

## ESTIMATION DES RÉSERVES EN EAU SOUTERRAINE RÉGULATRICES DANS LE HAUT BASSIN DE L'OUUM ER RBIA (MAROC)

Tarik EL ORFI <sup>1</sup>, Mohamed EL GHAHCI <sup>2</sup>, Sébastien LEBAUT <sup>3</sup> et Emmanuel GILLE <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire "DPRP", FLSH 23000 Béni Mellal - Maroc et Unité de Recherche "LOTERR", Université de Lorraine 57006 Metz - France, elorfitarik@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratoire "DPRP", FLSH 23000 Béni Mellal - Maroc, elghachi\_mohamed@yahoo.fr

<sup>3</sup> Unité de Recherche "LOTERR", Université de Lorraine 57006 Metz - France, sebastien.lebaut@univ-lorraine.fr

<sup>4</sup> Unité de Recherche "LOTERR", Université de Lorraine 57006 Metz - France, emmanuel.gille@univ-lorraine.fr

**Résumé :** Les débits à pas de temps journaliers (Qmj) utilisés ont été enregistrés de 1975/76 à 2018/19 sur le bassin amont de l'Oum Er Rbia (1016 km<sup>2</sup>) et un affluent, le Srou (1421 km<sup>2</sup>). La méthode employée consiste à extraire des phases hydrologiques non directement influencés par les pluies, répondant au critère du tarissement, pour lesquelles le débit correspond à la vidange des aquifères peu profonds. De ces nombreuses phases de tarissement plusieurs méthodes sont utilisées pour définir des courbes maîtresses de tarissement desquelles sont déduits des coefficients de tarissement. A partir d'un débit initial Q<sub>0</sub> de chacune des phases, ces coefficients permettent de calculer le volume de nappe restitué au cours d'eau.

**Mots-Clés :** Oum Er Rbia (Maroc), ressource en eau, sécheresse, volume de nappe.

**Abstract:** ESTIMATION OF REGULATED GROUNDWATER RESERVES IN THE UPPER OUM ER RBIA BASIN (MOROCCO): The daily time step flows (Qmd) used were recorded from 1975/76 to 2018/19 on the upstream basin of the Oum Er Rbia (1016 km<sup>2</sup>) and an affluent, the Srou (1421 km<sup>2</sup>). The method used is to extract hydrological phases not directly influenced by rainfall, meeting the criteria of drying up, for which the flow corresponds to the emptying of shallow aquifers. From these numerous drying phases, several methods are used to define master drying curves from which drying coefficients are deduced. From an initial flow Q<sub>0</sub> of each phase, these coefficients allow the calculation of the volume of groundwater returned to the river.

**Keywords:** Oum Er Rbia (Morocco), water resource, drought, groundwater volume.

### Introduction

L'agriculture Marocaine est le premier contributeur du PIB devant le tourisme et l'industrie. Toutefois, la production agricole dépend beaucoup de la disponibilité en l'eau. Les grands périmètres irrigués consomment près de 4,2 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an, réparties pour 2,5 milliards m<sup>3</sup> d'eaux de surface et 1,7 milliards m<sup>3</sup> d'eaux souterraines (Moghli & Benjelloun Touimi, 2000). Dernièrement, les années sèches ont obligé les agriculteurs à se tourner davantage vers l'exploitation des eaux souterraines afin de combler le déficit en eau de surface. Cependant, dans le souci de ne pas "dépenser plus que le revenu" a conduit les chercheurs à comptabiliser la disponibilité en eau (Margat, 1969), et la notion de ressource en eau souterraine est née de la prise de conscience que des limites s'imposent aux possibilités d'exploitation globales d'une nappe (Margat, 1969 ; Lebaut et al., 2021).

À l'interface entre eaux de surface et eaux souterraines, se trouve une zone de mélange "zone hyporhéique" qui constitue une seconde rivière dont l'existence et la fonction sont largement méconnues (Binet, 2018). Cette zone de contact nappe/rivière correspond à la réserve régulatrice. Cette réserve représente la part variable de la réserve d'un aquifère libre, c'est la quantité maximale d'eau gravitaire contenue dans la zone de fluctuation (Castany & Margat, 1977). En effet, en période de déficit pluviométrique, la réserve régulatrice alimente l'écoulement en période de tarissement. De ce fait, la

courbe de tarissement renferme des informations précieuses sur les caractéristiques des aquifères et le stockage (Tallaksen, 1995), elle représente le volume d'eau de la vidange des nappes en régime non-influencé au cours du temps.

