

**APPLICATION DU MODELE PLUIE - DEBIT SWMHYMO AU BASSIN  
VERSANT JANNET, TUNISIE.  
LUMPED RAINFALL - RUNOFF MODELLING IN JANNET BASIN,  
TUNISIA.**

**AYADI** Imen, Etudiante chercheur, Faculté des Sciences de Sfax, Route Soukra BP 802, 3018 Sfax, Tunisie, tél : 216 97358695, Fax: 216 74274437, [ayediimen77@yahoo.fr](mailto:ayediimen77@yahoo.fr)

**ABIDA** Habib, Maître de conférences, Faculté des Sciences de Sfax, Route Soukra BP 802, 3018 Sfax, Tunisie, tél : 216 98952472, Fax: 216 74274437, [habib.abida@voila.fr](mailto:habib.abida@voila.fr)

**DJEBBAR** Yassine, Maître de conférences, Centre Universitaire de Souk-Ahras, 1553 Route Zaarouria, Souk-Ahras, 41000, Algérie ; téléphone : 213 61390205, télécopie : 213 37327835, [ydjebbar@yahoo.com](mailto:ydjebbar@yahoo.com)

**Résumé:** Les bassins semi-arides tunisiens, ayant des pluies généralement irrégulières et parfois torrentielles, sont caractérisés par l'absence de réseaux de mesures hydrologiques et notamment hydrométriques. Par conséquent, plusieurs modèles transformant les pluies en débits ont été développés pour simuler les hydrogrammes de crues. Dans ce contexte, cette étude a été élaborée moyennant le modèle hydrologique SWMHYMO (Stormwater Management Hydrological Model), qui s'intéresse à la transformation pluie-débit dans les bassins versants ruraux et urbains, et ce moyennant plusieurs options de calcul de l'hydrogramme unitaire. Des simulations du ruissellement, effectuées sur la base des données pluviométriques correspondantes au bassin versant tunisien semi-aride Jannet, dont la superficie est de 521 ha, ont été réalisées par les sous modèles NASHYD et WILHYD inclus dans SWMHYMO. L'opération de calage a considéré la variation arbitraire des paramètres relatifs aux sous-modèles utilisés jusqu'à la production de l'accord optimum entre hydrogrammes observé et simulé. Les résultats de simulations effectués pour le bassin Jannet ont montré une bonne reproduction des hydrogrammes simulés, comparés à ceux observés, avec des coefficients de corrélation de l'ordre de 0,85 et 0,6 pour NASHYD et WILHYD respectivement.

**Mots clés:** simulation, hydrogramme, calage.

**Abstract:** Discharge hydrographs at the outlet of Jannet Basin (central Tunisia) are simulated using a lumped hydrological model named SWMHYMO (Stormwater Management Hydrological Model). The watershed is a rural watershed of a drainage area of approximately 521 ha characterized by a semi-arid climate. The model first estimates runoff depth based on a modified SCS (Soil Conservation Service) procedure and then estimates discharge using Unit Hydrograph Theory. Two unit hydrographs were considered: (i) Nash Unit Hydrograph based on a cascade of linear reservoirs and (ii) William Unit Hydrograph characterized by a more prolonged recession curve. Simulations were performed using both unit hydrographs for a series of flood events. In general, a reasonably good agreement was achieved between observed and simulated discharge values, especially using Nash unit hydrograph

**Key words:** simulation, hydrograph, calibration.

## **INTRODUCTION**

La conception et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques nécessite l'acquisition en temps réel, de l'information pluviométrique et limnimétrique permettant le suivi instantané de l'évolution de la crue, et par voie de conséquence, l'estimation des diverses variables hydrologiques correspondantes (le niveau de crue, le débit maximal, la forme et le volume de l'hydrogramme, etc...). La simulation des hydrogrammes de crue peut être effectuée moyennant la modélisation mathématique qui a vu son ampleur en tant qu'instrument de synthèse, de prévision et de design. De ce fait, plusieurs modèles conceptuels transformant les pluies en débits ont été développés pour simuler le comportement du système (bassin versant) pour un signal particulier (averse). Les réponses résultant de ces modèles (hydrogrammes de débits) reposent essentiellement sur les caractéristiques physiques du bassin versant et du type d'informations disponibles.

