

IMPACT DES ACTIONS ANTHROPIQUES SUR LE BILAN HYDROLOGIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA TASSAOUT (AMONT DU BARRAGE MOULAY YOUSSEF) : MODÈLE HYDROLOGIQUE ORCHY II (1986-2010) (MAROC)

IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIONS ON THE HYDROLOGICAL BALANCE IN THE TASSAOUT WATERSHED (UPSTREAM OF THE MOULAY YOUSSEF DAM): HYDROLOGICAL MODEL ORCHY II (1986-2010) (MOROCCO)

M. EL FOUL*, M. EL GHACHI

Laboratoire Dynamique des Paysages et Patrimoine, Département de Géographie, Université Sultan Moulay Slimane, FLSH de Béni Mellal, Maroc.

**Corresponding author E-mail: Elfoulmohamed1981@gmail.com*

Reçu : 17 Décembre 2017, Accepté : 23 janvier 2018, En ligne : 7 Avril 2018

RESUME

Le bassin versant de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), appartenant à un contexte climatique semi-aride, caractérisé par une faible précipitation est situé au centre du Maroc. En plus de la rareté de l'eau et de son inégale répartition, due à l'effet des changements climatiques observé à l'échelle planétaire, la région est soumise à une demande croissante en eau. Pour accompagner cette situation préoccupante, une gestion durable des ressources en eaux s'impose et exige la mise au point d'un plan d'exploitation et une bonne gouvernance. Cette contribution a pour but de quantifier le bilan hydrologique à l'échelle mensuelle au niveau des stations hydrométriques de Tamsemt et Ait Tamliil, cette quantification prend en compte le facteur anthropique afin de quantifier les prélèvements d'eau d'irrigation, en adoptant le modèle hydrologique Orchy II qui prend en compte les variables les plus importantes, qui pourraient influencer le fonctionnement hydrologique du bassin, et qui sont la précipitation, l'évapotranspiration, le débit et surtout l'impact anthropique. On note que l'ensemble de ces données sont mesurés. Le modèle a prouvé son efficacité dans l'analyse des éléments du bilan hydrologique et également de mettre en évidence l'impact anthropique sur le fonctionnement

hydrologique du bassin, où les prélèvements d'eau représentent 14% du module annuel.

Mots clés : Bassin versant de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), Modèle hydrologique, Bilan hydrologique, Impact anthropique.

SUMMARY

The Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef dam) is located in the center of Morocco. It belongs to a semi-arid climatic context that is characterized by an unreliable rainfall. The region is subject to an increasing demand for water despite its scarcity and its unequal distribution due to the climate change effect observed on a global scale. In response to this worrying situation, sustainable management of water resources is mandatory and requires the development of an operational plan and good management. The purpose of this contribution is a monthly quantification of the hydrological balance at the hydrometric stations of Tamsemt and Ait Tamliil. This latter takes into account the anthropogenic factor in order to quantify the irrigation water abstraction by adopting the Hydrological model Orchy II which considers the most important variables that could influence the hydrological functioning of the basin, namely precipitation, evapotranspiration, flow and above all anthropogenic impact. It should be noted that all

these data are measured. The model has proven its effectiveness in term of the analysis of the elements of the hydrological balance sheet and also in showing the anthropic impact on the hydrological functioning of the basin, where water withdrawals represent 14% of the annual module.

Key words: Tassaout watershed (upstream of the dam Moulay Youssef), Hydrological model, Hydrological balance, Anthropogenic impact.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre des besoins croissants des ressources en eau dans un domaine caractérisé par un climat semi-aride, et compte tenu du développement important que notre pays a connu dans le domaine de la gestion des ressources en eau, nous espérons à travers cet article contribuer effectivement à réaliser un bilan hydrologique grâce à l'étude de la relation entre la pluviométrie et le débit, et essayer d'envisager toutes les variables naturelles et humaines. Le bassin nous donne un exemple édifiant pour l'étude du fonctionnement hydrologique, à partir d'une étude hydro-climatique du bassin, et d'une élaboration d'un bilan hydrologique basé sur la quantification de trois paramètres climatiques clés : précipitation, écoulement et évapotranspiration.

L'étude de l'écoulement est, principalement, associée à la question des facteurs climatiques et anthropiques du bassin versant, qui engendrent des changements complexes dans le temps et l'espace. Pour cela, nous essaierons d'aborder le thème dans un contexte géographique.

Le présent travail est une contribution à l'élaboration d'un bilan hydrologique du bassin versant, basée sur la quantification des ressources en eau, à l'aide du modèle hydrologique Orchy II, qui présente un système complexe permettant d'approcher le fonctionnement du cycle de l'eau sur le bassin, à partir des variables climatiques (P, Q et ETP) (El Ghachi, 2014), et de prendre en compte l'impact anthropique sur les ressources en eau, et d'identifier des procédés de son exploitation dans le bassin.

Le modèle Orchy II, comme tous les autres modèles, permet une interprétation de la réalité dans un cadre conceptuel reposant sur des simplifications, des approximations de la réalité. D'autre part le lien entre le modèle et le monde réel repose sur les données qui caractérisent ce dernier (Perrin, 2000). Notre choix s'est porté ce modèle conceptuel à réservoirs, car il répond à nos préoccupations de représentation du cycle hydrologique parce qu'il intègre les facteurs complexes en essayant de décrire le concept physique du comportement du système par une représentation plus simple bien que réducteur, il a l'avantage d'introduire une référence physique (Makhlouf, 1994).

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) s'étend sur une superficie de 1307 Km². Il appartient à la chaîne montagneuse du Haut-Atlas Central, située au Sud-Est du bassin d'Oum Er-Rbia. Il se caractérise par une variation des altitudes allant de 920 m jusqu'à 3978 m avec une forte pente de 21,5 %, une faible étendue de la végétation qui représente 24% de la surface globale du bassin et qui occupe majoritairement son aval, et un substratum géologique essentiellement de grès et de calcaire perméable (El Khalki, 1990), qui appartiennent à la série sédimentaire du Trias et du Lias en amont du bassin, et de schiste, argile, dolomie, imperméable, qui appartiennent à la série sédimentaire du Trias en aval du bassin (Couvreur, 1988).

La zone d'étude est riche en formations calcaires karstiques révélées à travers les sources dispersées, qui jouent un rôle important dans la région en alimentant le cours d'eau et la population en eau potable et d'irrigation. Le bassin versant dispose d'un réseau hydrographique moins dense avec une densité de drainage ($Dd = 4,2 \text{ Km}^2/\text{Km}$) (Strahler, 1957), la rive droite se caractérise par des affluents assez courts et moins nombreux, souvent temporaires, les affluents les plus importants se trouvent en rive gauche.

