

# CHAPITRE IV : MODELISATION HYDROLOGIQUE A TRAVERS (HEC-HMS)

## Présentation du modèle HEC-HMS

Le modèle HEC-HMS, est un modèle hydrologique déterministe et conceptuel HEC-HMS (Hydrologic Modeling System). Ce modèle hydrologique a été développé par le « Hydrologic Engineering Center (HEC) » de l'U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

Plusieurs versions sont disponibles, nous nous intéressons dans notre travail à la version publique à savoir HEC-HMS 3.5. Le modèle peut être utilisé sur une base événementielle, aussi, le modèle HEC-HMS est conçu pour simuler les processus de précipitations et des ruissellements des bassins versants avec un réseau hydrographique dendritique. Il est conçu pour être applicable pour des régions géographiques variées, pour résoudre un large éventail de problèmes dans ce chapitre sera focalisé sur déférente variables afin de savoir le principe de fonctionnement de modèle aussi les préparations des donnes et en fin la discussions des résulta obtenues.

## I - Le débit de base

Le débit de base est le débit initial au début de la simulation. La constante de récession décrit le taux de décroissance du débit de base. C'est la part du débit de base au temps t par rapport au temps t-1. Le seuil est le point de l'hydrographe où le débit de base remplace le débit de ruissellement direct, il est exprimé en proportion du débit de pointe de la crue (USACE, 2010). Ce formalisme donne la possibilité de simuler la contribution du réservoir souterrain au débit avant et après le pic ou les pics de l'événement de crue, et ceci en établissant une relation exponentielle entre le débit à deux temps consécutifs, cette relation est formalisée par l'équation:

$$Q_t = Q_0 \times k^t$$

Où  $Q_t$  : le débit au temps t ;

$Q_0$  : le débit initial ;

K : la constante de décroissance exponentielle.

En effet, avant le pic de l'hydrogramme, et connaissant le débit initial, l'équation ci-dessus s'active et commence à reproduire le débit total composé uniquement du débit de base de la rivière, jusqu'au point de début de la crue, depuis lequel ce module agira en parallèle avec le module de la fonction de transfert pour restituer le débit total composé à la fois d'un débit de base en décroissance et d'un débit de surface en forte action.

Ce constat demeure actif jusqu'à un certain point nommé seuil, où l'ampleur de participation dans le débit total se renverse.

## II - La fonction de production

De même que pour les averses, la mise en place de cette fonction a été réalisée par le NRCS en coopération, cette fois-ci, avec trois consultants privés à savoir : Horner, Horton et Sherman. Cette fonction de production apparue en 1950 et surnommée autrefois la SCS CN est le fruit de plus de deux décennies d'analyses des relations pluies-débits sur des petits bassins. Elle relie la pluie nette participante au ruissellement à trois facteurs fondamentaux : l'occupation du sol, le type de sol et l'humidité antécédente, selon l'équation suivante

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

Avec :  $Pe$  : les précipitations nettes au temps  $t$  ;

$P$  : les précipitations brutes au temps  $t$  ;

$Ia$  : l'abstraction initiale ;

$S$  : le potentiel maximum de rétention.

Après avoir effectué de nombreuses expériences, le NRCS a proposé une relation empirique supplémentaire liant l'abstraction initiale d'un bassin versant au potentiel maximum de rétention

$$Ia = 0,2 \times S$$

Ainsi, l'équation (1) devient :

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Pour chaque pas de temps, la pluie nette est la différence de la valeur de Pe au début et à la fin du pas de temps.

L'influence des deux premiers facteurs susmentionnés est estimée par le paramètre CN qui est relié à S par l'équation

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

### III - Fonction de transfert

Une fois que les précipitations en excès sont connues, elles sont transformées en ruissèlement direct. La plateforme HEC-HMS dispose de plusieurs fonctions de transfert : hydrogrammes unitaires de Clark, Snyder et SCS, hydrogrammes définis par l'utilisateur, transformation de Modclark et onde cinématique. Parmi ces méthodes, l'hydrogramme unitaire de Clark est fréquemment utilisé pour une modélisation événementielle. Cette méthode est particulièrement efficace pour reproduire des hydrogrammes complexes, dans des bassins présentant une topographie et une occupation des sols variés (Sabol, 1988).

La méthode de l'hydrogramme unitaire de Clark représente 2 processus ; la translation et l'atténuation. La translation est basée sur un histogramme synthétique temps-surface avec un temps de concentration Tc. L'histogramme représente la superficie du bassin qui contribue à l'écoulement à l'exutoire en fonction du temps. L'atténuation est modélisée par un réservoir linéaire. Le débit sortant moyen du réservoir pendant une période t est donné par :

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1}$$

Avec  $I_t$ , le débit entrant dans le réservoir au temps t,  $C_A$ ,  $C_B$ , des coefficients calculés avec la relation :

$$C_A = \frac{\Delta t}{S_t + 0,5\Delta t}$$

Et :

$$C_B = 1 - C_A$$

$\Delta t$  est le pas de temps de calcul, ici 1 heure.