Dans ce cadre, le but de cette étude est la modélisation quantitative de l'écoulement pour le bassin versant Jannet de la dorsale tunisienne. Ceci est par l'application d'un modèle hydrologique de gestion des eaux pluviales intitulé SWMHYMO « Stormwater Management Hydrologic Model », testé et vérifié essentiellement pour le contexte humide de l'Amérique du Nord. On s'est intéressé au premier lieu à l'opération de calage du modèle de façon à déterminer les valeurs de ses paramètres internes pour l'application considérée. Le modèle est ensuite validé moyennant une autre série d'évènements pluvieux, où des critères statistiques ont été adoptés pour vérifier l'accord entre hydrogrammes simulé et observé.

## **PRESENTATION DE LA BANQUE DE DONNEES**

### **Présentation du bassin versant Jannet**

Le bassin versant Jannet se trouve dans la dorsale tunisienne (Fig. 1). Son exutoire constitué par le lac collinaire Jannet a pour coordonnées Lambert: latitude Nord: 35°52'16" et latitude Est: 9°11'35". Les caractéristiques physiques du bassin versant Jannet sont résumées dans le tableau 1.

De l'analyse du tableau 1, il s'avère que le bassin versant Jannet de forme assez allongé, a un relief assez fort. D'où l'importance du ruissellement des eaux pluviales. Quant à l'étage bioclimatique du bassin d'étude, il est semi-aride inférieur à hiver froid avec une moyenne annuelle pluviométrique de 422 mm. Le bassin versant est constitué en majeure partie de sol marneux, à vocation agricole dominée par la céréaliculture et les parcours. Les formations géologiques sont occupées par des glaciis quaternaires constitués d'alluvions, à l'exception de quelques formations calcaires présentant alors une faible perméabilité.

### **Présentation des données utilisées**

Dans le tableau 2 sont classés, les évènements pluvieux de l'ensemble des données dépouillées par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour la période 1995-1998 avec un pas de temps de 5 minutes. Ces évènements qui seront utilisés lors de l'opération de calage et de validation du modèle, sont caractérisés par la valeur de la pluviométrie totale ( $P_{tot}$ ), l'intensité maximale ( $I_{max}$ ), la durée de l'averse

( $D_{av}$ ), le débit maximal observé ( $Q_{max}^{obs}$ ), le temps de pointe observé ( $t_p$ ), la lame ruisselée observée ( $l_r$ ), et le coefficient de ruissellement observé ( $C_r$ ).



**Fig. 1** Présentation du bassin versant Jannet et son réseau hydrographique.

**Tableau 1.** Caractéristiques physiques du bassin versant

Paramètres	Notation	Valeur	Unité
Superficie	A	521	ha
Périmètre	P	12,95	km
Longueur du talweg principal	$L_t$	3,6	km
Indice de compacité	$K_c$	1,59	-
Longueur équivalente	L	5,48	km
Largeur équivalente	l	0,94	km
Altitude maximale	$H_{max}$	1191	m
Altitude minimale	$H_{min}$	820	m
Indice de pente globale	$I_g$	67,7	m/km
Dénivelée	D	371	m
Dénivelée spécifique	$D_s$	154,53	m
Densité de drainage	$D_d$	3,6	Km/Km <sup>2</sup>

**Tableau 2.** Caractéristiques des évènements de calage et de validation

N°	Evènement	$P_{tot}$ (mm)	$I_{max}$ (mm/h)	Durée (h)	$Q_{max}^{obs}$ (m <sup>3</sup> /s)	$t_p$ (h)	$L_r$ (mm)	$C_r$ (%)
1	10-05-96	42	58	5	9,96	1,66	4,6	19
2	17-09-95	20	16	2,25	3,6	0,75	1,6	9
3	08-02-96	32	10,3	3,83	1,24	2,25	5	15
4	19-09-95	15,3	13	5	1,3	1,25	2,1	13,3
5	08-02-96	32	5	2,6	0,92	0,25	4,8	15
6	21-09-97	26,8	15,3	3	3,5	0,66	4,5	15
7	23-12-97	10,5	8,4	7	1,32	1,25	0,9	10
8	16-03-98	25,4	12	4,7	1,58	1,42	1,6	7
9	27-02-98	16,6	36	9	1,2	1,66	1,8	12
10	24-09-98	61,5	45	3,7	158	0,42	20,8	34

De l'analyse du tableau 2, on peut déduire que les évènements choisis aléatoirement ont des caractéristiques très variées. Ils correspondent aussi bien à des petites crues et des grandes crues qu'à des différentes dates.