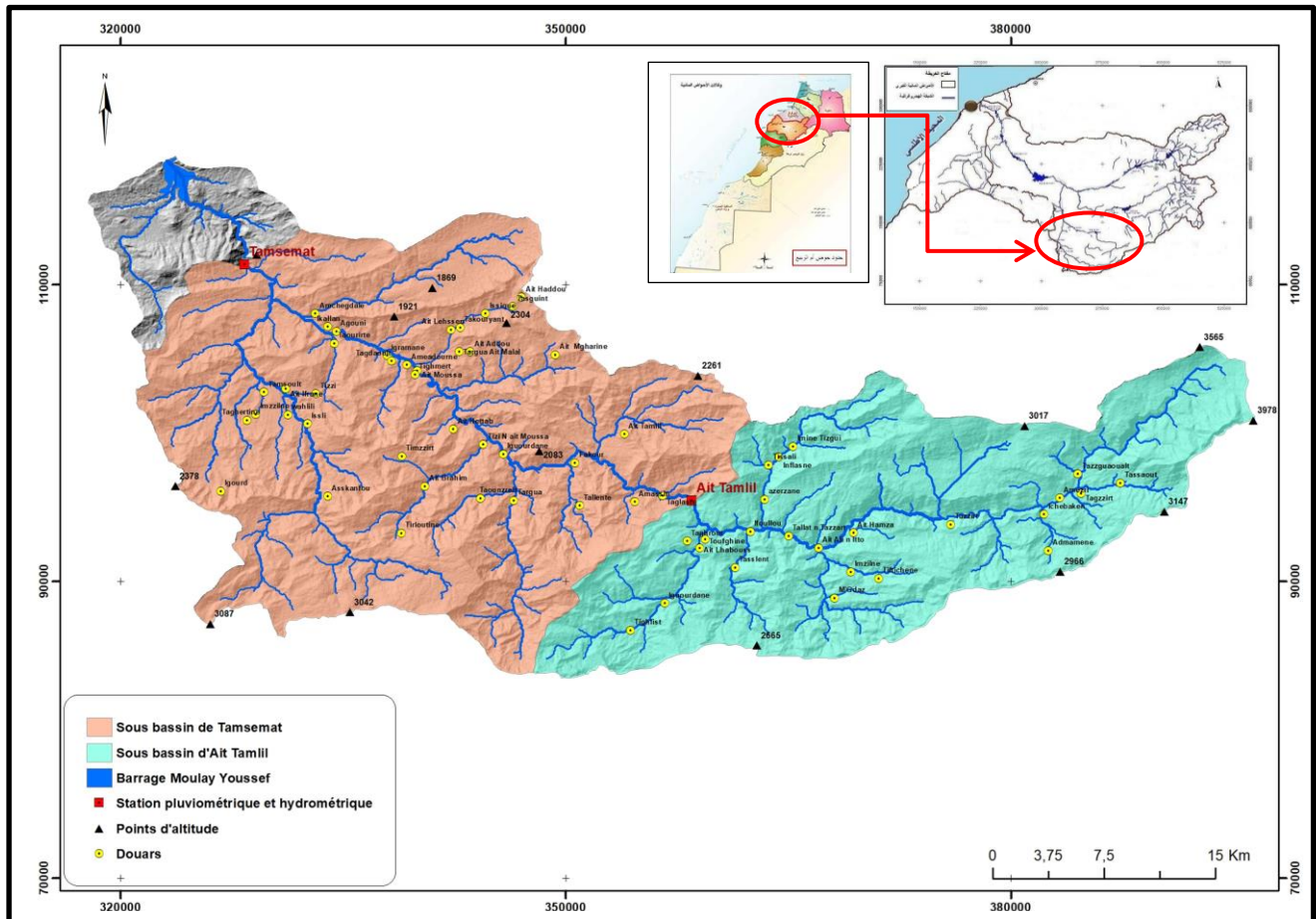


Fig. 1. Localisation du bassin - versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef).

Fig. 1. Location of the Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef Dam).

2.1. Contexte et enjeux

2.1.1. Contexte climatique de la zone d'étude

Le climat du Maroc est du type méditerranéen à influence océanique. Dans le bassin de L'Oum Er Rbia, cette influence se manifeste par le fait que les vents pluvieux sont de secteur Ouest et que la hauteur pluviométrique annuelle décroît quand on s'éloigne de la mer (ABHOER, 1972). Dans le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) le climat devient aussi plus continental, avec des températures maximales d'été très élevées et des températures minimales inférieures à celles qu'on enregistre sur le littoral. L'influence de l'altitude devient prépondérante et la pluviométrie croît à nouveau du pied aux sommets de l'Atlas (ABHOER, 1972).

La zone d'étude est équipée par deux stations pluviométriques et deux stations hydrométriques, équipées par une échelle limnimétrique et un limnigraphe. Ait Tamili à l'amont du bassin et

Tamsemt à l'aval du bassin, qui sont installées sur le cours d'eau de la Tassaout, et qui sont gérées par l'Agence du Bassin Hydraulique Oum Er-Rbia. Une seule station thermique située à l'extérieur du bassin, Ait Segmine.

2.1.2. Enjeux et défis dans le bassin

Toutefois, les difficultés rencontrées pour une meilleure gestion des ressources en eau sont cruciales, au vu des changements climatiques que le monde a connu en général, et les zones arides et semi arides en particulier, puisque le bilan hydrologique peut être influencé par des facteurs naturels et humains.

Le bassin versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) a connu des aménagements Hydro-agricoles importants, donnant lieu à une expansion massive des activités agricoles irriguées. L'intervention humaine a eu un impact remarquable sur le fonctionnement

hydrologique du cours d'eau, et par conséquent sur le remplissage du Barrage Moulay Youssef.

Ainsi, les activités anthropiques sont des enjeux globaux majeurs :

- L'action anthropique (aménagement des cours d'eau, prélèvements, etc.) modifie les paramètres de ce cycle et induit des changements quantitatifs de l'écoulement ;
- Ces dégradations quantitatives ont un impact sur les ressources en eau et sur leur disponibilité.

Face à la problématique de la pénurie d'eau, particulièrement en raison des changements climatiques et de l'accroissement de la demande en eau, la gestion efficiente et rationnelle des ressources de cette matière vitale reste le seul moyen pour échapper à cette situation critique.