Les paramètres requis par la méthode de Clark sont donc :

Le temps de concentration,  $T_c$  (heures)

Le coefficient de stockage,  $St$  (heures)

Ces deux paramètres peuvent être estimés par calibration lorsque des enregistrements de pluie et débit sont disponibles.

Pour étudier le fonctionnement hydrologique de bassin est réalisé en se basant sur les données disponibles au niveau de stations des Aguenza et Amsoul, étant donné que les mesures hydrométriques de ces stations. Nous entreprendrons principalement les débits et leur relation avec les précipitations de ces stations.

Les événements utilisés pour la modélisation de sous du bassin d'Aguenza au pas horaires

*Tableau 3: Numérotation des épisodes au niveau de la station d'Aguenza*

Episodes	Numéro
21/12/2000 à 23/12/2000	1
06/12/1999 à 11/12/2000	2
10/01/1997 à 08/01/1997	3
13/12/1995 à 17/12/1995	4
17/12/1991 à 23/12/1991	5
28/11/2014 à 28/11/2014	6

### ***Calage du modèle***

Le modèle choisi pour mener les simulations est la méthode SCS-CN pour le modèle d'infiltration, la méthode de l'Hydrogramme unitaire de Clark pour le modèle du ruissellement et le modèle de récession pour le débit de base.

L'objectif est de transformer un événement pluvieux (en mm) reçu sur un bassin versant en un hydrogramme (débit en  $m^3/s$ ) entrant et se propageant dans le cours d'eau. Les hydrogrammes de crues de calage, obtenus par le modèle, sont représentés comme suit :

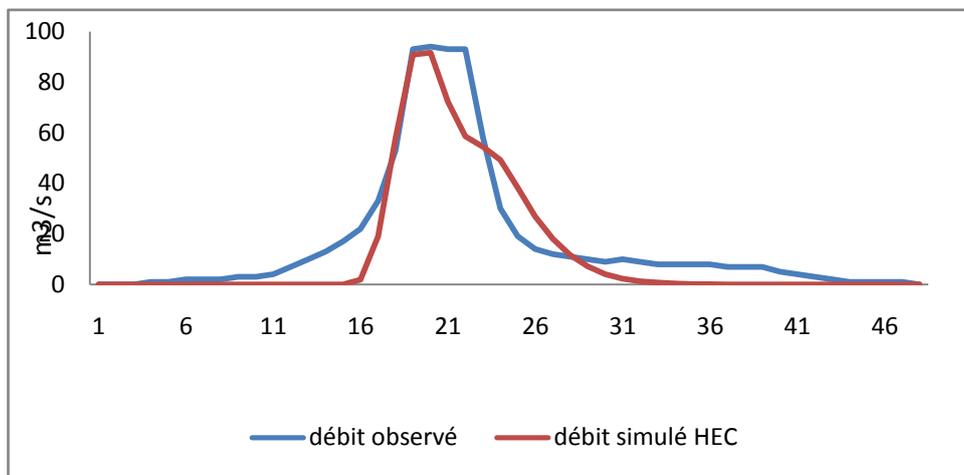
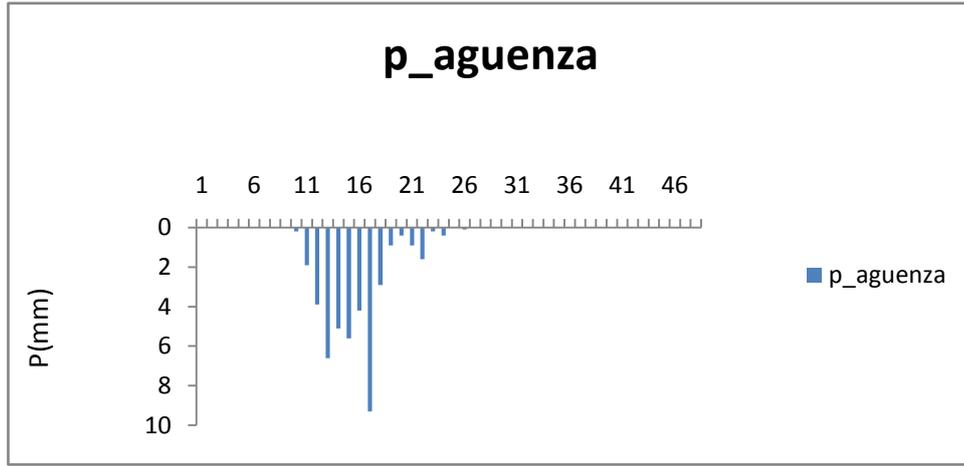