## PRESENTATION DU MODELE "SWMHYMO"

SWMHYMO (Stormwater Management Hydrological Model) est un modèle hydrologique étudiant la relation pluie-débit dans les zones rurales, et ce moyennant plusieurs options de calcul de l'hydrogramme unitaire (HU). La transformation pluie ruissellement s'effectue moyennant deux composantes principales: la fonction de production qui calcule la lame d'eau ruisselée et la fonction de transfert qui transforme la hauteur de la pluie effective en débit.

### Fonction de production:

L'estimation des pertes initiales est basée sur la méthode S.C.S modifiée (Jaton, 1984) définie comme suit :  $S = P - Q$

Avec: S le stockage d'humidité dans le sol à un instant donné (mm), P la précipitation totale (mm) et Q la pluie nette à un instant donné (mm).

On suppose que:

$S / S' = Q / P$  où :  $Q = P^2 / (P + S')$  où : S' le stockage à saturation (mm).

On définit ainsi le numéro de courbe (Curve Number CN) tel que:

$CN = 25400 / (254 + S')$  ; CN varie de 0 à 100, il est fonction de la nature du sol, de la perméabilité, de la condition antécédente d'humidité et du groupe hydrologique du sol (Miller et al, 1972).

Pour le calcul de l'écoulement superficiel total, le S.C.S suppose une perte initiale  $I_a$  égale à :  $I_a = 0,2 * S'$  (résultat empirique).

### Fonction de transfert:

Le sous – modèle « NASHYD » (NASH HYDrograph)

La fonction de transfert, représentée par l'équation linéaire de vidange d'une série de

réservoirs identiques en cascade (Nash, 1957) :

$$\frac{q}{q_p} = \left[ \frac{t}{t_p} \right]^{n-1} \exp \left[ (1-n) \cdot \left( \frac{t}{t_p} - 1 \right) \right]$$

Où : q est le débit de l'hydrogramme unitaire par unité de surface du bassin versant ( $LT^{-1}$ ), t représente le temps (T),  $q_p$  correspond au temps de pointe de l'hydrogramme unitaire,  $t_p$  est le temps de pointe (T) et n est un coefficient de forme qui correspond au nombre de réservoirs.

Le temps de pointe est proportionnel au temps de concentration ( $t_c$ ) du bassin versant et ce comme le montre la relation suivante :  $t_p = 0,6 \cdot t_c$

Le temps de concentration, quant à lui, peut être calculé moyennant plusieurs formules empiriques qui tiennent compte des caractéristiques physiques et hydrologiques du bassin versant. Dans cette étude, les valeurs des deux paramètres qui caractérisent l'hydrogramme de Nash (n et  $t_p$ ) sont obtenues par calage.

### Le sous – modèle « WILHYD » (WILLiams HYDrograph)

Il s'agit d'un hydrogramme unitaire développé par Williams et Hann (1983) dans le but de simuler le ruissellement dans les grands bassins ruraux ayant de longues périodes de récession. Comparé à l'hydrogramme unitaire de Nash, cet hydrogramme se caractérise par une courbe de récession plus prolongée. Les paramètres qui le caractérisent sont le temps de réponse ( $t_p$ ) et la constante de récession ( $k$ ). Cette dernière dépend de la surface du bassin versant et sa pente moyenne, et peut être obtenue par calage.

## TRAITEMENT DES DONNEES

### Calage du modèle SWMHYMO

Le calage du modèle nécessite, généralement l'utilisation de 1/3 des données disponibles. En effet, pour déterminer les paramètres d'ajustement internes du modèle, on a sélectionné les événements pluvieux 1, 2 et 3 de l'ensemble des données avec un pas de temps de 5 minutes.

La méthode de calage suivie, appelée « Méthode Directe », consiste à donner au début de l'opération de calage des valeurs arbitraires aux paramètres internes influant la forme et le volume de l'hydrogramme de sortie, faire tourner le modèle, comparer les résultats de simulation avec ceux observés, puis, décider du sens de variation de chaque paramètre pour aboutir à des valeurs acceptables.

