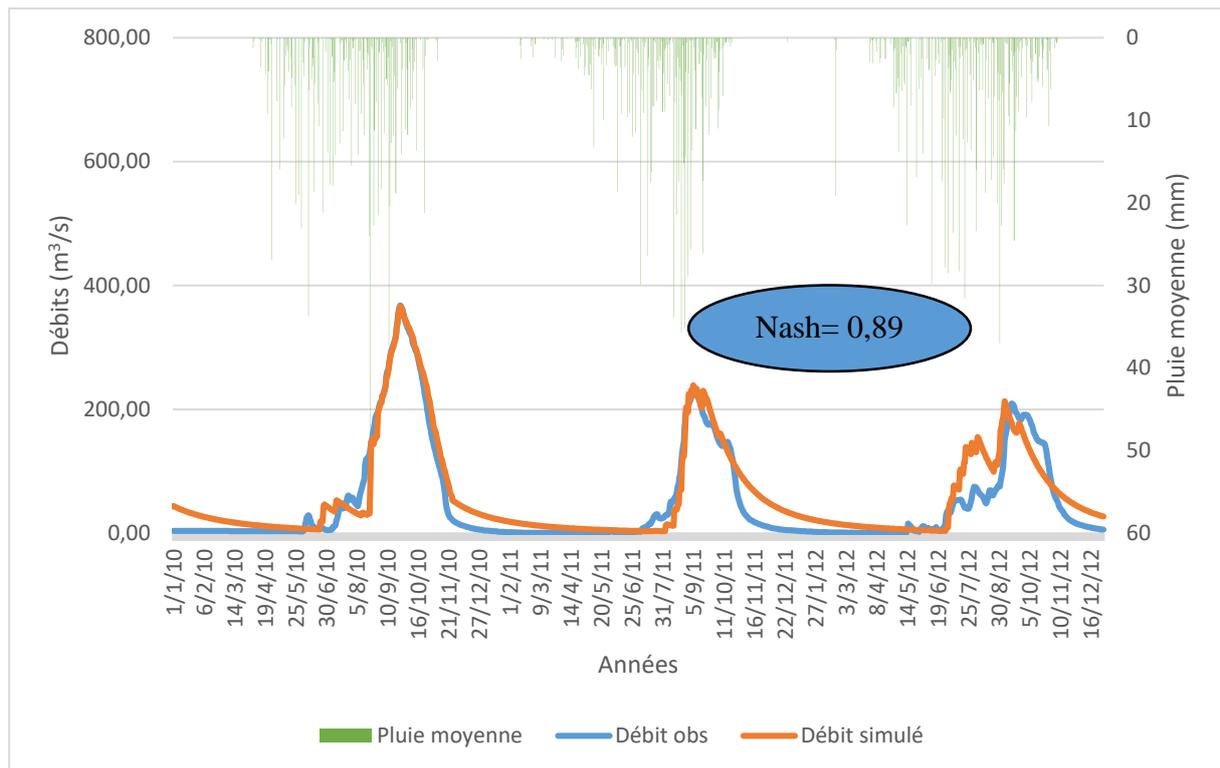


Figure 12: Hydrogrammes des débits simulés et observés sur la période de validation 2010-2012

La figure 14 quant à elle montre une dispersion plus ou moins acceptable des débits par le modèle avec un critère de corrélation $R^2= 0,91$ ce qui conduit à une dépendance très forte entre les débits observés et les débits simulés.

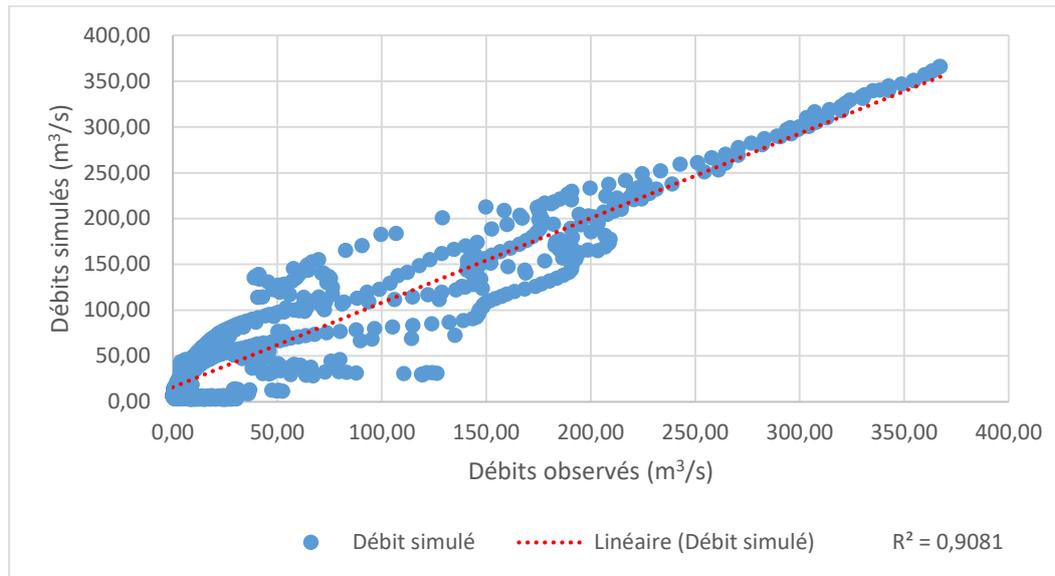


Figure 13: Comparaison entre les débits calculés et observés sur une période 2010-2012

IV.2 Interprétation des résultats

Les résultats obtenus en calibration et en validation avec le modèle SACRAMENTO montrent une légère différence de pic sur les fortes crues et un différend temps d’apparition des débits. La différence de pic sur les fortes crues s’explique par la réaction de la fonction de production puisqu’elle permet de transformer la pluie brute en pluie nette facilement disponible pour le ruissellement. En terme temps d’apparition les débits simulés apparaissent tôt par rapport aux débits observés cette action est traduite par la fonction de transfert (transformation de la pluie nette en hydrogramme de crue)

Nous remarquons que le modèle surestime les débits d’étiage, ce qui est normal d’autant plus que le modèle met plus l’accent sur les crues. Le bassin de L’Oti à Porga étant un bassin de type tropical, les périodes allant de mars en novembre reçoivent suffisamment de pluie avec une pluie maximum observées en août. Bien que le maximum des pluies soit observé en août, les débits de crues sont souvent enregistrés en mois de septembre. Cet écart est dû à certain facteurs tels que la taille du bassin, la végétation. Lorsque nous compare nos résultats aux études de Totin et al (2011) menées sur le bassin de Porga pendant la période 1961 à 2005. Nous pouvons dire que le débit a considérablement diminué.

V PROPOSITION DES MESURES D’ADAPTATION FACE AUX INONDATIONS

La gestion des inondations a évolué, incluant le concept de vulnérabilité dans les démarches. Il ne s’agit plus seulement de lutter contre l’aléa inondation mais d’y associer des mesures de réduction de la vulnérabilité: Les mesures structurelles sont relatives à la mise place d’infrastructures en génie civil (barrages, digues, zones d’expansion des crues etc.) et sont souvent accompagnées par des mesures de protection, tandis que les mesures non structurelles (maîtrise de l’occupation du sol, promotion de la culture du risque, préparation à la crise, plan de secours, etc.) sont associées aux mesures de prévision et de prévention (IZAMBART, 2011).

Mesures structurelles

La prise de conscience du gouvernement des deux pays sur les catastrophes causées par les inondations a amené certaines structures comme NADMO au Ghana et STRRC au Togo on monté des projets de réalisation des infrastructures. Il s’agit des ponts qui sont en cours de réalisation dans certaines localités (Mandori et Koumougou du côté du Togo) potentiellement affectées. Le tableau 7 montre la liste de quelques mesures structurelles pouvant être envisagées pour réduire les risques liés aux inondations et leurs intérêts.

Tableau 6:Listes des mesures structurelles

Listes des mesures structurelles		
		Intérêt
Constructions	Ponts	Accès rapide d’un lieu à un autre
	Digues ou déversoirs	Réduire le débit pendant les crues.
	Forages pour approvisionnement de l’eau potable	Eviter les maladies hydriques
	Centre de santé les plus proches des zones affectées	Dépolluer les eaux de consommation pour éviter les maladies
	Caserne les plus proches en cas d’intervention	Intervention des sapeurs-pompiers en cas d’alerte.

	Magasins de stockage des équipements de réduction des risques.	Sauver les sinistrés et permet de poursuivre les activités.
--	--	---

Mesure non structurelles

La prise en compte des mesures non structurelles fait appel à l’intervention du gouvernement pour renforcer le circuit de diffusion d’alerte (figure 15). Depuis les inondations de 2010, les gouvernements ont mis en place des nouvelles stratégies pour réduire les catastrophes dont la création du point focal RRC au Togo et NADMO au Ghana.