Figure 19 : Hydrogramme de crue de l'événement de 2000 dans la station d'Aguenza

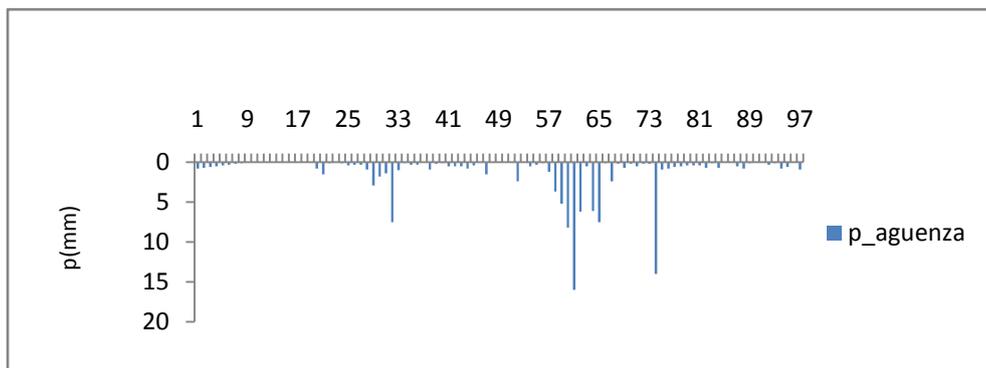


Figure 20: Hydrogramme des crue d'événement de 1995 dans la station d'Aguenza

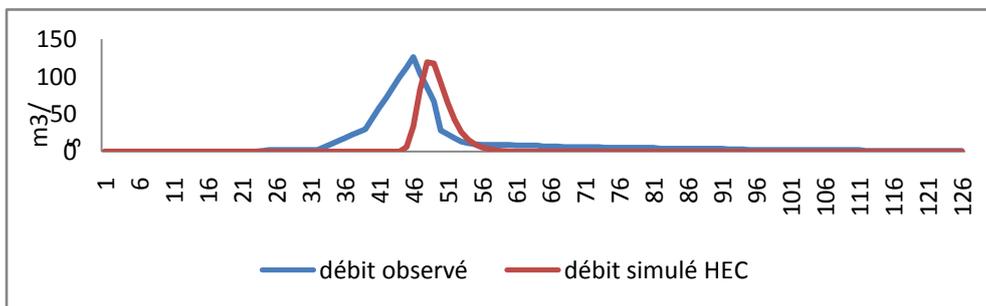
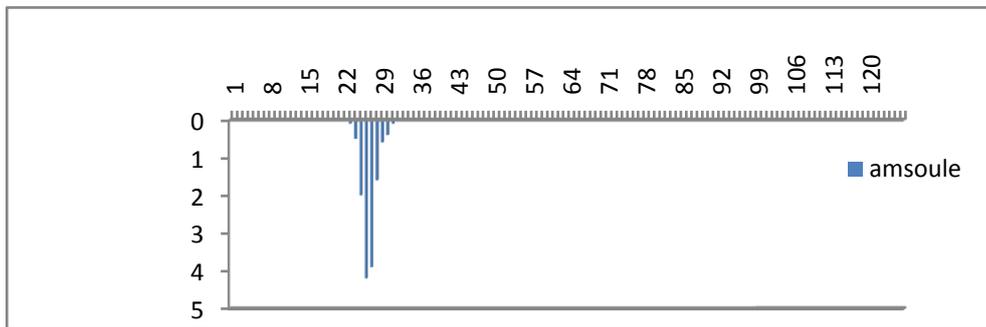
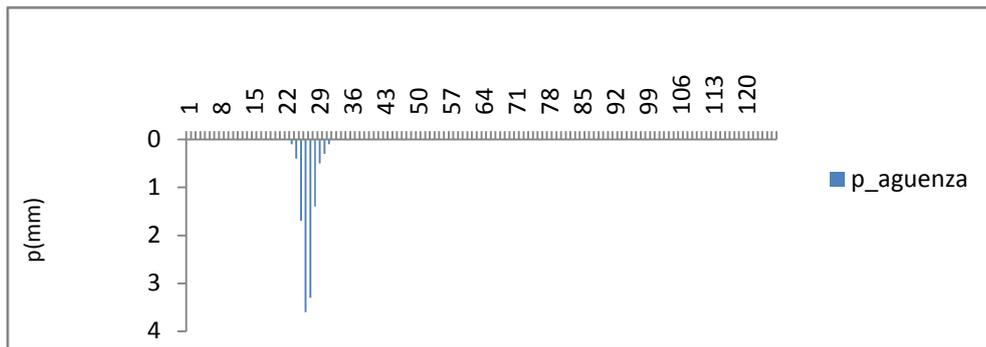
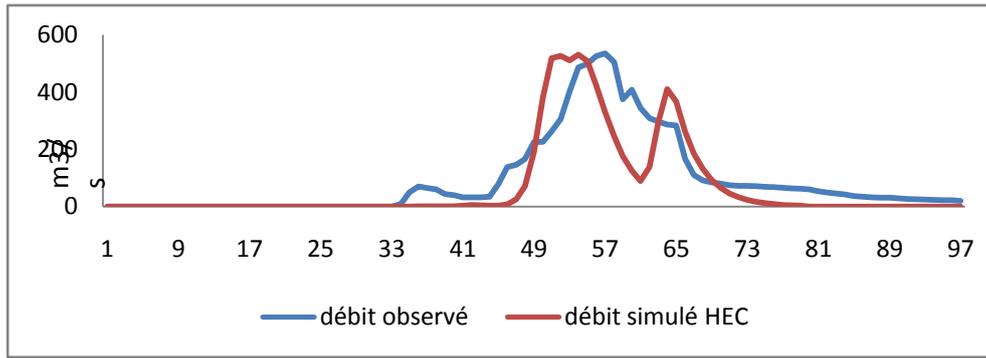