Cette variation des paramètres se fait en deux étapes :

- ✦ on modifie les paramètres affectant le coefficient de ruissellement ou le volume ruisselé. En effet, la lame ruisselée est fortement liée au numéro de courbe CN et à l'interception initiale  $I_a$  qui caractérisent la fonction de production;
- ✦ on modifie les paramètres en relation avec la forme de l'hydrogramme simulé qui sont le nombre de réservoir  $n$  et le temps de récession  $k$  respectivement pour NASHYD et WILHYD jusqu'à ce qu'on aboutisse à des hydrogrammes observés et simulés comparables. Les valeurs obtenues pour les paramètres de calage sont données au tableau 3.

**Tableau 3.** Valeurs des paramètres de calage

Evènement	Commande	$t_p$ (h)	CN	$I_a$ (mm)	$n$	$k$ (h)
1	NASHYD	0,25	81	0,8	4,5	***
	WILHYD	0,25	83	0,8	***	0,2
2	NASHYD	0,1	70	1	3	***
	WILHYD	0,1	90	1	***	0
3	NASHYD	0,7	81	0,8	3,8	***
	WILHYD	0,65	80	1,5	***	0,3
Moyenne	NASHYD	0,35	77	0,86	3,76	***
	WILHYD	0,33	84	1,1	***	0,33

Le sol du bassin Jannet est formé en majeure partie de marnes (mélange argile + grés). Un tel sol a tendance à favoriser un ruissellement rapide et une intensité d'infiltration assez faibles, c'est ce qui explique les grandes valeurs obtenues pour le numéro de courbe (CN). Il est à noter que les valeurs du nombre de réservoirs obtenues

(comprise entre 3 et 4,5) sont considérées acceptables pour un climat semi-aride comme celui du bassin versant Jannet, et comparables à ceux obtenues pour les régions humides canadiennes (Bergaoui, 1999).

Les débits de pointe, les temps de pointe ainsi que les coefficients de ruissellement observés et simulés obtenus par opération de calage de NASHYD et WILHYD sont donnés dans le tableau 4. De ce dernier ressort que les erreurs relatives entre les valeurs observées et simulées des débits de pointe d'une part, et des coefficients de ruissellement, d'autre part sont inférieures à 20% (critère de condition du calage), ce qui signifie que les sous modèles NASHYD et WILHYD s'adapte bien aux données (climatologiques, hydrologiques, pédologiques..) de la zone d'étude.

**Tableau 4.** Résultats de calage de NASHYD et WILHYD

		Valeurs observées			Valeurs simulées			Erreurs	
		Q <sub>obs</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>r</sub> (%)	t <sub>p</sub> (min)	Q <sub>sim</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>r</sub> (%)	t <sub>p</sub> (min)	E(Q) %	E(C <sub>r</sub> ) %
NASHYD	1	9,96	19	100	9,58	17	100	0,2	10,5
	2	3,6	9	45	3,58	8	45	0,55	11,1
	3	1,24	15	135	1,22	13	135	1,6	13,3
WILHYD	1	9,96	19	100	8,97	22	100	10,3	15,7
	2	3,6	9	45	3,29	11	45	8,6	22,2
	3	1,24	15	135	1,17	18	135	5,6	20

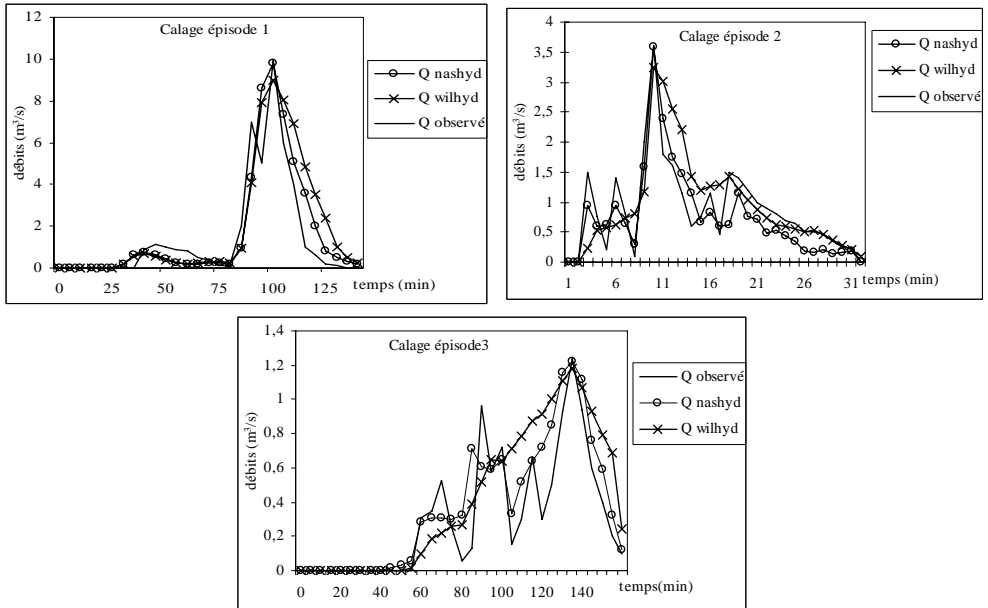
Les résultats de calage montrent que pour un temps de pointe simulé égal au temps de pointe observé, NASHYD et WILHYD génèrent des débits de pointe qui sont sous-estimés par rapport à ceux observés. Quant aux coefficients de ruissellement simulés ils sont sous-estimés pour NASHYD et surestimés pour WILHYD. Toutefois, comparant à l'hydrogramme généré par WILHYD, la figure 2 montre que l'hydrogramme simulé par NASHYD s'accorde mieux avec l'hydrogramme observé.