3. METHODOLOGIE ET DONNEES

Pour étudier l'impact des facteurs anthropiques et du changement climatique sur le bilan hydrologique, il était nécessaire de mettre en évidence et de comprendre plus le bassin versant, à travers une étude du fonctionnement hydrologique, en analysant la relation humaine-ressources en eau au bassin (Mouhdi, 1993). Dans ce contexte, nous avons mis l'accent sur l'étude des ressources en eau disponibles dans le bassin, à partir d'une méthodologie statistique et analytique des données disponibles sur le bassin (Précipitation, débit, évapotranspiration, etc.). Dans une deuxième étape notre travail consiste à l'estimation des prélèvements dans divers usages,

afin de déduire l'impact de la gestion actuelle des ressources en eau dans le bassin sur le bilan hydrologique et mettre en évidence les déficits ou les excédents d'eau. Et finalement, on va analyser le bilan hydrologique en adoptant un modèle hydrologique.

3.1. Représentation et application du Modèle Orchy II

Plusieurs modèles ont été essayés pour modéliser le bilan hydrologique (modèle générale du bilan hydrologique, modèle génie rural GR2M), mais dans cette contribution nous avons choisi le modèle Orchy II, c'est un modèle global conceptuel assez simple de représentation du fonctionnement du cycle de l'eau sur un bassin, à partir des variables climatiques (P, Q et ETP). Le modèle recourt à trois réservoirs et 4 paramètres d'optimisation (Gille et Lang, 2004). Le modèle utilisé est celui de Thorntwaite additionné à une finition de (Gille, 1985). Grâce à l'informatique, on a pu établir les différents termes du bilan hydrologique dans un programme réalisé sur Excel. Il présente un système complexe qui permet d'approcher le fonctionnement du cycle de l'eau sur le bassin, à partir des variables climatiques (P, Q et ETP). Le modèle caractérisé, aussi, par la possibilité d'intégrer l'influence anthropique sur le débit.

La structure de ce modèle peut être décomposée en deux éléments importants qui sont les entrées et les sorties du modèle (Figure n2). Il est clair que le modèle met en relation les précipitations, l'évaporation potentielle (ETP), les variations de la réserve du sol (DR) et la quantité d'eau prélevée.

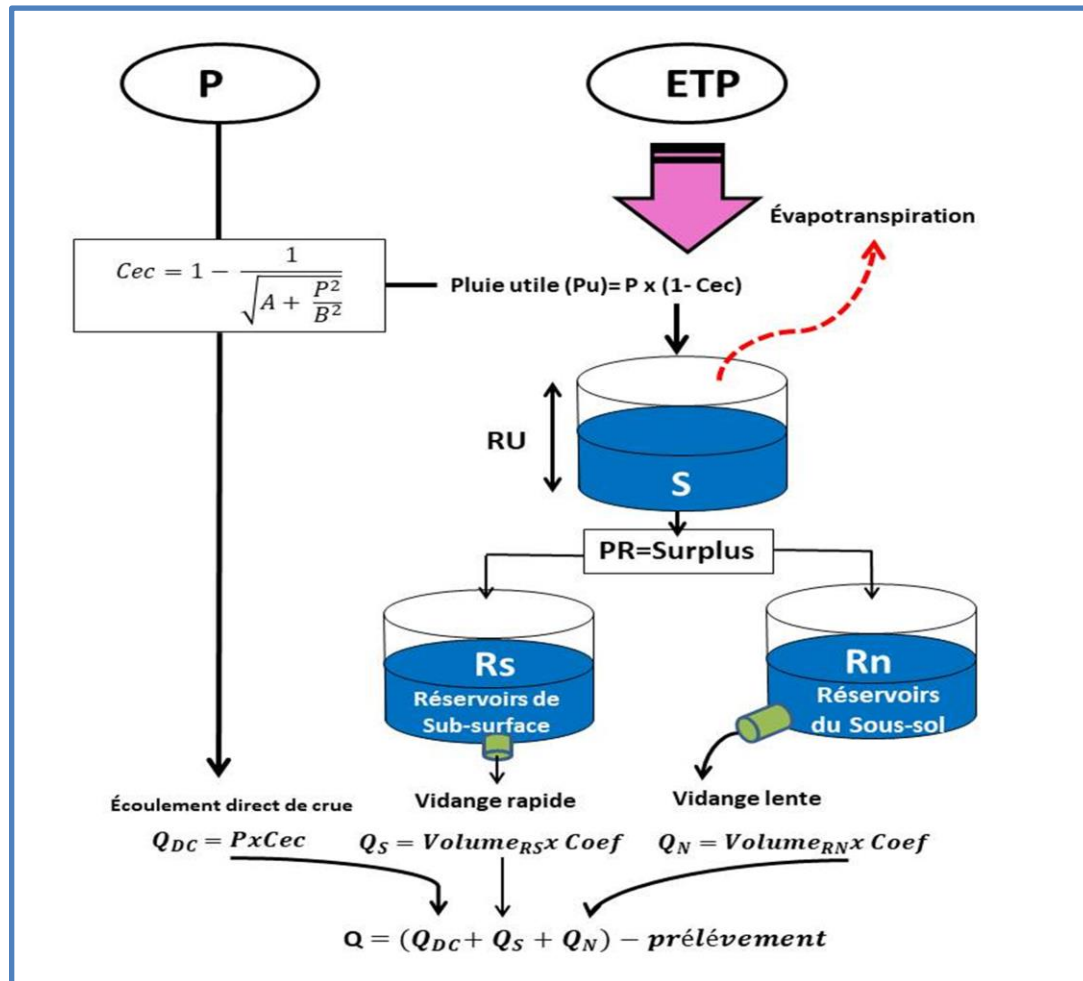


Fig. 2. Architecture du modèle hydrologique Orchy II dans le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef).

Fig. 2. Architecture of the Orchy II hydrological model in the Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef dam).

A partir de ce schéma, va suivre un essai d'explication des éléments les plus importants dans le modèle. Le premier étage du modèle assure la fonction de production, c'est-à-dire la conversion de la pluie brute en pluie nette. Cette fonction cherche donc à représenter l'interaction des précipitations avec le sol pour fixer la part des pluies qui ruisselle directement de celle qui s'infiltre dans le sol (Qadem, 2015). La fonction de production est assurée par une équation d'ERC (Écoulement Rapide de Crue) issue de la formulation de Turc. $Q_c = 1 - \frac{1}{\sqrt{A + \frac{P^2}{B^2}}}$

Les valeurs de A et de B peuvent être ajustées en fonction des saisons.

La fonction de transfert, permettant de générer l'hydrogramme de crue à partir des précipitations nettes, est assurée par 3 réservoirs en cascade dont le premier sert à une représentation du bilan hydrique. Il s'agit d'un « réservoir sol » caractérisé par sa réserve utile (Ru) maximale. La variation de la réserve utile est assurée par une approche agro-climatique du bilan hydrique. Cette approche se décompose en trois phases (Riou, 1975) :

- Phase 1 : $P < ETP$ alors $ETR = P - ERC$, toute la pluie est utilisée par l'évapotranspiration, la pluie est le facteur limitant.
- Phase 2 : $P > ETP$ alors $ETR_{max} = ETP$, c'est l'énergie fournie par le climat qui est le facteur limitant.