Figure 21: Hydrogramme des crues du premier événement de 1995 dans la station d'Aguenza

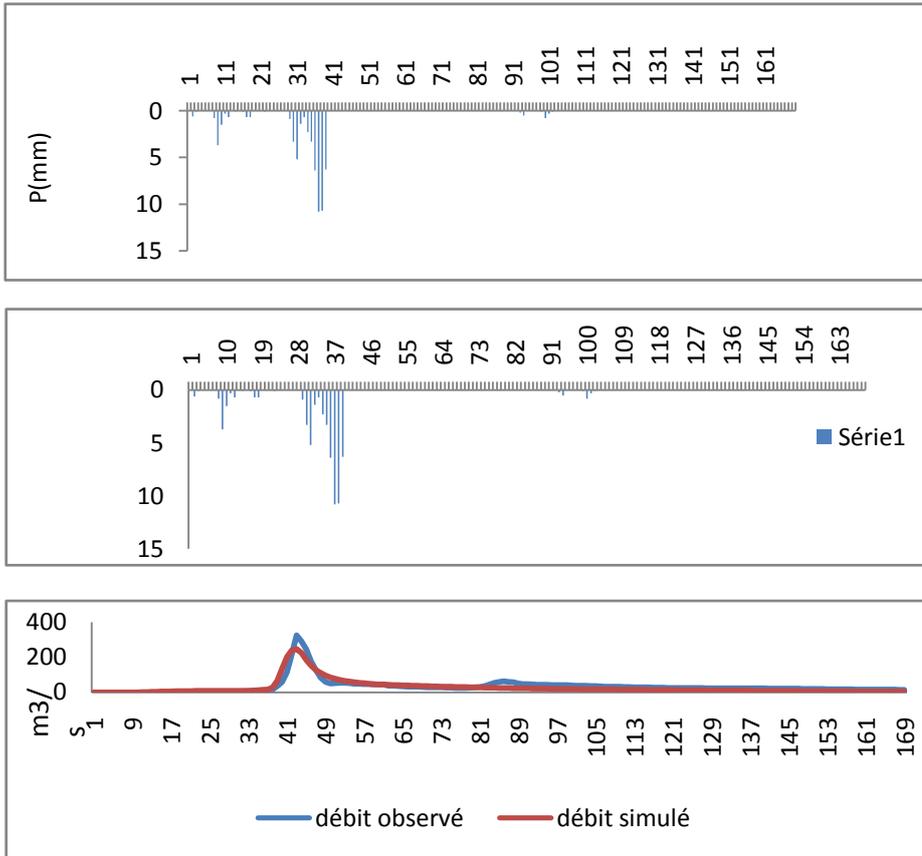


Figure22 : Hydrogramme des crue d'événement de 1996 dans la station d'Aguenza

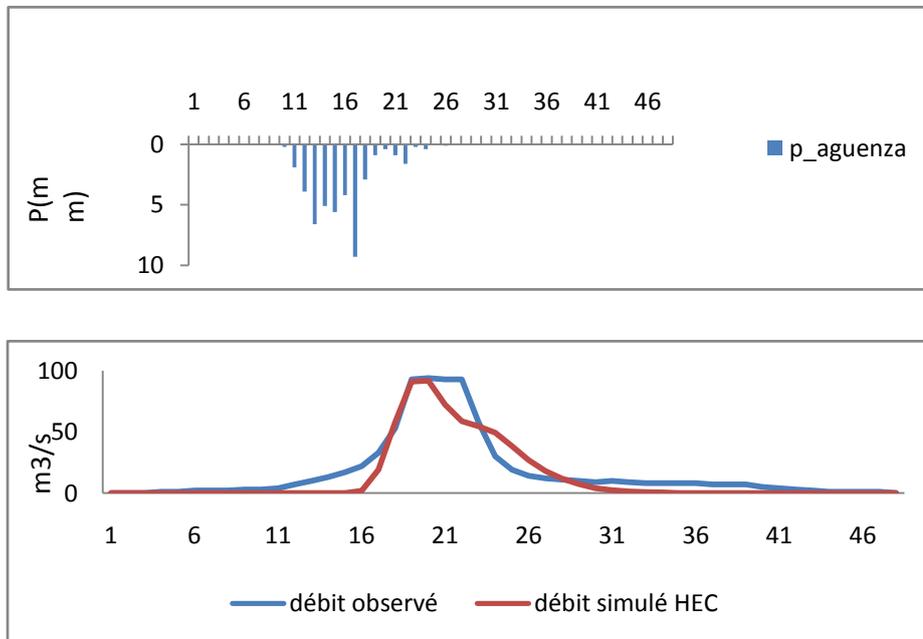


Figure 23 : Hydrogramme des crue d'événement de 2003 dans la station d'Aguenza

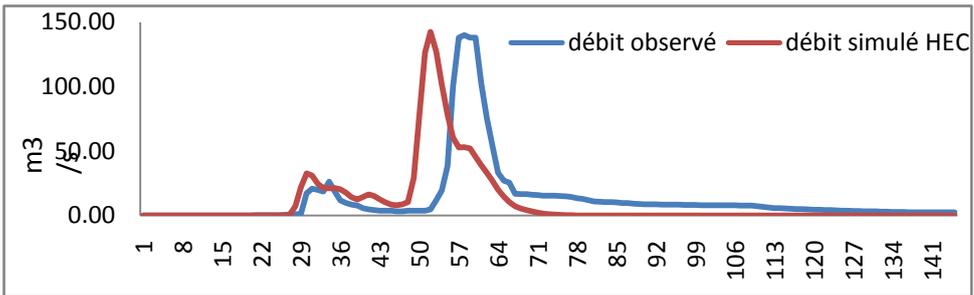
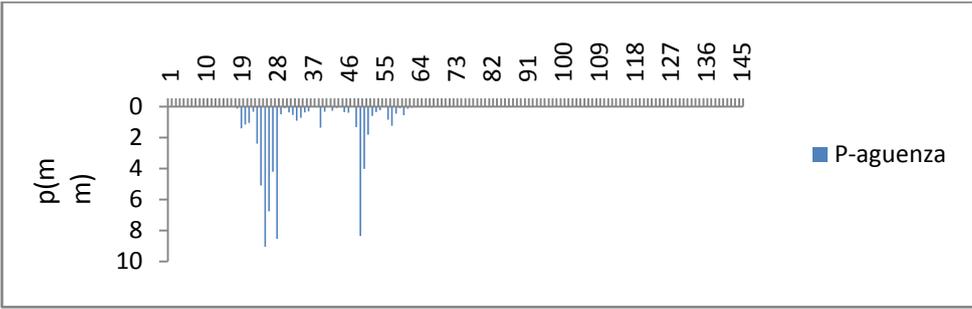
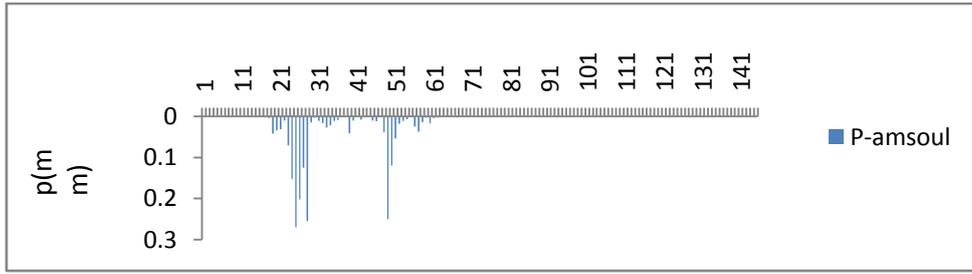


Figure24: Diagrammes des crues du première événement de 2004 dans la station d'Aguenza