### Validation de NASHYD et WILHYD

La validation est une opération indispensable dans le processus d'élaboration du modèle. Elle doit être basée sur des événements différents de ceux utilisés lors du calage. Pour ce faire, les épisodes pluvieuses 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 ont été réservées pour l'opération de test de NASHYD et WILHYD.

La méthodologie de validation a été appliquée en utilisant la moyenne des paramètres ayant servi pour le calage. Les valeurs observées et simulées du débit de pointe, coefficient de ruissellement et temps de réponse sont présentées au tableau 5.

Généralement, l'accord entre les valeurs observées et simulées est acceptable toutefois, les deux sous modèles ont tendance à surestimer les débits de pointe. Quant aux coefficients de ruissellement, ils sont légèrement surestimés par WILHYD et sous-estimés moyennant NASHYD.



**Fig. 2.** Hydrogrammes observés et simulés obtenus par le calage de NASHYD et WILHYD

**Tableau 5.** Résultats de validation de NASHYD et WILHYD

	Valeurs observées			Valeurs simulées NASHYD			Valeurs simulées WILHYD		
	$Q_{obs}$ $m^3/s$	$C_r$ %	$t_p$ h	$Q_{sim}$ $m^3/s$	$C_r$ (%)	$t_p$ (h)	$Q_{sim}$ $(m^3/s)$	$C_r$ (%)	$t_p$ (h)
4	1,3	13,3	1,25	1,21	8	1,25	1,63	15	1,25
5	0,92	15	0,25	0,77	10	0,66	0,88	17	0,66
6	3,5	15	0,66	2,78	13	1	2,53	18	1,08
7	1,32	10	1,25	2,04	9	2,25	2,4	12	2,25
8	1,58	7	1,42	1,35	9	1,58	1,57	14	1,5
9	1,2	12	1,66	1,19	8	1,58	1,38	13	1,5
10	158	34	0,42	113	32	0,66	97	41	0,58

La figure 3 montre la comparaison entre hydrogrammes observés et simulés par les deux sous modèles NASHYD et WILHYD. Contrairement aux hydrogrammes simulés par WILHYD caractérisés par une forme uni-modale, ceux simulés par NASHYD ont tendance à mieux suivre l'allure de l'hydrogramme observé. Donc les hydrogrammes simulés par NASHYD s'accordent mieux avec les hydrogrammes observés. Ceci peut être expliqué par le fait que WILHYD est généralement valable pour la simulation des hydrogrammes à partir des grands bassins versants ayant de longues périodes de récession.

Ainsi, la simulation de la relation pluie-débit pour le bassin versant Jannet montre que l'application de la routine NASHYD est plus appropriée que celle de WILHYD. Pour mieux juger cette pertinence, le recours à l'analyse statistique est indispensable. Les coefficients de corrélation entre hydrogrammes observés et simulés sont présentés au tableau 6.