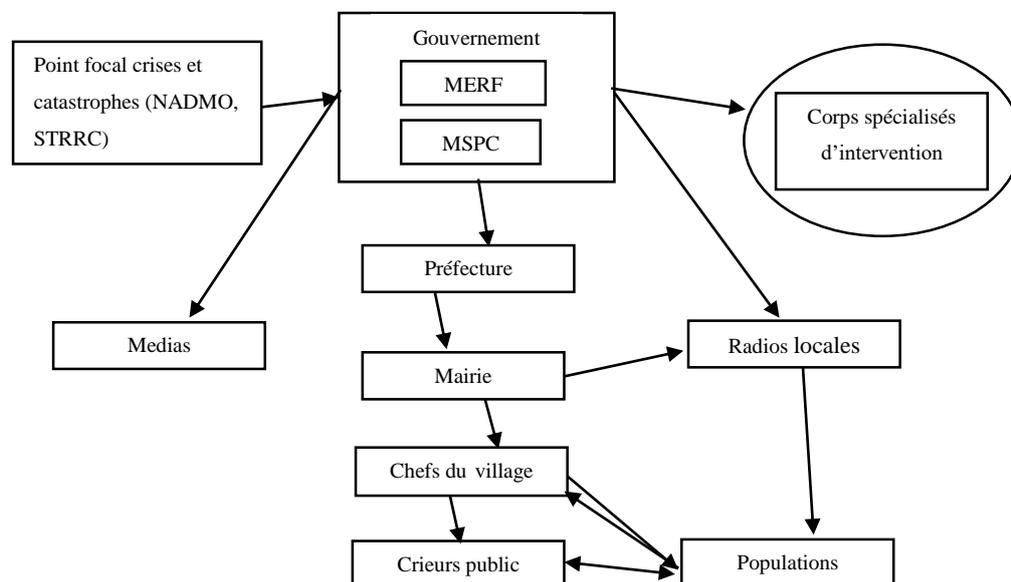


Figure 14 : Proposition d'un circuit de diffusion d'alerte

Le circuit de diffusion d’alerte prend départ dans les locaux des points focaux, crises et catastrophes de chaque pays (NADMO pour le Ghana et STRRC pour le Togo). L’information est transmise au gouvernement particulièrement les ministères (MERF, MSPC) qui a leurs tours doivent donner l’information au corps spécialisé d’intervention (sapeur-pompier), à la préfecture, au média et les radios locales. Enfin de la préfecture, la chaîne continue respectivement : la mairie, le chef du village, les crieurs publics et la population. Il faut noter que certaines populations reçoivent l’alerte par le biais des radios locales.

VI CONCLUSION

L’étude que nous venons de mener a pour objectif de contribuer à la mise en place d’un outil de prévision de crue dans le bassin de l’Oti à Porga. Ce travail nous a permis d’abord de constater que la zone reçoit en moyenne deux (2) évènements d’inondations par ans. Ensuite la technique moderne qui répond à la réduction de ces évènements d’inondations est la modélisation de la relation pluie débit. A cet effet, le modèle Sacramento dont le fonctionnement est basé sur un schéma à réservoir a été implémenté. La simulation a consisté à caler le modèle sur une période de 2004 à 2008, ensuite à passer à la validation du calage sur une période de 2010 à 2012 avec une mise en route de 2003. Ce qui nous a permis de générer des débits après avoir entré les données de précipitation, de l’EPT et fixé les paramètres d’optimisation. La performance du modèle s’est avérée satisfaisante par le critère de Nash mais peut être encore améliorée par l’ajustement des paramètres. Enfin quelques mesures (structurelle et non structurelle) ont été proposées pour accompagner les systèmes d’alerte précoce.

VII BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- Abdul-Razak, A., Asiedu, A., Entsua-Mensah, R., 2009. Assessment of the water quality of the Oti River in Ghana. *West African Journal of Applied Ecology* 15, 6-12
- Agenais, A.-L., Bauduceau, N., David, B., Pauline, B., Sylvain, C., Natacha, C., Gaspard, D., n.d. Analyse Multicritères : application aux mesures de prévention des inondations Guide méthodologique.
- Chi dung, d., jiangdong, l., shie-yui, l., adri, v., dadiyorto, w., anh tuan, d., 2012. Rainfall-runoff study for singapore river catchment. *International Conference on Hydroinformatics* PP 2-6
- Dao, B., Hendrickx, G., Sidibé, I., Belem, A.M.G., De La Rocque, 2008. Impact de la sécheresse et de la dégradation des aires protégées sur la répartition des trypanosomes bovines et de leurs vecteurs dans le bassin versant de l’Oti au nord du Togo. *National Adaptation Strategies to Climate Change*
- Deltares, D., 2010a. Deltares. Hydrodynamics in open water: SOBEK-Rural 1DFLOW. SOBEK guide.
- Dezetter, A., 1991. Modélisation global de la relation pluie-débit : Application en zone des savanes soudanaises (Nord-ouest de Cote d’Ivoire). Mémoire à l’Université de Montpellier II. PP 12-15
- Dooge, J. (1997). Searching for Simplicity in Hydrology. *Surveys in Geophysics*, 18 (5):511-534.
- DSRP, 2009. Document complet de Stratégie de Réduction de la Pauvreté du Togo 2009-2011. EM-DAT, 2014.
- faure, p., 1977. Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin A 1/200.000. ORSTOM PARIS.
- François, G., Julia, B., Florence, de L., Nathalie, P., Sara, V., Caroline, Z., Dalila, G., Pierre, O., 2014. Catastrophes, Changement Climatique et Déplacements forcés Dynamiques régionales de mobilité en Afrique de l’Ouest. Mémoire à l’University of Liège, Department of Environmental Sciences and Management. PP 36
- Franchini, M et Pacciani, M, 1991. Comparaison avec les modèles Stanford, Sacramento, Tank, Apic. *Journal of Hydrology*, 122, 161- 219
- GFDRR, 2012. Disaster Risk Financing and Insurance Program, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery.
- Gibertoni, R.F.C., Pinho, J.L.S., Muhlenhof, A.P., Kan, A., Schwaneberg, D., Reis, A.A., 2014. Sacramento model calibration using different methodologies – application to the itabapoana-mg river basin. *Journal of Hydrology* 156 :16-26
- GIEC, 2007. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat. Résumé à l’intention des décideurs 12 p.
- GIEC, 2001. Incidence de l’évolution du climat dans les régions : Evaluation de la vulnérabilité en Afrique.
- Gnitona, P., 2000. Stratégies d’adaptation aux contraintes hydriques et climatiques chez les B°tâmmarib° de l’Atacora. Mémoire-Université Abomey-Calavi PP 12-26
- Horrits, M.S., and P.D. Bates. “Effect of spatial resolution on a raster based model of flood flow.” *Journal of Hydrology* 253 (2001) 239-249
- Idieti, M.E., 2004. Les ressources en eau et leur gestion par les communautés rurales de la commune de Boukombé (Nord-Ouest du Bénin). Mémoire-Université Abomey-Calavi
- Izambart, G., 2011. L’apport de la pratique de retour d’expérience pour comprendre la

- vulnérabilité face aux inondations. Toulouse 2 le Mirail.
- Julien, L., 2009. Quels apports hydrologiques pour les modèles hydrauliques? Vers un modèle intégré de simulation des crues. Thèse de doctorat de l’Université Pierre et Marie Curie, PP.50.
- Komi, K., Barnabas, A.A., Bernd, D., 2016. Integrated Flood Risk Assessment of Rural Communities in the Oti River Basin, WestAfrica. *Hydrology* (46):7-12
- Luis, V., Jose, P., Dirk, S., 2014. Towards A Decision Support System For Flood Management In A River Basin. International Conference on Hydroinformatics
- Mul, M., Obuobie, E., Appoh, R., Kankam-, Yeboah, Kankam-, Bekoe-Obeng, E., Amisigo, B., Logah, Y., Ghansah, B., McCartney, M., 2015. Évaluation des ressources en eau du bassin de la Volta. Programme des Nations Unies pour l’Environnement, Accra Ghana.
- Mouelhi S. 2003. Vers une chaîne cohérente des modèles pluie-débits conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel, et journalier. Thèse de doctorat à l’École National du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. PP.323
- OMM, 2011. Manuel sur la prévision et l’annonce des crues. Guide méthodologique
- Ozer, P., Perrin, D., 2014. Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l’Ouest. Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires 227–245.
- PDNA, 2010. Evaluation des dommages, pertes et besoins de reconstruction post catastrophes des inondations de 2010 au togo. National Adaptation Strategies to Climate Change
- Perrin C. 2000. Vers une amélioration d’un modèle global pluie-débit au travers d’une approche comparative. Thèse de doctorat de l’Institut National de Grenoble, Spécialité : Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement. PP.246
- PNUE-FEM Volta, 2013. Analyse Diagnostique Transfrontalière du Bassin de la Volta (Document traduit en français) (No. 53885). Programme des Nations Unies pour l’Environnement, Accra Ghana.
- PNUD-FEM, 2010. Volta Basin Transboundary Diagnostic Analysis: National report Ghana. the UNEP-GEF Volta Project.
- Provitolo, D, 2008. Modélisation et simulation du risque d’inondation en milieu urbain méditerranéen. Thèse de doctorat à l’Université de Nice. PP 3-4
- Sanchez, A., 2011. Development of a computer based 1D-2D dynamic flood model. Case study of the Pagsangaan river basin in Leyte, the Philippines. Mémoire à l’Universität München. PP 36
- Sarr, B., 2011. “Recrudescence des fortes pluies et des inondations dans un contexte de changement climatique” Le Sahel face aux changements climatiques : Enjeux pour un développement durable PP 9-11
- Steinebach, G., Rademacher, S., Rentrop, P. et Schulz, M. (2004). Mechanisms of coupling in river flow simulation systems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 168 (1-2):459-470
- Totin V.S.H, W.E. VISSIN, A. AFOUDA, J. TUMBULTO et M. BOKO, 2011. Événements hydroclimatiques extrêmes et disponibilité en eau de surface dans le bassin béninois de la Volta. Journées Scientifiques du 2iE PP 3-6
- UNISDR, 2011. Rapport sur l’examen à mi-parcours du Cadre d’action de Hyogo 2005-2015 » (Genève : United Nations International Strategy for Disaster Reduction).
- Vanderkimpfen, P., Melger, E., Peeters, P., 2008. Flood modeling for risk evaluation: a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study. *Journal of Hydrology*