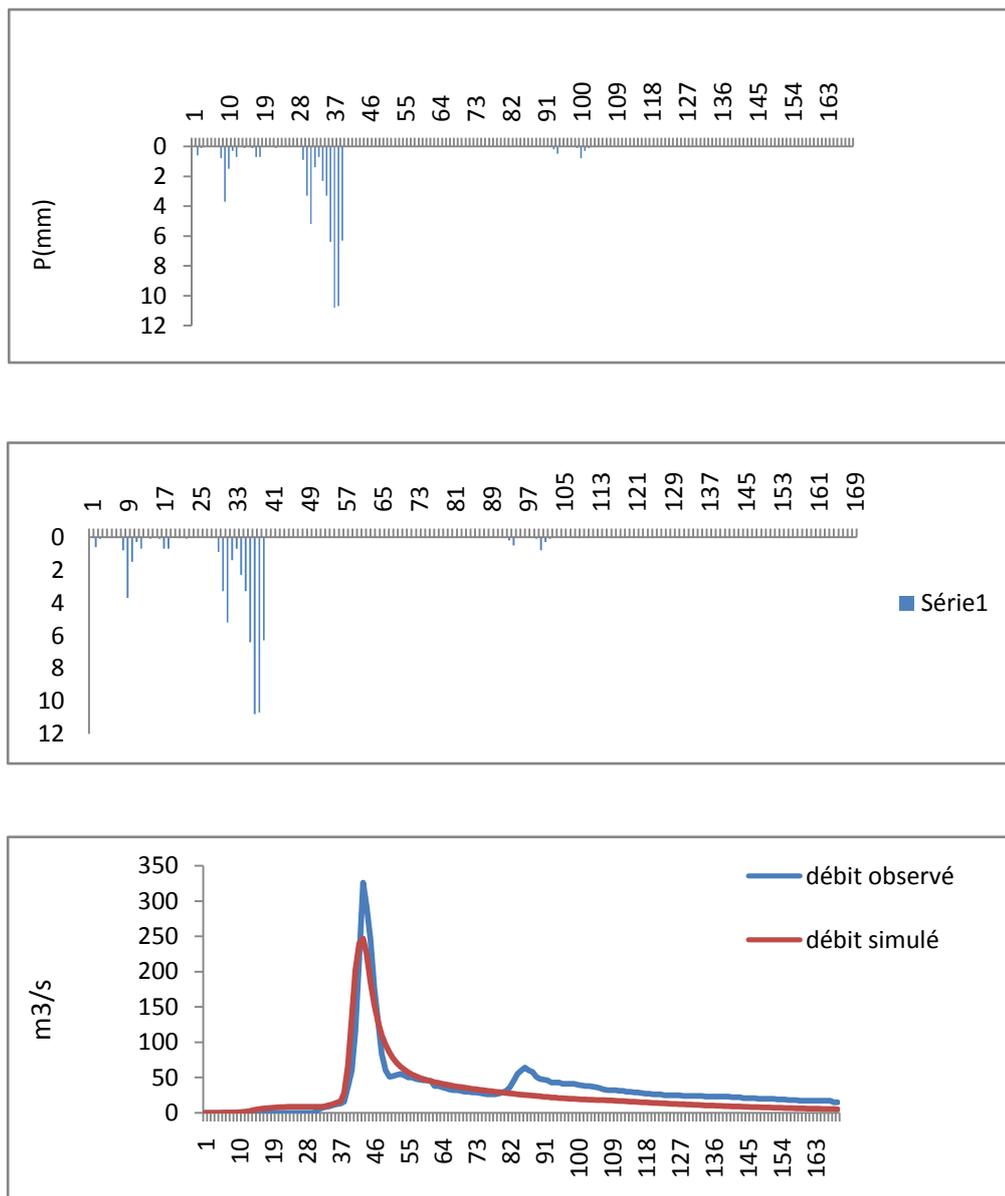


Figure 25 : Hydrogrammes des crue d'événement de 1988 dans la station d'Aguenza

Après calage, l'écoulement modélisé reconstitue bien celui observé pour les 6 événements. La modélisation des petites "oscillation" du débit avant le pic de crue principal est assez médiocre mais le modèle donne de bons résultats sur le pic de crue principal.

La synthèse du calage du modèle sur la base des événements est représentée dans le tableau ci-dessous (Tab.4):

Pour le modèle d'infiltration, le paramètre à analyser est le numéro de courbe (CN), les paramètres du modèle de récession sont fixés par calibration et examen visuel préalable sur

les évènements. Pour le modèle du ruissellement, l'analyse sera faite sur le temps de concentration ( $T_c$ ) et le coefficient de stockage ( $S_t$ ), les paramètres sont calibrés pour reproduire au mieux chaque épisode de crue.