- Phase 3 : $P < ETP$ alors ETR obéit à la loi qui traduit l'effort croissant pour extraire l'eau de la réserve du sol au fur et à mesure que celle-ci s'assèche.
- $ETR/ETP = \exp[(-1/RU) \{ETP \cdot dt\}]$

Avec R_u la réserve en eau du sol.

Dans ce cas, c'est la réserve en eau du sol qui est le facteur limitant.

3.2. Les entrées du modèle Orchy II

Les données nécessaires pour le fonctionnement du modèle sont les précipitations mensuelles reçues par le bassin, le débit mensuel à l'exutoire ainsi que l'évapotranspiration mensuelle moyenne. La reconstitution de cette base de données a nécessité un traitement de données préalable (Alley, 1985). La période d'étude utilisée est 1986-2010.

3.2.1. Précipitations

Les données pluviométriques nécessaires au fonctionnement du modèle sont les apports mensuels en précipitations de l'ensemble du bassin, de 1986 à 2010. Les données manquantes dans les séries ont été complétées par la méthode des corrélations (Dubreuil, 1974), elle consiste à vérifier des chroniques de précipitations classiques par corrélations poste par poste et mois par mois. Les apports en précipitations ont été estimés à partir des données pluviométriques enregistrées au niveau des deux stations climatiques réparties sur le bassin versant par la méthode de Gradient pluviométrique (Boudhar, 2009). Le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) a été subdivisé en deux sous bassins, le sous bassin versant d'Ait Tamllil et le sous bassin versant de Tamsemtat présentant chacun une superficie particulière et des caractéristiques naturelles et anthropiques propres.

3.2.2. Évapotranspiration

L'ETP représente la quantité totale d'eau évaporée. Ce terme regroupe l'évapotranspiration physique (du sol, de la surface d'eau, etc.) et la transpiration des végétaux. L'évapotranspiration est un facteur jouant un rôle essentiel dans les modèles de bilan hydrologique des bassins versants. Dans ces modèles, on a généralement recours à une formulation mathématique pour

estimer ce facteur, en connaissant l'évolution de certains paramètres caractérisant le climat du bassin.

La formule qui a fait l'objet de cette étude est celle de (Thornthwaite et Mather, 1957), basée sur les données des températures provenant de la station d'Ait Segmine en dehors du bassin au Nord.

ETP : évaporation mensuelle en mm ;

t : températures moyennes mensuelles ;

I : indice thermique annuel qui est la somme des douze valeurs mensuelles de i ;

K : Coefficient de correction qui est fonction de la latitude du lieu.

Ainsi

$$a = 0.016 * I + 0.5 ;$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad \text{avec} \quad i = (0.2T^{\circ}C)^{1.514}$$

Les données d'évapotranspiration ont également fait l'objet de spatialisation en se basant sur l'équation du gradient thermique (chronique de 1986 à 2013).

3.2.3. Débit

Les données du débit dont nous avons pu disposer sont celles mesurées à l'exutoire du bassin au niveau de la station hydrométrique de Tamsemtat, et de sous bassin Ait Tamllil au niveau de la station hydrométrique de Ait Tamllil sur la période commune 1986-2010.

3.2.4. Prélèvement d'eau

Le bassin versant se caractérise par une dynamique humaine très importante, et par des activités agricoles traditionnelles. Dans cette étude on s'est appuyé sur l'étude des activités agricoles irriguées, qui nécessitent des quantités importantes d'eau. On a donc travaillé sur une évaluation globale des ressources en eau, qui sont prélevées directement des cours d'eau ou des sources et des émergences, en utilisant le système des Seguias, à partir d'un inventaire et un travail cartographique, et en se basant sur les données gérées par la Direction Provinciale d'Agriculture d'Azilal (DPAA), suivie d'une étude sur le terrain

pour estimer les débits des Seguias afin de déterminer la quantité d'eau prélevée.



Fig. 3. Aménagement hydro-agricole dans le bassin de la Tassaout (amont du barrage My Youssef).

Fig. 3. Hydro-agricultural planning in the Tassaout watershed (upstream of the My Youssef dam).

La longueur des Seguias, à travers lesquelles se distribue l'eau sur les espaces agricoles irrigués sur une superficie totale de 4649 hectares, est de 186 kilomètres (DPAA, 2014). Les tours d'eau d'irrigation sont comprises entre 7 jours et 15 jours, et varient d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre.

L'objectif principal de cet inventaire est d'estimer la quantité d'eau prélevé, afin de comprendre l'impact anthropique sur le fonctionnement hydrologique. Le tableau suivant résume l'estimation du volume annuel d'eau prélevé.

Tableau 1. Estimation du volume d'eau prélevé au niveau annuel.

Table 1. Estimated volume of water withdrawn at annual level.

Type de seguia	Débit (l/s)	Volume du prélèvement (m ³ /année)	Somme (m ³ /année)
Seguia pérenne	1070	33743520	52371360
Seguia temporaire	880	18627840	

Le débit du prélèvement s'échelonne entre 30 et 180 l/s, ce volume d'eau doit être pris en compte dans le bilan hydrologique du bassin.

3.3. Les paramètres de calage du modèle Orchy II

Afin de faire tourner le modèle hydrologique, il a fallu caler d'autres paramètres dont le coefficient d'écoulement de crue, le coefficient de tarissement et le réservoir du sol.

- Le coefficient mensuel d'écoulement rapide de crue, estimé en fonction des précipitations.

- Le réservoir du sol, aux alentours de 50 mm, ce qui est la valeur généralement retenue pour le bassin versant de la Tassaout.
- La proportion de l'écoulement différé au mois suivant pour le réservoir à vidange rapide (représentant les écoulements de subsurface, les nappes perchées, le ressuyage des terrains), avec, le cas échéant, un coefficient mensuel de vidange rapide.
- Le coefficient mensuel de tarissement du réservoir à vidange lente (représentant les nappes).

Toutefois, ce calage reste une opération relativement délicate dans la mesure où, d'une part, ces paramètres ne sont pas calculés et, d'autre part, il a fallu jouer conjointement sur les valeurs des coefficients mensuels d'écoulement et du coefficient mensuel de tarissement.