Depuis Maillet (1905), une méthode pour quantifier la réserve régulatrice consiste à calculer le coefficient de tarissement d'un aquifère. Tout l'enjeu de cette quantification à partir des hydrogrammes journaliers réside dans la bonne formulation du tarissement et dans la séparation de celui-ci en débit de ruissellement et débit de base (Lebaut et al., 2021). Dans ce papier nous proposons une estimation des réserves en eau souterraine régulatrices dans le bassin amont de l'Oum Er Rbia, deuxième plus important bassin versant de point de vue des ressources en eau de surface mobilisables dont bénéficient plusieurs périmètres agricoles irrigués.

## 1. Données et Méthodes

### 1.1. Zone d'étude

Le haut bassin versant de l'Oum Er Rbia fait partie du plateau central et du Moyen Atlas au Maroc. Il est délimité par le bassin de la Moulouya à l'est, le bassin du Sebou au nord, et le bassin du Bourgreg à l'ouest (Fig.1). Le zone d'étude est représentatif du Moyen Atlas, dont l'altitude moyenne est de 1350 m, avec des sommets atteignant 2400m. Par son altitude, sa situation géographique et son exposition aux influences océaniques, le contexte climatique est de type méditerranéen, caractérisé par des hivers humides et des étés secs (Martin, 1981).

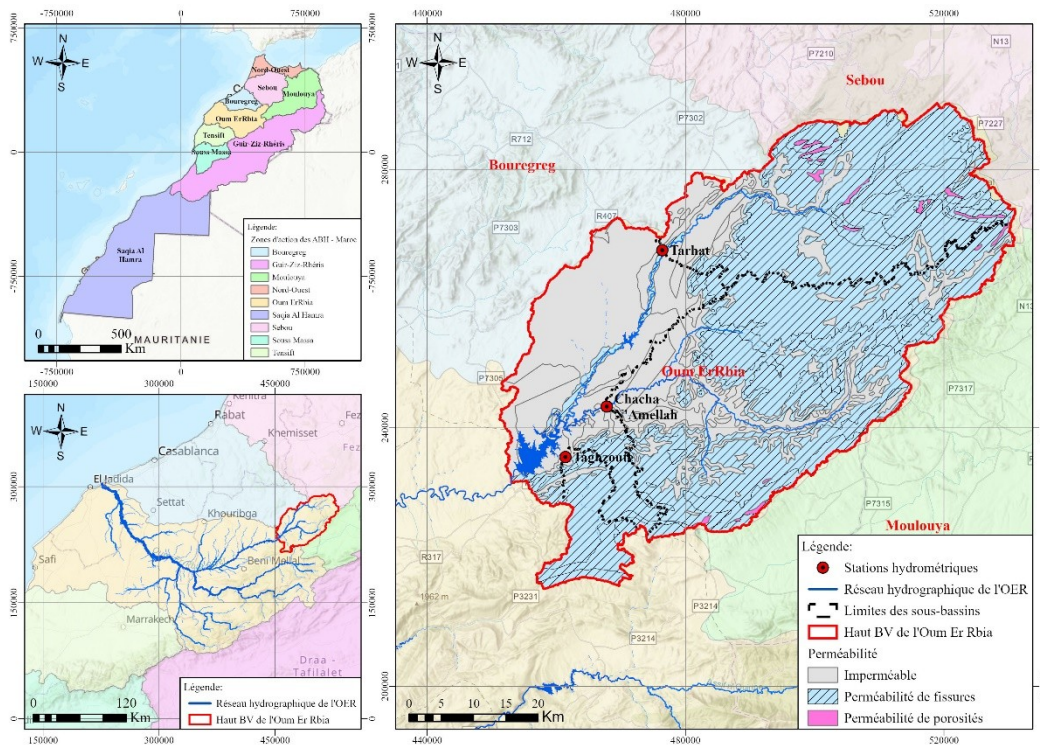


figure 1. Situation géographique et perméabilité dans le haut bassin versant de l'Oum Er Rbia

Du point de vue géologique, la chaîne moyen-atlasique est une chaîne intracontinentale typique développée en bordure de la chaîne alpine du Rif (Michard et al., 2011). Dans le bassin considéré, le Paléozoïque, généralement de nature schisteuse, affleure au pied du Moyen Atlas sur toute la bordure sud-est du Plateau Central. Au-dessus, se trouvent les marnes et des argiles gypsifères du Permo-Trias puis des formations carbonatées, calcaire et dolomie pour le Jurassique inférieur (Lias), et calcaire et marnes du Crétacé jusqu'au Paléocène. Le Quaternaire est marqué par des basaltes et des alluvions (Serbout, 2001). Le degré de perméabilité de ces terrains (Tab. 1) conditionne la pluie seuil à partir de laquelle il y a

dépassement de l'infiltrabilité (Sallak, 2019) et détermine en conséquence la part du ruissellement de surface et celui de l'écoulement souterrain.