Tableau 4 : Les caractéristiques des événements

Les dates	Curve number	temps de concentration (H)	Storage coefficient (H)	Nash	EAM	EQM
11/12/2000	64	3	3	0.80	0.60	0.882
06/12/1999	80	3	3	0.65	0.49	0.830
10/01/1996	69	3	2	0.86	0.39	0.578
13/12/1995	40	3	5	0.81	0.10	0.57
12/12/1991	95	3	3	0.83	0.40	0.62
12/12/2014	64	3	3	0.74	0.20	0.65

Les paramètres du modèle de récession ne sont pas supposés changer d'un épisode à l'autre car ils sont déterminés par les propriétés physiques du bassin.

Les paramètres de récession introduits sous la plate-forme HEC-HMS:

- Le débit de base ;
- La constante de récession  $R_c$
- Le seuil  $T_d$

La constante de récession est une valeur qui présente le taux de décroissance du débit de base, par exemple une valeur de 0.7 signifie qu'en absence de précipitation, le débit provenant de l'écoulement de base à un instant donné représente 70% de la valeur observée. La moyenne de Nash  $0,78166667 = 78,1666667\%$ .

## Le calage des périodes continue

Les graphiques ci-dessous reprennent les hydrogrammes sortants calculés et observés à la station d'Ageunza et ansoul selon les pluies simulées.