4. RESULTATS

On peut représenter les résultats de la modélisation hydrologique en utilisant le modèle Orchy II au niveau de deux pas de temps. au niveau annuel pour le bilan hydrologique et au niveau mensuel pour le régime d'écoulement. Le calage des paramètres est lié, d'une part, par les caractéristiques du régime d'écoulement, qui présentent un niveau d'analyse de fonctionnement

hydrologique et d'autre part avec les caractéristiques physiographiques du bassin (El Ghachi, 2007).

4.1. Fonctionnement hydrologique à l'échelle annuelle du bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef (1986-2010))

Le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) est traité comme un système composé de plusieurs sous bassins. C'est la raison pour laquelle nous retrouvons les résultats avec deux bilans hydrologiques qui correspondent à deux sous bassins, ainsi que le troisième bilan hydrologique qui correspond au bassin global de la Tassaout. Le tableau ci-dessous explique la démarche adoptée ainsi que les résultats obtenus à l'échelle annuelle.

Tableau 2. Résultats du bilan hydrologique du bassin à l'échelle annuelle. Orchy II (1986-2010).

Table 2. Results of the Hydrological balance of the basin at the annual scale. Orchy II (1986-2010).

Valeur (mm)	Sous bassin de Tamsemt	Sous bassin de Ait Tamlil	Bassin versant de la Tassaout (amont du barrage My Youssef)
Précipitation (P)	631	696	663
Evapotranspiration Potentiel (ETP)	908	786	848
Evapotranspiration Réelle (ETR)	374	356	369
Débit de crue (Q_c)	136	92	209
Débit de nappe (Q_N)	241	163	119
Transfert d'eau vers l'intérieur ou l'extérieur du bassin (Tr)	+120	-85	+34
Prélèvement (Pr)	-48	-33	-40
Débit simulé	329	222	288
Débit mesuré	329	222	288

Les résultats du bilan hydrologique annuel du bassin de la Tassaout peuvent être schématisés comme indiqué dans la figure sur la figure 4.

Du fait des altitudes fortes caractérisant le sous bassin de Ait-Tamlil, ce dernier connaît des précipitations importantes, mais il n'a qu'un coefficient d'écoulement très faible (32%) par rapport au sous bassin de Tamsemt, cela est dû à la forte perméabilité caractérisant le bassin (Mouhdi, 1993), tandis que le transfert d'eau vers les bassins voisins atteint 85mm. Ce bassin se caractérise aussi par une vidange de nappe importante qui atteint 163 mm, ce qui explique l'écoulement constant du cours d'eau principal tout au long de l'année. Les prélèvements

représentent 15% du débit total du sous bassin, qu'on ne peut pas négliger dans l'élaboration du bilan hydrologique.

Le sous bassin de Tamsemt connaît un coefficient d'écoulement très important, qui représente 52% des précipitations pendant la série statistique (1986-2010), en raison du transfert hydrogéologique d'une quantité importante des ressources en eau transmises par des bassins voisins. Les prélèvements représentent 14% au total du débit du bassin.

Alors que l'ensemble du bassin se caractérise par des ressources additives en eau transmises par des bassins voisins ayant 34mm comme volume. La quantité des prélèvements est de 40mm, qui

représente 14% du total du débit du bassin de la Tassaout (Amont du barrage Moulay Youssef). On

peut résumer le bilan hydrologique annuel du bassin comme suit :

$$(P)663 \text{ mm} = (Q)288 \text{ mm} + (ETR)369 \text{ mm} + (Pr)40 \text{ mm} - (TR)34 \text{ mm}$$

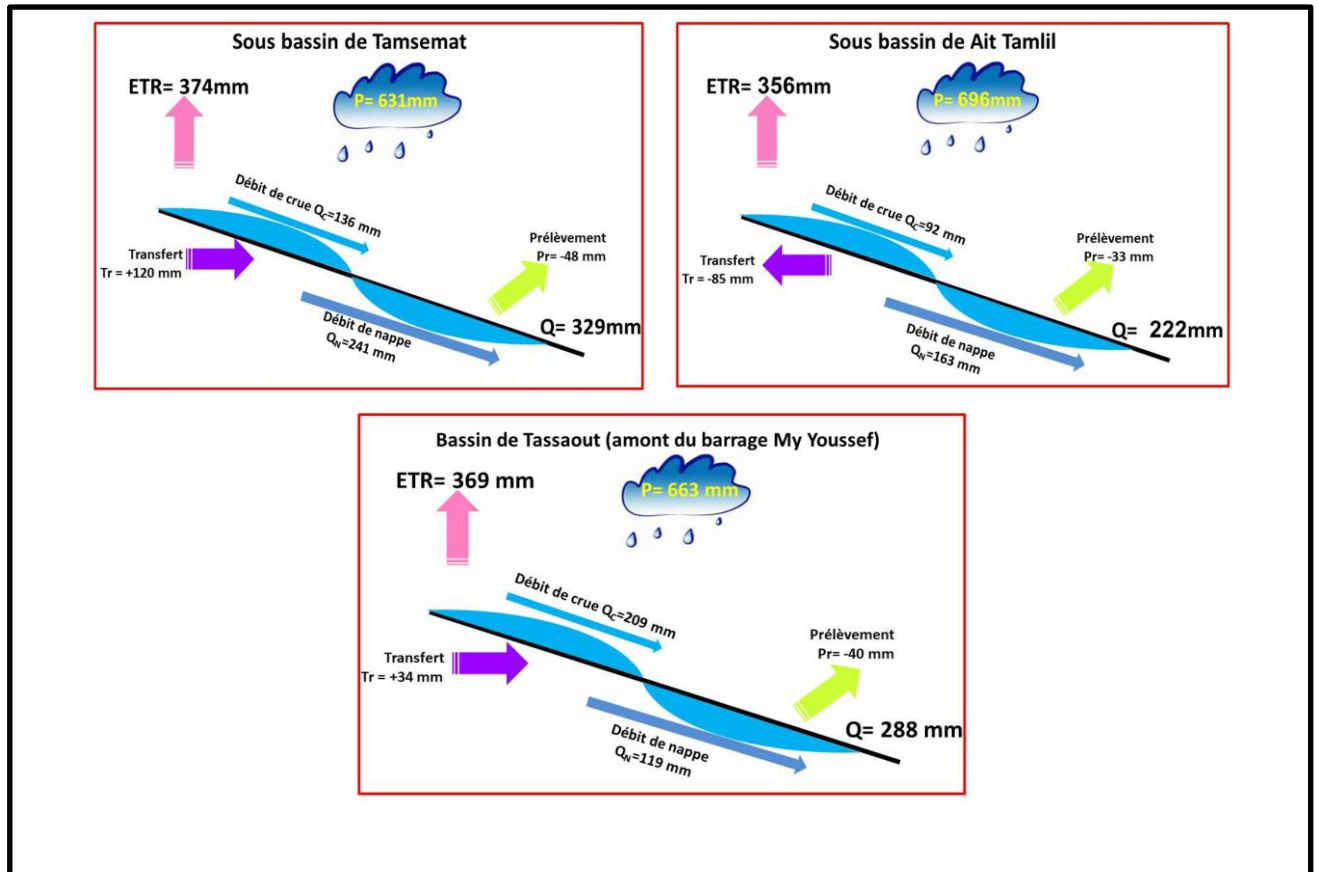


Fig. 4. Fonctionnement hydrologique des bassins d'étude (1986-2010).