**Tableau 1.** Synthèse lithologie/perméabilité dans le haut bassin versant de l'Oum Er Rbia.

Roches dominantes	Perméabilité	Surface (km <sup>2</sup> )	%
Schistes ou grés, Argiles rouges, Schistes Limons, dépôts encroutés, Terrasses limoneuses, ...	Imperméable	1219	36
Calcaires blancs ou beiges, Travertins, Calcaires, Basaltes doléritiques, Basaltes, Granites, Calcaires lacustres, Marno-Calcaires, Calcaires (phosphatés) ...	Perméabilité de fissures	2139	63
Alluvions, Eboulis, Conglomérats ...	Perméabilité de porosités	25	1

### 1.2. Données

L'estimation des réserves en eau souterraine régulatrices, repose sur les phases hydrologiques non directement influencées par les pluies, répondant au critère du tarissement, pour lesquelles le débit correspond à la vidange des aquifères peu profonds. L'application de méthodes de l'hydrologie analytique, sur les hydrogrammes journaliers (1975-2019) aux trois stations hydrométriques représentatives à l'amont du bassin nous a permis de calculer les volumes "dynamique" de la nappe.

Les données de débits journaliers fournies par l'ABHOER ont été utilisées pour atteindre les objectifs de notre étude (Tab.2).

**Tableau 2.** Caractéristiques des stations de mesures.

Station	Cours d'eau	Date de mise en service	Données disponibles	Surface du bassin (Km <sup>2</sup> )	Altitude à l'exutoire (m)	X	Y
Taghzoute	Ouaoumana	1970-71	P et Q	172	628	461400	235500
Chacha n'Amellah	Srou	1974-75	P et Q	1423	685	467800	243300
Tarhat	Oum Er Rbia	1969-70	P et Q	1011	1036	476400	267500

### 1.3. Méthode

La réserve régulatrice correspond au volume d'eau gravitaire contenu dans la zone de fluctuation de la surface piézométrique d'un aquifère à nappe libre (Castany, 1982). Ce volume peut être apprécié en s'appuyant sur les phases de tarissement des cours d'eau. Étant donné qu'en période d'étiage, les débits des cours d'eau sont uniquement assurés par la vidange des réserves aquifères, cet apport peut être analysé à partir du tarissement (Gischer et al., 2012).

Pour calculer la réserve régulatrice, le choix s'est porté sur la formule suivante :  $V = Q_0/\alpha$

avec  $Q_0$ , le débit au début du tarissement et  $\alpha$  le coefficient de tarissement.

Nous proposons d'estimer les volumes d'eau souterraine constituant la réserve régulatrice des aquifères du haut bassin versant de l'Oum Er Rbia sur la base du débit modal pour  $Q_0$  et le calcul d'un coefficient de tarissement. Du point de vue opérationnel, un outil de prévision automatisé "sous forme de feuilles de calcul" (Lang & Gille, 2006) a été utilisé pour extraire ces informations. Cet outil est basé sur un algorithme posant les conditions relatives à la définition du tarissement, il se compose de deux étapes (Fig.2) :

L'estimation des réserves en eau souterraine régulatrices, repose sur les phases hydrologiques non directement influencées par les pluies, répondant au critère du tarissement, pour lesquelles le débit correspond à la vidange des aquifères peu profonds. L'application de méthodes de l'hydrologie analytique, sur les hydrogrammes journaliers (1975-2019) aux trois stations hydrométriques représentatives à l'amont du bassin nous a permis de calculer les volumes "dynamique" de la nappe.