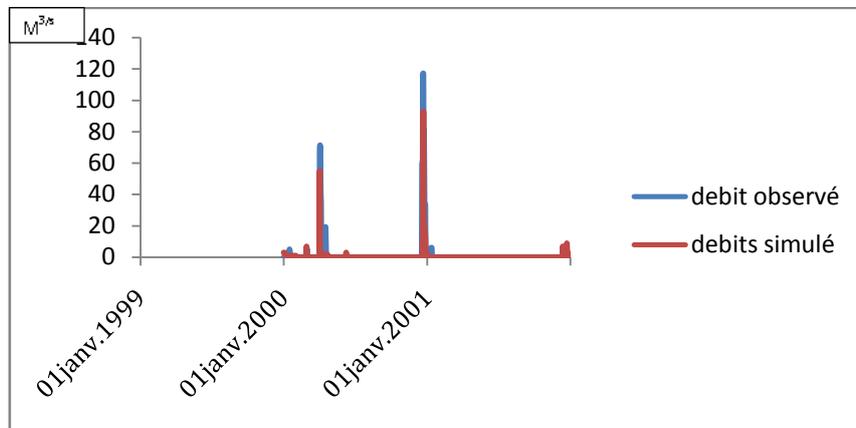


Figure 26 :Hydrogramme de crue de la période 1999 à 2001

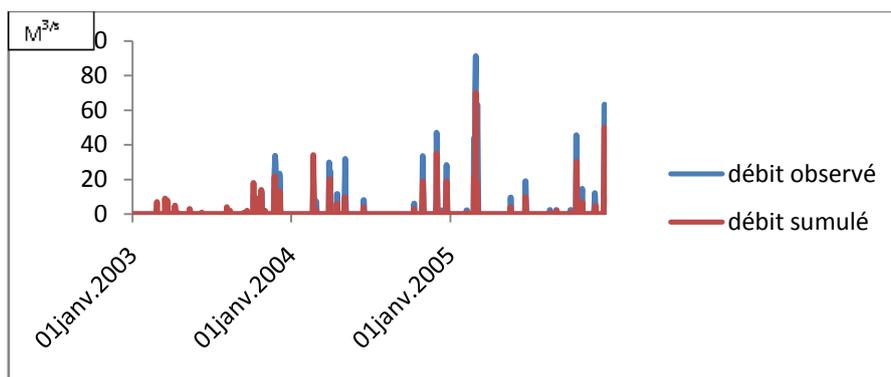


Figure 27: Hydrogramme de crue de la période 2003 à 2005

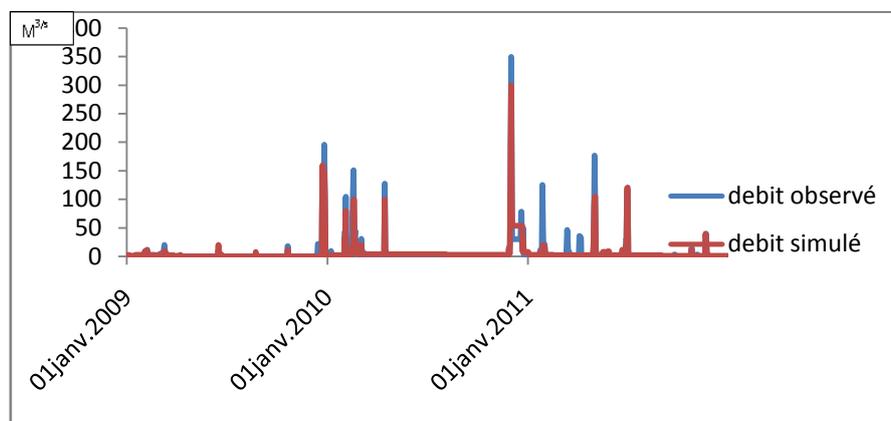


Figure 28 : Hydrogramme de crue de la période 2009 à 20011

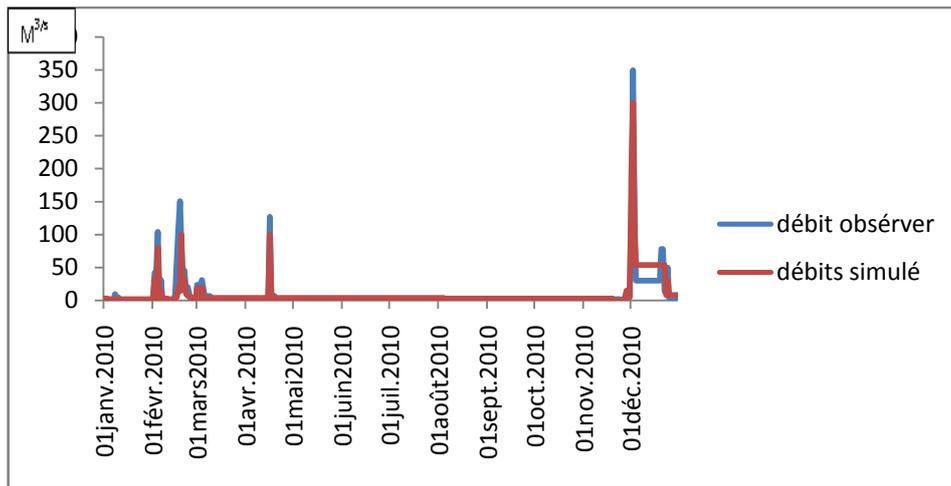


Figure 29 : Hydrogramme de crue de la période 2010

D'après cette station et les témoignages (reconnaissance de terrain), les crues les plus marquantes au droit des zones d'enjeux sont :

Les Crues de la période 1999 à avril 2001 pic 65 M<sup>3</sup>/s : on constate que l'hydrogramme des Débits calculé est plus proches à celle d'observé avec une extrapolation entre les deux. Cette crue a été la moyenne en terme de débit de pointe, est sous estimé par le modèle.

Les périodes d'étiage ne sont bien représentées tout au long de notre période de simulation en raison de l'erreur des données surtout pendant les années 1999 à 2000

### Les crues de la période 2003 à 2005

L'analyse de cette période des crues a montré que au début de cette période, on observe une période d'étiage pendant l'année 2003, dû à la faible précipitation moyenne mensuelle, le débit du point est sous estimé par le modèle. On note aussi un décalage entre le débit calculé et le débit observé d'un mois à l'autre au niveau des pics ayant des valeurs plus grandes.

Les crues 2009 à 2011 (Pic à 290.0 m<sup>3</sup>/s) : Cette crue a été la plus importante en termes de débit de pointe. La période d'étiage est bien représentée tout le long de cette période de simulation.

Tableau 5 : Les caractéristiques des périodes de calage