Fig. 4. Hydrological functioning of study basins (1986-2010).

Généralement, le bilan hydrologique annuel nous a donné une idée sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), et les deux sous bassin. Ainsi il a montré l'importance des écoulements dans le bassin versant, mais il a fallu réaliser un bilan mensuel pour bien comprendre les mécanismes et les paramètres qui ont des influences sur l'écoulement superficiel.

4.2. Fonctionnement hydrologique à l'échelle mensuelle du bassin. Le modèle Orchy II (1986-2010).

L'étude mensuelle nous permet de déterminer les différentes variables du bilan hydrologique, et d'approcher les différentes formes d'écoulement, à partir de l'analyse des précipitations, de la lame d'eau écoulee et du coefficient de crue (El Ghachi, 2007).

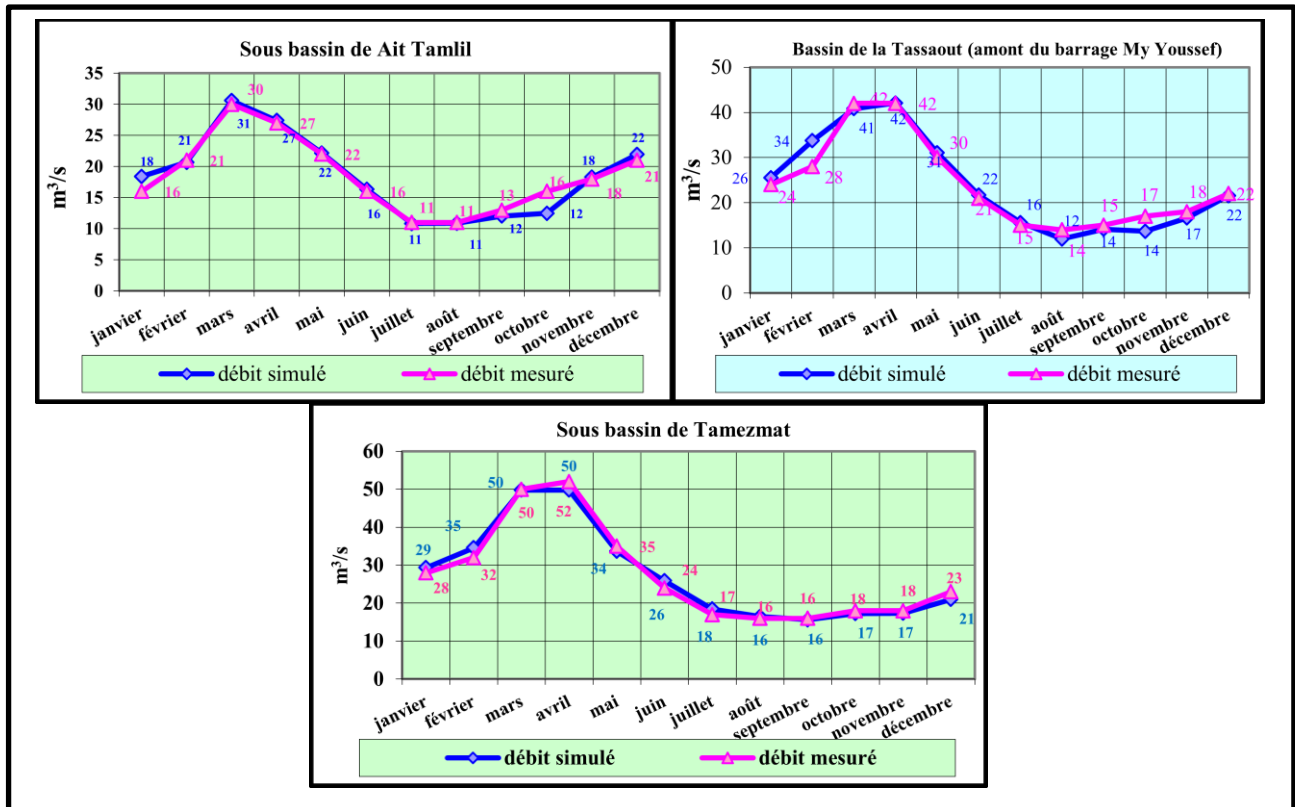


Fig. 5. Comparaison des débits mesuré et simulé à l'échelle mensuelle (1986-2010).

Fig. 5. Comparison of measured and simulated flows on a monthly scale (1986-2010).

Les résultats de la modélisation hydrologique du bassin d'étude étaient satisfaisants au niveau mensuel, selon les valeurs de corrélation linéaires (Dubreuil, 1974) entre le débit mesuré et le débit simulé qui a atteint 0,96 pour le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), et 0,95 pour le sous bassin d'Ait-Tamlil et 0,98 pour le sous bassin de Tamsemt. On peut partitionner l'année hydrologique dans les bassins d'étude en deux périodes différentes :

- * Période de hautes eaux, caractérisée par un débit important durant l'année. Les mois Janvier Février ne sont pas fortement affectés par des précipitations intéressantes pendant ces mois, pourtant le débit commence à s'élever jusqu'à atteindre sa valeur maximale pendant les mois de Mars et Avril pour les trois bassins. Cela explique l'apport des eaux de

fonte de la neige aux débits des principaux oueds atlasique (Boudhar, 2009). De plus le bassin connaît un coefficient de crue élevé. 70% du débit total du bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), qui engendre d'importants ruissellements superficiels après la précipitation.

- * Période de basses eaux, qui connaît un débit significatif, malgré la rareté des précipitations durant cette période. Cela peut être expliquée par le réservoir de vidange lent (El Ghachi, 2007) représentant 35% au total du débit du bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef), qui joue un rôle important dans le soutien des débits en été et au début de l'automne (Moine, 2008). On peut bien spécifier les variables du bilan hydrologique selon les résultats du tableau suivant.

Tableau 3. Bilan hydrologique au niveau mensuel du Sous bassin d'Ait Tamliil (1986-2010).

Table 3. Monthly hydrological balance of the Ait Tamliil Sub-basin (1986-2010).