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

Sites internet

<https://wiki.ewater.org.au/display/SD41/Sacramento+Model+-+SRG>

http://www.emdat.be/disaster_list/index.html

<http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/2003sum.htm>

<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/125/2009/hess-13-125-2009.html>

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/main.html>

VIII ANNEXES

Annexe 1 : Détail sur la méthode de Thiessen

Annexe 2 : Les évènements historiques d’inondations dans le bassin de l’Oti

Annexe 3 : Chroniques des débits reconstitués avec le modèle Sacramento sur BV de l’Oti à Porga.

Annexe 1 : Détail sur la méthode de Thiessen

Méthode de Thiessen

Nous avons utilisé les données pluviométriques des quatre stations : station de Pama, station de Doubodo, station d’Arly et enfin station de Tiélé

La problématique repose sur le fait que l’on voudrait à partir de ces quatre données (4 station différentes) ressortir une moyenne rationnelle des précipitations pour tout le bassin.

Principe de la méthode de Thiessen :

Dans cette méthode, on essaie de relier par une droite les stations pluviométriques qui se trouvent dans le bassin versant (Notez que l’on peut aussi utiliser une station se trouvant en dehors du bassin versant). Ensuite tracer les médiatrices de chacune de ces droites. La surface délimité par ces médiatrices et des fois avec la limite du bassin constituera la surface S_i de pondération pour la station pluviométrique P_i qui s’y trouve.

En d’autres termes la pluie journalière selon la méthode de Thiessen est une moyenne pondérée. Les précipitations journalières moyennes sur tout le bassin se calculent en effectuant l’opération suivante :

$$P_{j.moy} = \frac{\sum_i^n P_i * S_i}{S}$$

S_i : Surface affectée à la station pluviométrique

P_i : est la précipitation moyenne journalière sur toute la surface S_i donc la station i

$S = \sum_i^n S_i$: est la surface totale du bassin ; n : est le nombre totale de station pluviométrique considérée.

Le schéma de découpage se présente comme suit :

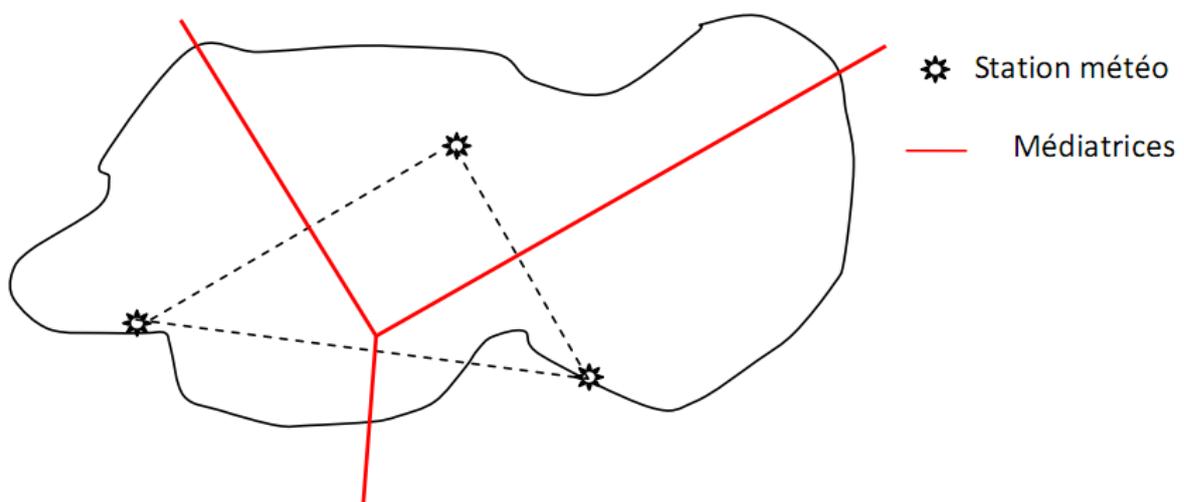


Figure 15: Schéma représentatif de la méthode de Thiessen

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

Ce procédé de découpage a été utilisé pour le cas des stations pluviométrique contenues dans le bassin de Porga

Le présent schéma matérialise la méthode

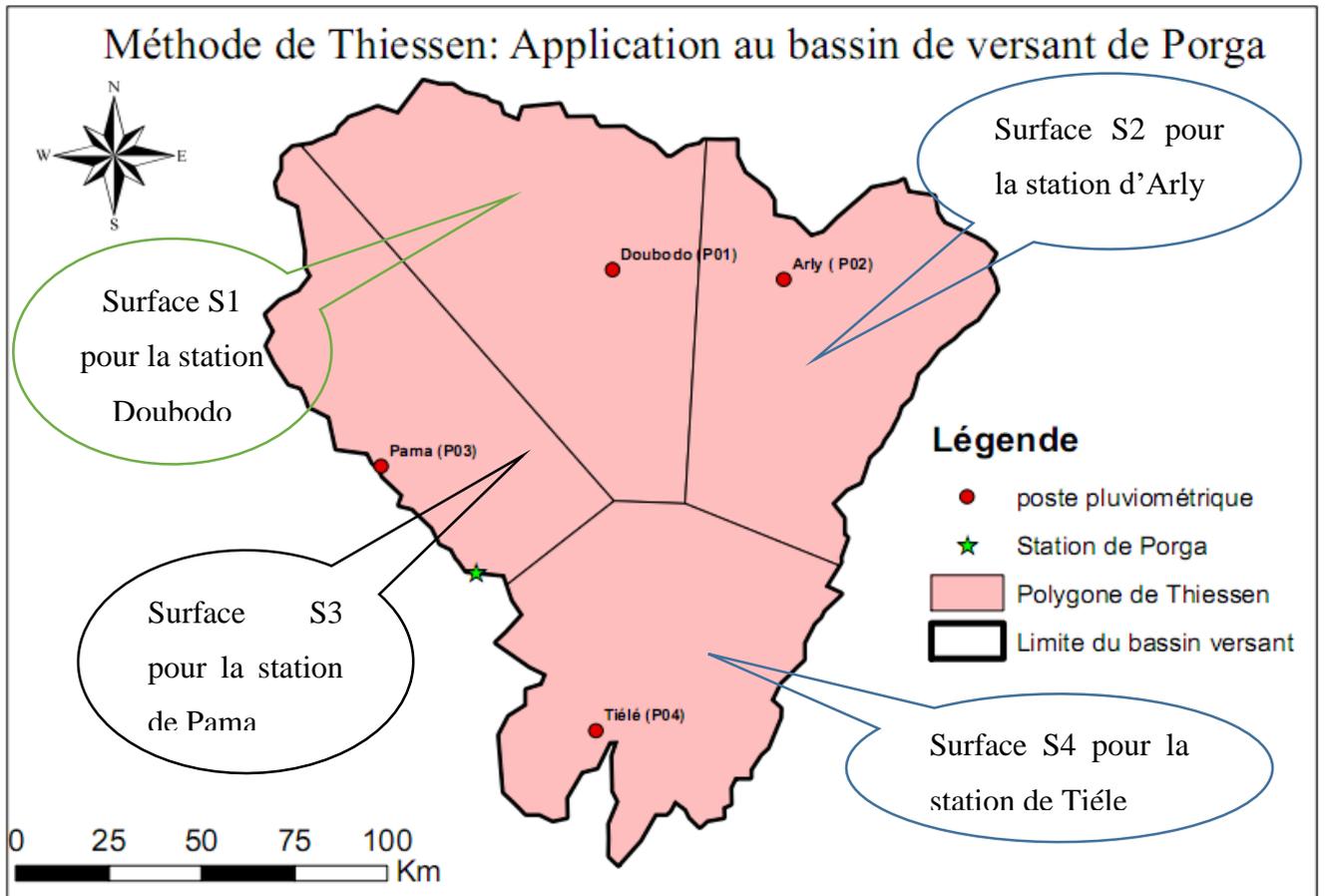


Figure 16: Carte de découpage des sous surfaces sur le bassin de Porga par la méthode de Thiessen