Les dates	Curve number	temps de concentration(H )	Storage coefficient (H)	Nash	EAM	EQM
1999-2001	63	3	3	0.67	0.10	0.752
2003-2005	72	3	3	0.60	0.59	0.610
2009-2011	69	3	2	0.68	0.29	0.478
2010	65	2	2	0.62	0.39	0.56

## Conclusion

À travers cette étude portant sur l'analyse des graphes sur les caractéristiques de l'événement des crues du bassin versant d'Aguenza, nous pouvons déduire que :

La variation des débits simulé par le modèle HEC-HMS ce caractérisant par une fluctuation pendant les différent périodes de pas horaires pendant la simulation. Dans cette station on observe que les quatre mois de juin, juillet et août reçoivent des précipitations faibles et par conséquences les valeurs des pics sont aussi faibles.

On note que pour les événements des crues pour les périodes continues sur trois ans. Le paramètre à analyser est le numéro de courbe (CN), les paramètres du modèle de récession sont fixés par calibration et examen visuel préalable sur les évènements. Quant au modèle du ruissellement, l'analyse sera faite sur le temps de concentration ( $T_c$ ) et le coefficient de stockage ( $S_t$ ), les paramètres sont calibrés pour reproduire au mieux chaque épisode de crue.

Tableau 6: Valeur du critère d'évaluation du modèle retenu pour la station et d'Aguenza.

Date	Nash
20/01/2010	67,30%

Les résultats de la simulation montrent que par l'ajustement des paramètres pour le numéro de courbe, les paramètres de l'hydrogramme unitaire Clark sont transformés pour chaque événement, et les données d'entrée de précipitations peuvent être utilisées pour adapter la réponse simulée à l'écoulement observé.