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	
Précipitation (P)	94	89	88	67	50	15	9	12	37	66	83	86	696
Débit m ³ /s	3,3	4,7	6,0	5,4	4,4	3,3	2,3	2,1	2,7	3,2	3,6	4,1	3,8
n jours/mois	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365,3
Précipitation utile (Pu)	88	84	83	65	49	15	9	12	37	64	79	82	667
ETP	7	14	29	45	72	120	167	151	92	58	21	10	786
Déficit Pluviométrique (DP)	-81	-70	-54	-20	23	105	158	139	55	-6	-58	-72	
DPCumulé	0	0	0	0	23	128	286	425	480	106	0	0	
R (état de la R)	50	50	50	50	32	4	0	0	0	3	31	50	
DR (variation de la réserve)	0	0	0	0	-18	-28	-4	0	0	3	28	19	
ETR	7	14	29	45	67	43	13	12	37	58	21	10	356
BESOINS (ETP-ETR)	0	0	0	0	5	77	154	139	55	0	0	0	430
SURPLUS du bilan hydrique	81	70	54	20	0	0	0	0	0	3	30	53	311
Transfert (Tr)	-20	-21	-12	-7	-4	-5	-7	-4	0	0	0	-5	-85
Qnappe	3	6	17	21	20	16	12	13	15	13	14	13	163
Qcrue	17	16	16	9	5	3	2	1	1	3	8	12	92
coef d'écoulement de crue	0,18	0,18	0,18	0,13	0,09	0,19	0,20	0,11	0,03	0,05	0,09	0,14	
Prélèvement (Pr)	1,50	1,50	2,00	2,50	2,50	2,50	3,00	3,50	4,00	3,50	3,50	3,00	33
débit simulé	18	21	31	27	22	16	11	11	12	12	18	22	222
débit mesuré	16	21	30	27	22	16	11	11	13	16	18	21	222
erreur (%)	15	-2	2	1	1	2	-1	-1	-7	-22	2	4	0

Tableau 4. Bilan hydrologique au niveau mensuel du Sous bassin de Tamsemt (1986-2010).

Table 4. Monthly hydrological balance of the Tamsemt Sub-basin (1986-2010).

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	
Précipitation (P)	91	85	89	59	48	17	5	14	30	52	70	71	631
Débit m ³ /s	8,3	10,3	14,4	15,5	10,2	7,1	5,1	4,7	4,8	5,3	5,5	6,6	8,1
n jours/mois	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365,3
Précipitation utile (Pu)	87	82	85	58	47	17	5	14	30	51	68	69	613
ETP	12	20	30	55	85	132	186	166	110	69	28	15	908
Déficit Pluviométrique (DP)	-75	-62	-55	-3	38	115	181	152	80	18	-40	-54	
DPCumulé	0	0	0	0	38	153	334	486	566	584	11	0	
R (état de la R)	50	50	50	50	23	2	0	0	0	0	32	50	
DR (variation de la réserve)	0	0	0	0	-27	-21	-2	0	0	0	32	18	
ETR	12	20	30	55	74	38	7	14	30	51	28	15	374
BESOINS (ETP-ETR)	0	0	0	0	11	94	179	152	80	18	0	0	534
SURPLUS du bilan hydrique	75	62	55	3	0	0	0	0	0	0	8	36	239
Transfert (Tr)	10	9	20	22	10	7	4	4	6	9	9	10	120
Qnappe	21	22	34	35	22	17	13	13	14	16	16	18	241
Qcrue	11	16	19	18	15	12	10	8	7	7	7	7	136
coef d'écoulement de crue	0,12	0,18	0,21	0,30	0,31	0,70	1,97	0,60	0,24	0,13	0,10	0,10	
Prélèvement (Pr)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,40	4,90	5,50	5,50	5,50	4,00	48
débit simulé	29	35	50	50	34	26	18	16	16	17	17	21	329
débit mesuré	28	32	50	52	35	24	17	16	16	18	18	23	329
erreur (%)	5	8	0	-4	-4	8	9	3	-2	-4	-4	-9	0

Tableau 5. Bilan hydrologique au niveau mensuel du bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) (1986-2010).**Table 5. Monthly hydrological balance of the Tassaout watershed (upstream of the Moulay Youssef dam) (1986-2010).**

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	
Précipitation (P)	92	85	89	63	49	16	8	14	33	58	77	79	663
Débit m³/s	11,5	14,9	20,4	21,0	14,6	10,4	7,3	6,8	7,5	8,5	9,2	10,7	11,9
n jours/mois	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365,3
Précipitation utile (Pu)	88	82	85	62	48	16	8	14	33	57	75	76	644
ETP	10	17	30	50	78	126	177	159	101	64	24	12	848
Déficit Pluviométrique (DP)	-78	-65	-55	-12	30	110	169	145	68	7	-51	-64	
DPCumulé	0	0	0	0	30	140	309	454	522	529	0	0	
R (état de la R)	50	50	50	50	27	3	0	0	0	0	15	34	
DR (variation de la réserve)	16	0	0	0	-23	-24	-3	0	0	0	15	19	
ETR	10	17	30	50	71	40	11	14	33	57	24	12	369
BESOINS (ETP-ETR)	0	0	0	0	7	86	166	145	68	7	0	0	479
SURPLUS du bilan hydrique	62	65	55	12	0	0	0	0	0	0	36	45	275
Transfert (Tr)	0	2	6	10	5	0	-2	-2	3	4	4	4	34
Qnappe	8	11	16	19	13	7	5	4	8	9	9	10	119
Qcrue	20	25	27	26	21	17	14	12	10	9	12	15	209
coef d'écoulement de crue	0,22	0,29	0,31	0,41	0,42	1,09	1,79	0,87	0,31	0,16	0,15	0,19	
Prélèvement (Pr)	2,25	2,25	2,50	2,75	2,75	2,75	3,70	4,20	4,20	4,50	4,25	3,50	40
débit simulé	26	34	41	42	31	22	16	12	14	14	17	22	288
débit mesuré	24	28	42	42	30	21	15	14	15	17	18	22	288
erreur (%)	6	20	-3	0	3	3	4	-15	-6	-20	-8	-2	0

5. DISCUSSION

Le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) se caractérise par des ressources en eau importantes, d'après le coefficient d'écoulement qui atteint 43% de la quantité des précipitations pendant la série statistique (1986-2010). Pour les résultats, on a inclus toutes les variables étudiées (précipitation, évapotranspiration potentiel ETP, évapotranspiration réelle ETR, débit, état de réserve R....) selon le modèle utilisé pour élaborer le bilan hydrologique. Le régime d'écoulement au niveau mensuel des bassins d'étude peut être déterminé en marquant ce qui suit :

- Cet article nous a permis de faire une synthèse de la modélisation hydrologique et des étapes de la mise en œuvre d'un modèle hydrologique.
- Le choix du modèle hydrologique Orchy II est justifié par les données climatiques dont nous disposons (entrées du modèle), qu'il s'agit de modèle conceptuel simple aux paramètres peu nombreux, mais associables à une réalité physique

mesurable, et qui peut intégrer l'impact anthropique sur le fonctionnement hydrologique (El Ghachi, 2014).