Annexe 2 : Les évènements historiques d’inondation dans le bassin de l’Oti

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

Tableau 7:Les évènements historiques d'inondation dans le bassin de l'Oti

Période (années)	Base de donnée/ Organe de presse /Ong/Gouvernement	Nombres d'évènements	Impacts
1999-2000	Organe de presse (Daily Graphic)	30 septembre	Les localités dans la Zone Oti Ghana ont été affectées
	GDACS		
	Base de données : EM-DAT		65 000 personnes affectées
2001	Base de données : Desinventer	3 octobre	2 personnes sont mortes et 841 personnes affectées
	GDACS		
2002	Base de données : Desinventer	20 septembre	25 personnes sont mortes et 97 blessées
	GDACS		8 667 personnes affectées
2003	Base de données : Desinventer	9 octobre	2 personnes sont mortes ; 170 blessées 14 maison détrites 83 endommagées ;1 091 personnes affectées
	GDACS		
2004	Base de données : Desinventer	12 octobre / 15 décembre	2 personnes sont mortes et 7 personnes affectées
	GDACS		
2005	Base de données : Desinventer	28 septembre / 14 octobre	7 personnes sont mortes et 25 blessées 149 personnes affectées
2006	Base de données : Desinventer	18 novembre / 4 décembre	12 personnes sont mortes ; 8 blessées ; 285 maisons endommagées ; 45 victime
	GDACS		1002 personnes affectées
2007-2008	Ong : Red Cross and Crescent Societies		25 personnes sont mortes et 97 blessées
	GDACS		8 667 personnes affectées
	Base de données : EM-DAT		332 600 affectées dans la zone Oti Ghana 127 880 affectées ; 41 morts et 13374 maisons abandonnées dans la zone Oti Togo

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

	Gouvernement : Direction de la gestion des catastrophes	4 octobre	231 147 sinistrés ; 42 décès
	Base de données : Desinventer		210 personnes sont mortes ; 124 blessées et 84 213 personnes affectées
2008-2009	Base de données : EM-DAT	21 septembre / 7 octobre	
	GDACS		
	Gouvernement : Direction de la gestion des catastrophes		8 000 ménages affectés
2009-2010	Base de données : EM-DAT	23 septembre / 9 octobre	
	GDACS		
	Gouvernement : Direction de la gestion des catastrophes		45 312 sinistrés ; 21 décès et 18 blessées
2010-2011	Ong +Gouvernement : Evaluation humanitaire rapide	26 septembre	82 767 personnes affectées ; 85 blessées et 21 décès
	GDACS		921 maisons abandonnées
	Base de données : EM-DAT		7 744.24 hectares de champs dévastés
			17 174 affectées ; 63 morts dans la zone Oti Ghana
			111 550 affectées ; 22 morts dans la zone Oti Togo
2011-2012	Base de données : EM-DAT	13 septembre / 29 septembre	
	GDACS		
2012-2013	Base de données : EM-DAT	2 octobre	
2013-2014	Base de données : EM-DAT	26 septembre	
	GDACS		

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

Exemple d’impacts des inondations de 2010



“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

Annexe 3 : Chroniques des débits reconstitués avec le modèle
Sacramento sur BV de l’Oti à Porga

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

Tableau 8: Chroniques des débits reconstitués avec le modèle Sacramento sur BV de l’Oti à Porga

Chroniques des débits (mm/j) reconstitués avec le modèle Sacramento sur le BV de l’Oti à Porga											
Date	Débit de mise en route	Débits de la phase de calage						Débits de la phase de validation			
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
1/1	37,91	62,52	35,41	26,95	36,77	35,62	0,00	49,54	28,75	30,30	
2/1	37,29	61,60	34,89	26,57	36,20	35,10	1050,91	48,82	28,32	29,84	
3/1	36,69	60,70	34,38	26,19	35,65	34,59	1024,67	48,11	27,89	29,39	
4/1	36,10	59,81	33,88	25,82	35,10	34,09	999,17	47,42	27,47	28,94	
5/1	35,52	58,94	33,39	25,46	34,57	33,60	974,38	46,74	27,06	28,51	
6/1	34,95	58,09	32,91	25,10	34,04	33,12	950,29	46,07	26,66	28,09	
7/1	34,40	57,26	32,44	24,76	33,53	32,64	926,86	45,42	26,26	27,67	
8/1	33,86	56,44	31,97	24,41	33,03	32,18	904,09	44,78	25,88	27,26	
9/1	33,33	55,63	31,52	24,08	32,54	31,72	881,95	44,15	25,50	26,86	
10/1	32,81	54,84	31,07	23,75	32,05	31,28	860,43	43,53	25,13	26,47	
11/1	32,30	54,07	30,64	23,43	31,58	30,84	839,50	42,92	24,76	26,08	
12/1	31,80	53,31	30,21	23,11	31,12	30,41	819,15	42,33	24,41	25,70	
13/1	31,31	52,56	29,79	22,80	30,66	29,99	799,36	41,74	24,06	25,33	
14/1	30,83	51,83	29,37	22,49	30,22	29,57	780,12	41,17	23,71	24,97	
15/1	30,36	51,12	28,97	22,19	29,78	29,17	761,41	40,60	23,38	24,62	
16/1	29,90	50,41	28,57	21,89	29,35	28,77	743,21	40,05	23,05	24,27	
17/1	29,45	49,72	28,18	21,60	28,93	28,37	725,51	39,51	22,72	23,92	
18/1	29,01	49,04	27,79	21,32	28,52	27,99	708,30	38,97	22,40	23,59	
19/1	28,58	48,37	27,42	21,04	28,11	27,61	691,56	38,45	22,09	23,26	
20/1	28,16	47,72	27,05	20,76	27,72	27,24	675,28	37,94	21,78	22,93	
21/1	27,74	47,07	26,68	20,49	27,33	26,88	659,43	37,43	21,48	22,61	
22/1	27,34	46,44	26,32	20,22	26,95	26,52	644,02	36,93	21,19	22,30	

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

23/1	26,94	45,82	25,97	19,96	26,57	26,16	629,03	36,44	20,90	22,00
24/1	26,55	45,21	25,63	19,70	26,20	25,82	614,45	35,97	20,61	21,70
25/1	26,16	44,61	25,29	19,45	25,84	25,48	600,26	35,49	20,33	21,40
26/1	25,79	44,02	24,96	19,20	25,49	25,14	586,45	35,03	20,06	21,11
27/1	25,42	43,44	24,63	18,96	25,14	24,82	573,02	34,57	19,79	20,82
28/1	25,05	42,87	24,31	18,71	24,80	24,49	559,94	34,13	19,52	20,54
29/1	24,70	42,32	23,99	18,48	24,46	24,18	547,22	33,69	19,26	20,27
30/1	24,35	41,77	23,68	18,24	24,13	23,86	534,84	33,25	19,01	20,00
31/1	24,01	41,23	23,37	18,01	23,81	23,56	522,79	32,83	18,75	19,73
1/2	23,67	40,69	23,07	17,79	23,49	23,25	511,06	32,41	18,51	19,47
2/2	23,34	40,17	22,78	17,57	23,17	22,96	499,64	32,00	18,26	19,22
3/2	23,02	39,66	22,49	17,35	22,87	22,67	488,53	31,59	18,03	18,97
4/2	22,70	39,15	22,20	17,13	22,56	22,38	477,71	31,19	17,79	18,72
5/2	22,39	38,66	21,92	16,92	22,27	22,10	467,18	30,80	17,56	18,47
6/2	22,08	38,17	21,64	16,71	21,98	21,82	456,93	30,42	17,33	18,24
7/2	21,78	37,69	21,37	16,51	21,69	21,55	446,94	30,04	17,11	18,00
8/2	21,49	37,21	21,10	16,31	21,41	21,28	437,22	29,66	16,89	17,77
9/2	21,20	36,75	20,84	16,11	21,13	21,01	427,75	29,30	16,68	17,54
10/2	20,91	36,29	20,58	15,91	20,86	20,75	418,53	28,93	16,46	17,32
11/2	20,64	35,84	20,33	15,72	20,59	20,49	409,55	28,58	16,26	17,10
12/2	20,36	35,40	20,07	15,53	20,33	20,24	400,81	28,23	16,05	16,88
13/2	20,09	34,96	19,83	15,34	20,07	19,99	392,29	27,88	15,85	16,67
14/2	19,83	34,53	19,58	15,16	19,81	19,75	383,99	27,54	15,65	16,46
15/2	19,56	34,11	19,34	14,98	19,56	19,51	375,91	27,21	15,46	16,25
16/2	19,31	33,69	19,11	14,80	19,32	19,27	368,03	26,88	15,26	16,05
17/2	19,06	33,28	18,88	14,62	19,07	19,04	360,36	26,56	15,07	15,85
18/2	18,81	32,88	18,65	14,45	18,83	18,81	352,88	26,24	14,89	15,65
19/2	18,57	32,48	18,42	14,28	18,60	18,58	345,60	25,92	14,70	15,46
20/2	18,33	32,09	18,20	14,11	18,37	18,36	338,50	25,61	14,52	15,27