**Tableau 6.** Résultats de l'analyse statistique

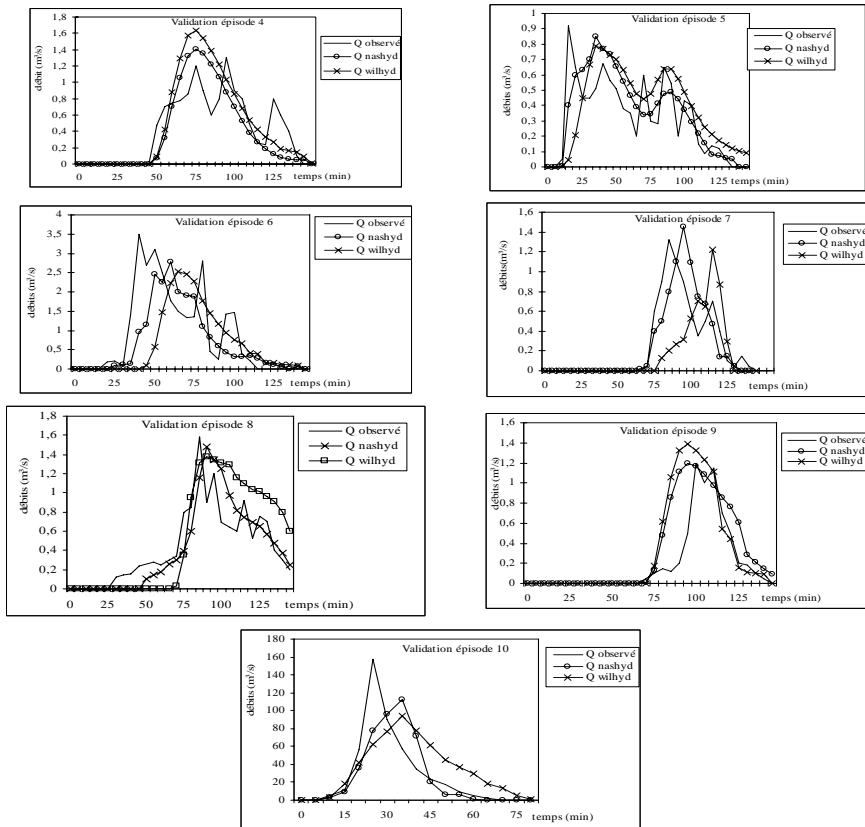
Evènement	4	5	6	7	8	9	10
C <sub>or</sub> WILHYD	0,78	0,57	0,50	0,61	0,79	0,78	0,62
C <sub>or</sub> NASHYD	0,91	0,86	0,85	0,88	0,93	0,80	0,84

Une meilleure corrélation est obtenue avec NASHYD, où les coefficients de corrélation sont beaucoup plus proches de l'unité.

## CONCLUSION

La simulation du modèle SWMHYMO a été effectuée pour le bassin versant Jannet ayant 5,21km<sup>2</sup> de superficie, de forme assez allongée et un relief assez fort. Les résultats des opérations de calage et de validation du modèle SWMHYMO font ressortir que:

- le modèle SWIMHYMO est sensible aux variations de CN et I<sub>a</sub> qui caractérisent la fonction de production,
- les valeurs calées des paramètres internes du modèle expliquent les effets de plusieurs facteurs (tels que le climat, l'intensité de pluie, le couvert végétal..) sur la forme de l'hydrogramme de crue,
- la validation du modèle a montré que WILHYD n'est pas sensible aux formes des crues et présente toujours une forme uni-modale,
- les simulations NASHYD effectuées pour le bassin Jannet prouvent que ce modèle est valable pour les petits bassins versants. La comparaison avec hydrogrammes observés a donné des coefficients de corrélation supérieurs à 0,8 pour WILHYD.



**Fig. 3.** Hydrogrammes observés et simulés obtenus par la validation de NASHYD et WILHYD

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jaton, J.F., 1984 Linéarité et non linéarité des réponses des bassins versants: Comparaison entre OTTHYMO et VHU, Ottawa.
- Bergaoui, M., Mahjoub, M.R., Raboudi, L., Nouri, I., 1999 Calage et test du modèle hydrologique OTTHYMO: application à un bassin versant tunisien (Beni Atta), Revue de l'INAT, Vol. 6, N°2.
- Miller et al, 1972 Runoff volumes for small urban areas, Water Resources Research, Vol. 8.
- Nash, J.E., 1957 The form of the instantaneous unit hydrograph, IASH, Publication n°45, Vol. 3-4.
- Sabourin, J.F. and Associates Inc, 2000 SWMHYMO Storm water management hydrological model, User's manual, May 2000, Water Resources and Environmental Consultants, Ottawa, Canada, 145 p.
- Williams, J.R, Hann, 1973 HYMO flood routing, Journal of hydrology, Vol. 26.