- Le fonctionnement hydrologique varie dans les trois bassins, à la fois au niveau annuel et mensuel.
- Le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) reçoit des précipitations importantes durant la période entre le mois de Novembre et le mois de Mars avec une variation spatiale entre l'amont et l'aval du bassin (Boudhar, 2009).
- Les bassins d'étude se caractérisent par un écoulement de crue très important, représentant 60% pour le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) et 36% pour les sous-bassins d'Ait-Tamlil et de Tamsemat. Ce type d'écoulement rapide, qui contribue à remplir le réservoir sub-surface du sol, est plus sensible à l'évaporation (Guigo, 1975)
- Le taux du débit de nappe varie entre 40 et 70% au total du débit pour les trois bassins, contribue à l'écoulement pendant

la période estivale, où les précipitations diminuent (Castany, 1968).

- Le coefficient de corrélation qui a marqué des valeurs plus de 0,95, reflète des résultats très satisfaisants pour le débit simulé, soit au niveau mensuel ou annuel.
- Le modèle Orchy II a prouvé son efficacité dans l'analyse des éléments du bilan hydrologique et également a mis en évidence l'impact anthropique sur le fonctionnement hydrologique du bassin, où les prélèvements d'eau représentent 14% du module annuel. Cette proportion s'aggrave pendant les périodes estivales de l'année.
- La représentation du bilan hydrologique à l'échelle mensuelle a permis d'envisager l'impact des modifications du forçage anthropique sur les écoulements.

6. CONCLUSION

L'étude climatique et hydrologique a montré que le bassin a une grande potentialité hydrologique dont le régime est très influencé par les activités anthropiques, à partir d'un réseau de canaux par lesquels se transfère une quantité importante d'eau d'irrigation.

Dans le but de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique du bassin versant de la Tassaoute (amont du barrage Moulay Youssef) ; nous avons entamé l'application du modèle Orchy II au pas de temps mensuel, qui a prouvé son efficacité à analyser les paramètres du bilan hydrologique et à préciser l'influence des facteurs naturels et humains. Les prélèvements représentent environ 14% du débit annuel total des bassins d'études, qui influence clairement le fonctionnement hydrologique du bassin.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements à l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-Rbia en particulier Mr. El-Haqqani Bouchaib, Mr. Mernoun Ahmed, Mr. Ibrahim Aghzaf et Mr. Lkhider Ahmed et à la Direction Provinciale d'Agriculture d'Azilal pour leurs soutiens techniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alley M.W. (1985). Water balance models in one-month-ahead stream flow forecasting. *Water resource research* 21(4), 597-606.
- ABHOER (1972). Étude hydrologique de l'OUM ER RBIA Rapport, 501 pp.
- Boudhar A. (2009). Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des Oueds du Haut Atlas de Marrakech Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques- Marrakech. 232 p.
- Castany G. (1968). Prospection et exploitation des eaux souterraines. Paris. Dunod, 717 p.
- Couvreur G. (1988). Essai sur l'évolution morphologique de haut atlas calcaire – Maroc. Notes et Mémoires du Service Géologique. Edition du Service Géologique du Maroc N° 318. 391 p.
- Direction Provinciale d'Agriculture d'Azilal (DPAA) (2014). Étude d'inventaire et de la caractérisation des périmètres existants de la PMH et identification des possibilités de l'extension par l'irrigation des périmètres associés aux petits et moyens barrages par bassins hydrauliques. Rapport. 45p
- Dubreuil P. (1974). Initiation à L'analyse Hydrologique. Université de Paris VI. ORSTOM. 216 p.
- El Ghachi M. (2007). La seille : un système fluvial anthropisé (Lorraine. France) Tome 1. Thèse de Doctorat. Université Paul Verlaine de METZ. France. 344p.
- El Ghachi M. (2014). Élaboration d'un bilan hydrologique. Méthodologie et Application. Le cas de la Seille (Lorraine. France). *Revue FLSH Béni-Mellal*. 15 p.
- El Khalki Y. (1990). Étude hydrogéomorphologique du haut Sebou. cas de synclinal de Skoura et de ses bordures (Moyen Atlas. Maroc). Thèse de Doctorat. Université d'Aix Marseille II. Tome I. 244 p.
- Gille E. (1985). Contribution à l'étude hydrologique des bassins de la Meuse et de la Moselle. problématique de l'utilisation d'un modèle couplé à discrétisation spatiale

- Thèse de Doctorat. École Nationale Supérieure des Mines de Paris et Université Pierre et Marie Curie. 213 p.
- ✦ Gille E., Lang C. (2004). Problématique d'optimisation des paramètres de calage d'un bilan hydrologique. Application aux bassins versants de la Sauer, Mosella. Tome XXVIII-N°1-2. 157-172.
 - ✦ Guigo M. 1975. Essai de bilan hydrologique sur un petit bassin versant de l'Apennin padan. le Parma. *Revue Géographique de l'Est*. 15-1-2. 63-87.
 - ✦ Makhoul Z. (1994). Compléments sur le modèle Pluie-Débit GR4J, essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de Doctorat. Université Paris XI Orsay. 426 p.
 - ✦ Moine N. (2008). Le bassin versant de surface vu par le souterrain. une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit. École Doctorale 398 Géosciences et Ressources Naturelles. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie. 348 p.
 - ✦ Mouhdi A. (1993). Contribution à l'étude pluvio-hydrologique du bassin-versant de l'oued Melloulou (Maroc oriental). Université des sciences et technologies de Lille U.F.R. de géographie et d'aménagement spatial. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. 251 p.
 - ✦ Perrin C. (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, INPG, Grenoble. 287 p.
 - ✦ Qadem A. (2015). Quantification. modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou (Maroc). Université Sidi Mohamed Ben Abdelah et Université de Lorraine. Thèse de Doctorat. 360 p.
 - ✦ Riou C. (1975). la détermination de l'évaporation. application à l'Afrique. Mémoire ORSTOM, 236 p.
 - ✦ Strahler A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology American Geophysical Union Transactions 38(6). 912-920.
 - ✦ Thornthwaite C.W., Mather. J.R. (1957). Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. *Climatology* 10(3). 311 p.