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

21/2	18,09	31,70	17,98	13,95	18,14	18,14	331,58	25,31	14,35	15,08
22/2	17,86	31,32	17,77	13,78	17,92	17,92	324,83	25,01	14,17	14,90
23/2	17,63	30,95	17,56	13,62	17,70	17,71	318,26	24,71	14,00	14,72
24/2	17,41	30,58	17,35	13,46	17,48	17,50	311,85	24,42	13,83	14,54
25/2	17,19	30,22	17,14	13,31	17,27	17,29	305,60	24,13	13,66	14,36
26/2	16,97	29,86	16,94	13,15	17,06	17,09	299,51	23,85	13,50	14,19
27/2	16,76	29,51	16,74	13,00	16,85	16,89	293,57	23,57	13,34	14,02
28/2	16,55	29,16	16,54	12,85	16,65	16,69	287,78	23,29	13,18	13,85
1/3	16,34	28,82	16,35	12,70	16,45	16,50	282,13	23,02	13,02	13,69
2/3	16,14	28,48	16,16	12,56	16,25	16,30	276,62	22,75	12,87	13,52
3/3	15,94	28,15	15,97	12,41	16,05	16,11	271,25	22,49	12,71	13,36
4/3	15,74	27,82	15,78	12,27	15,86	15,93	266,01	22,23	12,56	13,20
5/3	15,55	27,50	15,60	12,13	15,67	15,74	260,89	21,97	12,41	13,05
6/3	15,36	27,18	15,42	11,99	15,49	15,56	255,90	21,72	12,27	12,89
7/3	15,17	26,86	15,24	11,86	15,30	15,38	251,04	21,47	12,12	12,74
8/3	14,99	26,55	15,07	11,72	15,12	15,21	246,29	21,22	11,98	12,59
9/3	14,81	26,25	14,89	11,59	14,94	15,03	241,65	20,98	11,84	12,45
10/3	14,63	25,95	14,72	11,46	14,77	14,86	237,13	20,74	11,71	12,30
11/3	14,45	25,65	14,55	11,33	14,60	14,69	232,72	20,51	11,57	12,16
12/3	14,28	25,36	14,39	11,20	14,43	14,52	228,41	20,27	11,44	12,02
13/3	14,11	25,07	14,23	11,08	14,26	14,36	224,20	20,04	11,30	11,88
14/3	13,94	24,79	14,06	10,95	14,09	14,20	220,10	19,82	11,17	11,74
15/3	13,77	24,50	13,90	10,83	13,93	14,04	216,09	19,60	11,05	11,61
16/3	13,61	24,23	13,75	10,71	13,77	13,88	212,17	19,37	10,92	11,47
17/3	13,45	23,95	13,59	10,59	13,61	13,72	208,35	19,16	10,79	11,34
18/3	13,29	23,68	13,44	10,48	13,45	13,57	204,61	18,94	10,67	11,21
19/3	13,13	23,42	13,29	10,36	13,30	13,42	200,97	18,73	10,55	11,08
20/3	12,98	23,16	13,14	10,24	13,15	13,27	197,40	18,52	10,43	10,96
21/3	12,83	22,90	12,99	10,13	13,00	13,12	193,92	18,32	10,31	10,83

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

22/3	12,68	22,64	12,85	10,02	12,85	12,97	190,52	18,11	10,20	10,71
23/3	12,53	22,39	12,70	9,91	12,70	12,83	187,20	17,91	10,08	10,59
24/3	12,38	22,14	12,56	9,80	12,56	12,68	183,95	17,71	9,97	10,47
25/3	12,24	21,89	12,42	9,69	12,42	12,54	180,78	17,52	9,86	10,35
26/3	12,10	21,65	12,29	9,59	12,28	12,41	177,68	17,32	9,74	10,24
27/3	11,96	21,41	12,15	9,48	12,14	12,27	174,64	17,13	9,64	10,12
28/3	11,82	21,17	12,02	9,38	12,00	12,13	171,68	16,95	9,53	10,01
29/3	11,69	20,94	11,88	9,28	11,87	12,00	168,78	16,76	9,42	9,90
30/3	11,55	20,71	11,75	9,18	11,73	11,87	165,95	16,58	9,32	9,79
31/3	11,42	20,48	11,63	9,08	11,60	11,74	163,18	16,40	9,21	9,68
1/4	11,29	20,26	11,50	8,98	11,47	11,61	160,47	16,22	9,11	9,57
2/4	11,16	20,04	11,37	8,88	11,35	11,48	157,82	16,04	9,01	9,47
3/4	11,04	19,82	11,25	8,79	11,22	11,36	155,23	15,87	8,91	9,36
4/4	10,91	19,60	11,13	8,69	11,09	11,24	152,69	15,69	8,81	9,26
5/4	10,79	19,39	11,00	8,60	10,97	11,11	150,21	15,52	8,72	9,16
6/4	10,67	19,18	10,88	8,51	10,85	10,99	147,78	15,35	8,62	9,06
7/4	10,55	18,97	10,77	8,41	10,73	10,87	145,41	15,19	8,53	8,96
8/4	10,43	18,76	10,65	8,32	10,61	10,76	143,08	15,02	8,43	8,86
9/4	10,31	18,56	10,53	8,23	10,50	10,64	140,81	14,86	8,34	8,76
10/4	10,20	18,36	10,42	8,15	10,38	10,52	138,58	14,70	8,25	8,67
11/4	10,08	18,16	10,31	8,06	10,27	10,41	136,40	14,54	8,16	8,57
12/4	9,97	17,97	10,20	7,97	10,16	10,30	134,27	14,39	8,07	8,48
13/4	9,86	17,77	10,09	7,89	10,04	10,19	132,17	14,23	7,98	8,39
14/4	9,75	17,58	9,98	7,80	9,94	10,08	130,13	14,08	7,90	8,30
15/4	9,64	17,39	9,87	7,72	9,83	9,97	128,12	13,93	7,81	8,21
16/4	9,54	17,21	9,77	7,64	9,72	9,87	126,16	13,78	7,73	8,12
17/4	9,43	17,02	9,66	7,56	9,62	9,76	124,24	13,64	7,65	8,03
18/4	9,33	16,84	9,56	7,48	9,51	9,66	122,35	13,49	7,56	7,94
19/4	9,22	16,66	9,46	7,40	9,41	9,55	120,50	13,35	7,48	7,86

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

20/4	9,12	16,48	9,36	7,32	9,31	9,45	118,70	13,20	7,40	7,77
21/4	9,02	16,31	9,26	7,24	9,21	9,35	116,92	13,06	7,32	7,69
22/4	8,93	16,13	9,16	7,17	9,11	9,25	115,18	12,93	7,24	7,61
23/4	8,83	15,96	9,06	7,09	9,01	9,15	113,48	12,79	7,17	7,53
24/4	8,73	15,79	8,97	7,02	8,91	9,06	111,81	12,65	7,09	7,45
25/4	8,64	15,63	8,87	6,94	8,82	8,96	110,18	12,52	7,01	7,37
26/4	8,54	15,46	8,78	6,87	8,72	8,87	108,57	12,39	6,94	7,29
27/4	8,45	15,30	8,68	6,80	8,63	8,77	107,00	12,26	6,87	7,21
28/4	8,36	15,14	8,59	6,73	8,54	8,68	105,45	12,13	6,79	7,13
29/4	8,27	14,98	8,50	6,66	8,45	8,59	103,94	12,00	6,72	7,06
30/4	8,18	14,82	8,41	6,59	8,36	8,50	102,45	11,87	6,65	6,98
1/5	8,09	14,66	8,32	6,52	8,27	8,41	101,00	11,75	6,58	6,91
2/5	8,00	14,51	8,24	6,45	8,18	8,32	99,57	11,63	6,51	6,83
3/5	7,92	14,36	8,15	6,38	8,09	8,23	98,17	11,50	6,44	6,76
4/5	7,83	14,20	8,06	6,32	8,01	8,15	96,79	11,38	6,37	6,69
5/5	7,75	14,06	7,98	6,25	7,92	8,06	95,44	11,26	6,30	6,62
6/5	7,67	13,91	7,90	6,19	7,84	7,98	94,11	11,15	6,24	6,55
7/5	7,58	13,76	7,81	6,12	7,76	7,89	92,81	11,03	6,17	6,48
8/5	7,50	13,62	7,73	6,06	7,67	7,81	91,54	10,91	6,11	6,41
9/5	7,42	13,48	7,65	5,99	7,59	7,73	90,28	10,80	6,04	6,35
10/5	7,34	13,34	7,57	5,93	7,51	7,65	89,05	10,69	5,98	6,28
11/5	7,27	13,20	7,49	5,87	7,43	7,57	87,84	10,58	5,92	6,21
12/5	7,19	13,06	7,41	5,81	7,36	7,49	86,65	10,47	5,86	6,15
13/5	7,11	12,92	7,34	5,75	7,28	7,41	85,49	10,36	5,79	6,08
14/5	7,04	12,79	7,26	5,69	7,20	7,33	84,34	10,25	5,73	6,02
15/5	6,96	12,65	7,18	5,63	7,13	7,26	83,22	10,14	5,67	5,96
16/5	6,89	12,52	7,11	5,57	7,05	7,18	82,11	10,04	5,61	5,89
17/5	6,82	12,39	7,04	5,52	6,98	7,11	81,02	9,93	5,56	5,83
18/5	6,74	12,26	6,96	5,46	6,91	7,03	79,96	9,83	5,50	5,77

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

19/5	6,67	12,14	6,89	5,40	6,83	6,96	78,91	9,73	5,44	5,71
20/5	6,60	12,01	6,82	5,35	6,76	6,89	77,88	9,63	5,38	5,65
21/5	6,53	11,89	6,75	5,29	6,69	6,82	76,86	9,53	5,33	5,59
22/5	6,46	11,76	6,68	5,24	6,62	6,75	75,86	9,43	5,27	5,54
23/5	6,40	11,64	6,61	5,18	6,55	6,68	74,89	9,33	5,22	5,48
24/5	6,33	11,52	6,54	5,13	6,48	6,61	73,92	9,24	5,16	5,42
25/5	6,26	11,40	6,47	5,08	6,42	6,54	72,97	9,14	5,11	5,37
26/5	6,20	11,29	6,41	5,02	6,35	6,47	72,04	9,05	5,06	5,31
27/5	6,13	11,17	6,34	4,97	6,28	6,41	71,13	8,96	5,00	5,25
28/5	6,07	11,05	6,28	4,92	6,22	6,34	70,23	8,86	4,95	5,20
29/5	6,01	10,94	6,21	4,87	6,15	6,28	69,34	8,77	4,90	5,15
30/5	5,94	10,83	6,15	4,82	6,09	6,21	68,47	8,68	4,85	5,09
31/5	5,88	10,72	6,08	4,77	6,03	6,15	67,61	8,59	4,80	5,04
1/6	5,82	10,61	6,02	4,72	5,97	6,08	66,77	8,50	4,75	4,99
2/6	59,10	10,50	5,96	4,67	5,90	6,02	65,93	8,42	4,70	4,94
3/6	63,49	10,39	5,90	4,63	5,84	5,96	65,12	8,33	4,65	4,89
4/6	61,92	10,28	5,84	4,58	5,78	5,90	64,31	8,24	4,61	4,84
5/6	60,40	10,18	5,78	4,53	5,72	5,84	63,52	8,16	4,56	4,79
6/6	58,91	10,07	5,72	4,49	5,66	5,78	62,74	8,08	4,51	4,74
7/6	73,04	9,97	5,66	4,44	5,61	5,72	61,97	7,99	4,47	4,69
8/6	75,32	9,87	5,60	4,40	5,55	5,66	61,22	7,91	4,42	4,64
9/6	96,45	9,77	5,54	4,35	5,49	5,60	60,47	7,83	4,37	4,59
10/6	96,55	9,67	5,49	4,31	5,43	5,55	59,74	7,75	4,33	4,54
11/6	94,14	9,57	5,43	4,26	5,38	5,49	59,02	7,67	4,28	4,50
12/6	91,79	9,47	5,38	4,22	5,32	5,43	58,31	7,59	4,24	4,45
13/6	89,51	9,37	5,32	4,18	5,27	5,38	57,61	7,52	4,20	4,41
14/6	87,29	9,28	5,27	4,13	5,21	5,32	56,92	7,44	4,15	4,36
15/6	85,14	9,18	5,21	4,09	5,16	5,27	56,24	7,36	4,11	4,32
16/6	83,05	9,09	5,16	4,05	5,11	5,21	55,57	7,29	4,07	4,27

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

17/6	81,01	8,99	5,11	4,01	5,06	5,16	54,91	7,21	4,03	4,23
18/6	79,03	8,90	5,05	3,97	5,00	5,11	54,26	7,14	3,99	4,19
19/6	77,10	8,81	5,00	3,93	4,95	5,06	53,62	7,19	3,95	4,14
20/6	75,23	8,72	4,95	3,89	4,90	5,00	52,99	7,11	3,91	4,10
21/6	73,41	8,63	4,90	3,85	4,85	4,95	52,37	7,04	3,87	4,06
22/6	71,64	8,55	4,85	3,81	4,80	4,90	51,76	6,97	3,83	4,02
23/6	69,92	8,46	4,80	3,77	4,75	4,85	51,16	19,51	3,79	3,98
24/6	68,25	8,37	4,75	3,73	4,70	4,80	50,56	20,58	3,75	3,94
25/6	66,62	8,29	4,71	3,69	4,66	4,75	49,98	20,15	3,71	3,90
26/6	65,04	8,20	4,66	3,66	4,61	4,71	49,40	19,73	3,67	3,86
27/6	63,50	8,12	4,61	3,62	4,56	4,66	53,85	44,86	3,64	3,82
28/6	62,00	8,04	9,15	3,58	4,52	4,61	55,01	47,38	3,60	3,78
29/6	60,54	7,96	9,37	3,55	4,47	4,56	54,28	46,25	3,56	3,74
30/6	59,13	7,87	15,09	3,51	4,42	4,52	53,94	45,15	3,53	6,62
1/7	57,75	7,79	15,52	3,47	4,38	4,47	54,13	44,08	3,49	9,35
2/7	56,41	7,72	15,18	3,44	4,33	4,43	90,76	43,04	3,45	9,17
3/7	55,10	7,64	16,54	3,40	4,29	4,38	92,86	42,02	3,42	37,05
4/7	61,68	7,56	50,32	3,37	4,25	4,34	91,11	41,04	3,38	47,81
5/7	63,58	7,48	52,06	3,34	4,20	4,29	89,40	40,08	3,35	47,36
6/7	62,09	7,41	50,77	3,30	4,16	4,25	95,74	39,15	3,32	55,59
7/7	60,64	7,33	49,52	3,27	4,12	4,82	95,66	38,24	3,28	56,73
8/7	59,23	7,26	48,30	3,24	4,08	4,76	93,81	37,36	3,25	55,45
9/7	81,34	7,18	47,12	3,20	4,03	4,71	92,02	36,50	3,22	76,83
10/7	82,81	7,11	45,97	3,17	3,99	4,65	90,26	35,67	3,18	76,93
11/7	87,05	7,04	72,11	3,14	3,95	11,05	88,55	42,53	3,15	74,99
12/7	85,94	9,00	74,48	3,11	3,91	11,93	86,88	53,72	3,12	73,11
13/7	83,87	10,83	72,62	3,08	3,87	22,59	85,25	53,45	3,09	73,14
14/7	85,90	10,79	81,16	3,04	3,83	25,39	83,66	52,17	3,06	71,83
15/7	98,60	32,50	89,69	3,01	3,80	24,97	82,46	50,93	3,02	70,04

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

16/7	97,55	34,56	88,62	2,98	3,76	24,38	83,67	49,73	2,99	101,30
17/7	95,20	37,93	86,40	2,95	3,72	41,62	82,11	49,48	2,96	102,90
18/7	102,72	51,65	107,75	2,92	4,74	43,06	80,59	49,13	2,93	100,30
19/7	108,47	112,21	107,47	2,89	5,54	42,00	79,10	47,98	3,06	97,79
20/7	116,41	115,09	107,05	2,86	5,45	54,46	77,65	46,85	3,75	95,34
21/7	114,47	112,19	162,77	2,84	25,59	83,51	76,24	45,76	3,69	114,73
22/7	112,07	109,67	167,03	2,81	27,53	83,98	74,85	44,70	3,64	114,10
23/7	109,81	120,57	163,62	2,78	50,95	100,80	73,50	43,66	3,59	139,06
24/7	107,16	119,01	165,47	2,75	53,02	113,72	72,19	42,66	3,54	138,89
25/7	104,58	121,25	174,55	4,55	51,69	112,02	70,90	41,68	3,50	135,39
26/7	102,78	118,97	178,98	21,63	50,40	109,18	72,78	40,72	3,45	136,75
27/7	100,51	116,01	175,57	22,52	52,21	113,77	72,80	39,80	3,40	134,22
28/7	98,12	113,13	171,15	21,97	51,53	111,90	77,73	38,89	3,36	130,87
29/7	95,79	110,33	171,83	21,44	50,25	109,08	79,76	38,02	3,31	127,61
30/7	93,53	110,28	168,83	20,93	49,01	106,34	78,45	37,16	3,27	145,69
31/7	91,32	108,91	164,62	25,51	50,67	103,68	78,74	36,33	3,22	143,97
1/8	89,18	130,22	160,52	28,09	66,60	101,10	91,38	35,52	3,18	140,38
2/8	87,10	137,74	156,53	27,62	67,09	98,58	90,92	34,73	3,14	136,90
3/8	85,07	135,04	162,16	26,95	87,10	96,14	89,11	33,96	3,10	133,51
4/8	83,10	149,30	166,43	26,29	87,24	99,77	87,35	33,22	12,87	130,21
5/8	81,18	150,90	162,96	25,66	96,31	117,42	89,92	32,49	14,23	140,66
6/8	79,32	147,77	158,94	25,04	114,83	116,21	117,83	31,78	13,90	155,41
7/8	78,46	144,15	155,03	24,43	113,66	115,49	120,18	31,09	13,57	153,08
8/8	79,34	140,59	151,23	23,85	110,79	113,80	117,79	30,42	13,26	149,29
9/8	77,60	137,13	147,54	23,28	121,93	118,13	115,26	29,76	12,95	145,61
10/8	75,83	133,77	156,36	22,73	120,91	115,84	112,80	29,13	12,66	142,04
11/8	97,12	130,50	172,57	49,96	154,83	112,98	119,18	33,28	12,37	138,56
12/8	156,46	127,32	169,89	65,42	154,87	110,20	127,36	33,75	12,09	135,18
13/8	174,75	141,89	196,05	64,97	150,95	107,50	127,59	33,01	11,81	131,89

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

14/8	171,88	141,16	194,37	63,33	161,26	139,57	141,46	32,29	36,79	128,69
15/8	174,98	178,99	189,58	113,13	168,63	140,73	145,38	31,58	39,79	125,59
16/8	171,36	178,83	184,93	115,46	165,34	137,24	142,63	30,90	38,79	122,56
17/8	183,12	180,05	183,80	117,92	161,18	133,85	147,93	30,23	37,82	119,81
18/8	180,47	176,53	180,79	117,00	159,78	133,62	151,26	32,54	44,49	116,95
19/8	199,52	172,19	176,39	128,36	156,31	135,57	192,70	32,75	46,25	114,16
20/8	240,06	167,97	172,11	126,61	152,41	140,44	192,26	32,04	66,97	111,46
21/8	238,41	163,86	167,94	123,40	196,57	145,68	187,79	73,18	68,71	108,82
22/8	232,55	159,87	166,74	120,27	196,19	162,52	183,44	148,51	69,42	106,26
23/8	226,80	155,99	163,34	122,03	191,26	173,14	215,68	152,13	112,01	103,77
24/8	246,48	189,98	169,27	142,96	203,96	175,87	215,35	148,30	125,96	101,34
25/8	243,77	203,83	166,17	152,34	221,95	172,05	210,36	144,57	123,89	98,98
26/8	237,76	212,27	162,45	149,46	228,46	167,80	227,25	154,50	140,80	110,30
27/8	231,91	209,11	159,01	175,82	232,16	259,75	228,59	157,51	179,96	114,64
28/8	233,12	242,54	155,23	174,61	227,11	268,73	223,61	154,03	203,31	112,32
29/8	235,30	246,50	172,44	170,20	233,55	266,56	247,10	156,77	200,27	109,69
30/8	281,93	260,60	197,91	171,11	229,00	310,95	274,82	153,85	195,14	117,35
31/8	279,85	255,98	195,58	167,84	226,40	307,90	270,96	167,33	224,59	125,23
1/9	276,41	283,08	190,86	166,47	275,92	300,16	271,39	165,34	222,78	134,93
2/9	270,07	279,61	204,11	162,60	317,36	292,64	315,51	161,82	217,09	165,59
3/9	269,69	272,69	201,50	158,54	313,24	285,32	312,55	157,90	231,06	170,71
4/9	264,65	273,67	196,65	154,60	305,38	323,68	305,00	170,33	227,81	182,81
5/9	269,50	268,23	191,93	150,76	297,74	320,76	297,67	168,16	238,66	183,81
6/9	272,01	266,99	206,44	147,03	292,16	316,43	290,53	164,00	234,42	201,10
7/9	299,14	261,52	204,30	143,41	285,33	309,36	283,60	159,96	228,49	212,92
8/9	297,62	255,28	199,39	139,88	278,25	301,68	276,85	160,38	222,73	209,02
9/9	310,44	249,61	195,78	216,64	271,37	294,21	270,29	157,75	233,74	203,91
10/9	304,76	243,55	191,51	224,89	299,85	305,44	263,91	153,89	229,38	198,94
11/9	297,31	237,66	186,95	219,56	297,61	304,53	273,09	150,14	223,63	194,10

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

12/9	290,07	232,09	182,53	214,07	290,31	297,92	279,51	147,73	218,04	189,40
13/9	331,98	226,51	178,22	210,67	283,16	300,93	274,51	164,19	212,60	185,74
14/9	331,79	221,09	174,03	206,10	276,21	295,08	279,62	192,08	207,32	181,99
15/9	355,04	215,85	169,96	201,00	269,46	288,24	274,18	189,99	202,18	177,66
16/9	349,27	211,12	165,99	210,08	262,89	281,21	277,78	189,86	205,01	173,41
17/9	340,72	206,17	162,14	248,38	256,50	274,39	274,84	186,18	229,84	169,28
18/9	332,41	203,88	158,39	246,23	250,29	268,80	268,59	186,60	226,76	165,27
19/9	352,69	203,51	154,73	240,11	246,60	275,38	262,31	185,54	221,72	165,92
20/9	374,72	199,53	151,18	280,64	248,61	270,38	299,81	181,24	216,32	163,01
21/9	384,09	194,85	147,73	283,88	243,27	265,43	353,45	199,96	217,25	161,84
22/9	376,12	190,30	144,36	277,25	241,38	259,67	349,92	197,62	214,01	168,47
23/9	366,94	186,33	141,09	270,36	236,40	253,45	341,54	194,37	208,86	165,39
24/9	358,02	182,13	137,90	263,67	230,76	247,41	333,38	190,26	203,76	177,42
25/9	349,35	177,93	134,80	257,16	225,28	241,52	325,45	185,65	198,81	174,70
26/9	340,91	173,84	131,79	250,83	219,95	255,94	317,74	181,16	193,99	170,58
27/9	332,71	169,86	128,85	247,07	214,76	253,29	310,23	176,80	189,30	166,57
28/9	324,74	165,98	134,27	243,83	209,72	251,50	302,94	172,56	185,07	162,67
29/9	327,74	162,21	132,66	243,81	213,65	247,45	295,84	168,44	180,63	158,87
30/9	329,59	158,54	129,70	238,38	209,91	244,44	288,93	164,42	176,31	155,18
1/10	321,72	154,97	126,82	232,59	205,01	238,92	282,21	160,52	172,11	151,59
2/10	314,07	198,49	124,02	226,96	200,24	233,30	275,67	156,73	168,02	148,09
3/10	306,63	200,84	121,29	221,49	195,60	227,84	269,31	153,04	164,05	144,69
4/10	299,40	196,17	118,63	216,17	191,08	222,53	263,13	149,44	160,18	141,38
5/10	292,36	191,62	132,17	210,99	186,69	217,36	257,10	158,19	156,43	138,16
6/10	285,51	187,20	131,21	205,96	182,42	212,34	251,24	156,17	156,18	135,03
7/10	278,85	182,89	128,29	201,06	178,26	207,44	245,54	152,51	161,02	131,98
8/10	272,37	178,70	125,45	196,30	174,21	202,68	239,99	148,95	157,95	129,01
9/10	266,06	174,63	122,69	191,67	170,27	198,05	234,59	145,48	154,26	126,12
10/10	259,93	170,66	120,00	187,16	166,43	193,54	229,33	142,11	150,68	123,31

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

11/10	253,96	166,80	117,38	182,78	162,70	189,16	224,22	138,83	147,19	120,57
12/10	248,15	163,04	114,83	178,51	159,07	184,89	219,24	135,64	143,79	117,90
13/10	242,50	159,39	112,35	174,37	155,53	180,73	214,39	132,53	140,49	115,31
14/10	237,00	155,83	109,93	170,33	152,09	176,69	209,66	129,51	137,27	112,78
15/10	231,65	152,36	107,57	166,40	148,74	172,75	205,07	126,57	134,15	110,32
16/10	226,44	148,99	105,28	162,58	145,47	168,92	200,59	123,70	131,10	107,93
17/10	221,37	145,71	103,04	158,87	142,30	165,19	196,23	120,92	128,14	105,59
18/10	216,43	142,51	100,86	155,25	139,20	161,56	191,99	118,21	125,26	103,32
19/10	211,63	139,40	98,74	151,73	136,19	158,02	187,86	115,57	122,45	101,11
20/10	206,95	136,37	96,67	148,30	133,26	154,57	183,83	113,00	119,72	98,95
21/10	202,39	133,41	94,66	144,97	130,40	151,22	179,91	110,50	117,06	96,85
22/10	197,96	130,54	92,70	141,72	127,61	147,96	176,09	108,06	114,47	94,81
23/10	193,64	127,74	90,79	138,56	124,90	144,78	172,37	105,69	111,95	92,82
24/10	189,44	125,01	88,92	135,48	122,26	141,68	168,75	103,38	109,50	90,88
25/10	185,35	122,36	87,11	132,49	119,69	138,66	165,22	101,13	107,11	88,98
26/10	181,36	119,77	85,34	129,58	117,18	135,72	161,77	98,94	104,78	87,14
27/10	177,47	117,25	83,61	126,74	114,74	132,86	158,42	96,81	102,52	85,35
28/10	173,69	114,80	81,93	123,97	112,36	130,07	155,16	94,74	100,31	83,60
29/10	170,01	112,40	80,29	121,28	110,04	127,35	151,97	92,71	98,16	81,89
30/10	166,42	110,07	78,69	118,66	107,78	124,71	148,87	90,74	96,07	80,23
31/10	162,92	107,80	77,13	116,11	105,58	122,13	145,84	88,83	94,03	78,61
1/11	159,52	105,59	75,61	113,62	103,43	119,61	142,90	86,96	92,05	77,03
2/11	156,20	103,43	74,13	111,20	101,34	117,16	140,02	85,14	90,11	75,49
3/11	152,96	101,33	72,68	108,84	99,30	114,77	137,22	83,36	88,23	73,99
4/11	149,81	99,28	71,27	106,55	97,31	112,44	134,49	81,63	86,39	72,52
5/11	146,74	97,28	69,90	104,31	95,38	110,18	131,83	79,95	84,60	71,09
6/11	143,75	95,33	68,55	102,13	93,48	107,96	129,23	78,31	82,86	69,70
7/11	140,83	93,43	67,25	100,00	91,64	105,81	126,69	76,71	81,16	68,34
8/11	137,98	91,58	65,97	97,93	89,84	103,70	124,22	75,15	79,50	67,02

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

9/11	135,21	89,77	64,72	95,92	88,09	101,65	121,81	73,63	77,89	65,73
10/11	132,51	88,01	63,50	93,95	86,38	99,65	119,46	72,14	76,31	64,46
11/11	129,87	86,29	62,32	92,03	84,71	97,70	117,17	70,70	74,78	63,23
12/11	127,30	84,62	61,16	90,17	83,08	95,80	114,93	69,29	73,28	62,03
13/11	124,80	82,98	60,03	88,35	81,50	93,95	112,75	67,92	71,82	60,86
14/11	122,35	81,39	58,92	86,57	79,95	92,14	110,62	66,58	70,40	59,72
15/11	119,97	79,83	57,84	84,84	78,44	90,37	108,54	65,27	69,02	58,61
16/11	117,64	78,32	56,79	83,15	76,96	88,65	106,51	64,00	67,66	57,52
17/11	115,37	76,83	55,76	81,51	75,52	86,97	104,53	62,75	66,34	56,45
18/11	113,16	75,39	54,76	79,90	74,12	85,33	102,60	61,54	65,06	55,42
19/11	111,00	73,98	53,78	78,34	72,74	83,73	100,71	60,36	63,80	54,40
20/11	108,90	72,60	52,82	76,81	71,41	82,17	98,87	59,21	62,58	53,41
21/11	106,84	71,26	51,89	75,32	70,10	80,64	97,07	58,08	61,38	52,45
22/11	104,84	69,95	50,97	73,87	68,82	79,15	95,32	56,98	60,22	51,51
23/11	102,88	68,67	50,08	72,46	67,58	77,70	93,60	55,91	59,08	50,58
24/11	100,97	67,42	49,21	71,07	66,36	76,28	91,93	54,86	57,97	49,68
25/11	99,10	66,19	48,35	69,73	65,17	74,90	90,29	53,84	56,89	48,81
26/11	97,28	65,00	47,52	68,41	64,01	73,54	88,69	52,85	55,83	47,95
27/11	95,50	63,84	46,71	67,13	62,87	72,22	87,13	51,87	54,80	47,11
28/11	93,77	62,70	45,91	65,87	61,77	70,93	85,60	50,92	53,79	46,29
29/11	92,07	61,59	45,13	64,65	60,68	69,67	84,11	50,00	52,81	45,49
30/11	90,42	60,50	44,37	63,46	59,63	68,44	82,66	49,09	51,85	44,70
1/12	88,80	59,44	43,63	62,29	58,59	67,24	81,23	48,21	50,91	43,94
2/12	87,22	58,41	42,90	61,15	57,58	66,06	79,84	47,34	49,99	43,19
3/12	85,68	57,39	42,19	60,04	56,59	64,91	78,48	46,50	49,10	42,46
4/12	84,17	56,40	41,49	58,95	55,63	63,79	77,15	45,68	48,23	41,74
5/12	82,70	55,44	40,81	57,89	54,69	62,69	75,85	44,87	47,37	41,04
6/12	81,26	54,49	40,15	56,86	53,76	61,62	74,58	44,08	46,54	40,36
7/12	79,85	53,57	39,49	55,85	52,86	60,57	73,33	43,32	45,72	39,69

“ Modélisation de la réponse hydrologique du bassin versant de l’Oti à Porga à l’aide du modèle Sacramento”.

8/12	78,48	52,66	38,86	54,86	51,98	59,55	72,12	42,57	44,93	39,04
9/12	77,13	51,78	38,23	53,90	51,12	58,55	70,93	41,83	44,15	38,40
10/12	75,82	50,92	37,62	52,95	50,27	57,57	69,77	41,11	43,39	37,77
11/12	74,54	50,07	37,02	52,03	49,45	56,61	68,63	40,41	42,65	37,16
12/12	73,28	49,24	36,44	51,13	48,64	55,67	67,51	39,73	41,92	36,56
13/12	72,06	48,44	35,87	50,25	47,85	54,76	66,42	39,06	41,21	35,97
14/12	70,85	47,65	35,31	49,39	47,08	53,86	65,36	38,40	40,52	35,40
15/12	69,68	46,87	34,76	48,55	46,32	52,98	64,31	37,76	39,84	34,84
16/12	68,53	46,11	34,22	47,73	45,58	52,12	63,29	37,13	39,17	34,29
17/12	67,41	45,37	33,69	46,93	44,86	51,28	62,29	36,52	38,52	33,75
18/12	66,31	44,65	33,18	46,14	44,15	50,46	61,31	35,92	37,89	33,22
19/12	65,24	43,94	32,67	45,37	43,45	49,66	60,36	35,33	37,27	32,71
20/12	64,18	43,24	32,18	44,62	42,77	48,87	59,42	34,76	36,66	32,20
21/12	63,15	42,56	31,69	43,89	42,11	48,10	58,50	34,20	36,07	31,71
22/12	62,15	41,90	31,22	43,17	41,46	47,35	57,60	33,65	35,48	31,22
23/12	61,16	41,25	30,75	42,46	40,82	46,61	56,72	33,11	34,91	30,75
24/12	60,20	40,61	30,29	41,77	40,19	45,88	55,85	32,59	34,36	30,28
25/12	59,25	39,98	29,85	41,10	39,58	45,18	55,01	32,07	33,81	29,82
26/12	58,33	39,37	29,41	40,44	38,98	44,48	54,18	31,57	33,28	29,38
27/12	57,42	38,77	28,98	39,80	38,39	43,80	53,37	31,07	32,76	28,94
28/12	56,53	38,18	28,56	39,17	37,82	43,14	52,57	30,59	32,24	28,51
29/12	55,66	37,61	28,14	38,55	37,25	42,48	51,79	30,12	31,74	28,09
30/12	54,81	37,04	27,74	37,94	36,70	41,84	51,02	29,65	31,25	27,68
31/12	53,98	36,49	27,34	37,35	36,16	41,22	50,27	29,20	30,77	27,27
		35,95				40,60				26,88