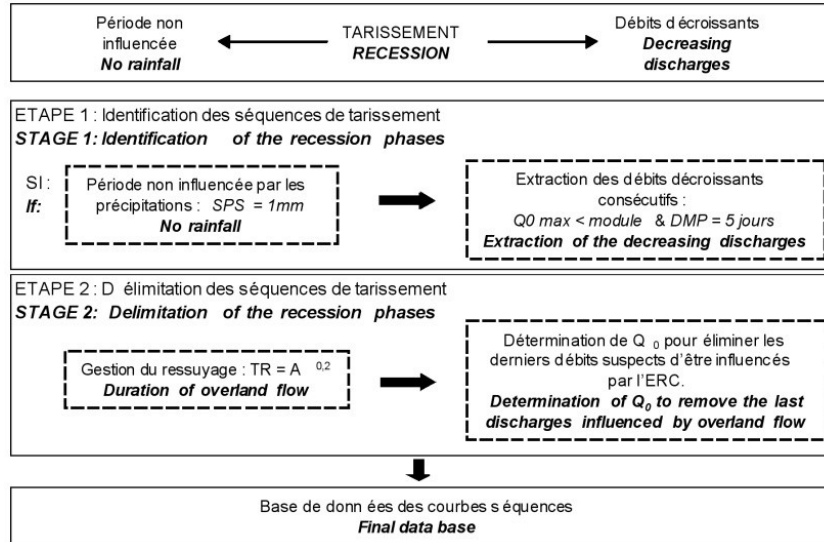


figure 2. Algorithme d'Extraction des Courbes Séquences (ALECS) (Lang & Gille, 2006).

La procédure automatique d'extraction des phases de tarissement garantit une homogénéité de la sélection des épisodes retenus.

## 2. Résultats

### 2.1. Coefficients de tarissement "α" et débit de départ "Q<sub>0</sub>"

Sur la période considérée, 105, 179 et 291 phases de tarissements supérieures à 5 jours ont été individualisées pour les stations de Tarhat, Taghzoute et Chacha n'Amellah. La durée moyenne varie, respectivement, entre 7,6 j, 7 j et 9,5 j. La démarche fondée sur la méthode des corrélations renvoie des coefficients α maître pour un rapport de 5j proposé par (Lebaut, 2000) varie entre 0,025 et 0,056 (Tab. 3), ce qui est en accord avec des formations aquifères à "perméabilité de fissures".

Tableau 3. Analyse statistique des coefficients α.

Station	α maître	R2	α moy	α min	α max	ET	CV
Taghzoute	0,056	0,99	0,08	0,01	0,33	0,05	59%
Chacha n'Amellah	0,032	0,99	0,04	0,003	0,21	0,03	66%
Tarhat	0,025	0,99	0,03	0,002	0,19	0,02	74%

La détermination automatisée de débit de départ Q<sub>0</sub> est basée sur la pente de l'épisode de tarissement, est calculée à partir des trois derniers débits de la phase, puis extrapolée vers les jours antérieurs (Lang & Gille, 2006). La moyenne des débits Q<sub>0</sub> sur la période d'étude est égale à 0,59 m<sup>3</sup>/s, 4,17 m<sup>3</sup>/s et 11,42 m<sup>3</sup>/s pour Taghzoute, Chacha n'Amellah et Tarhat (Tab. 4).

**Tableau 4.** Analyse statistique des coefficients  $\alpha$ .

Station	Q <sub>0</sub> moy	Q <sub>0</sub> min	Q <sub>0</sub> max	ET	CV
Taghzoute	0,59	0,10	0,96	0,28	48%
Chacha n'Amellah	4,17	0,55	7,42	1,91	46%
Tarhat	11,42	5,9	15,7	2,8	25%

**2.2. Les réserves en eau souterraine**

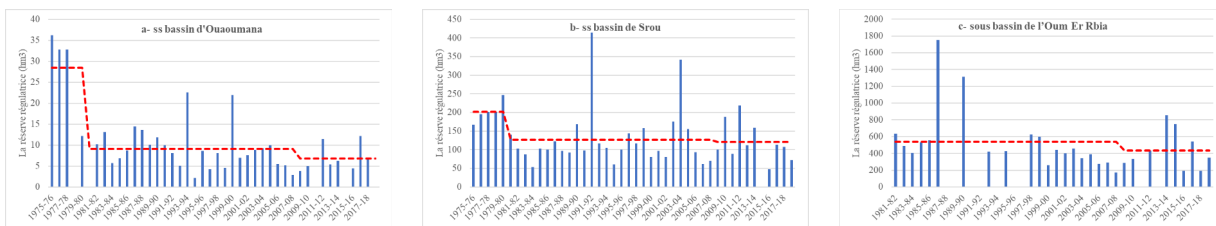
Les volumes annuels moyen de la réserve régulatrice sont de 10,6 hm<sup>3</sup> pour le sous bassin de Ouaoumana (st de Taghzoute), 133,8 hm<sup>3</sup> pour le sous bassin de Srou (st de Chacha n'Amellah) et de 508 hm<sup>3</sup> pour le sous bassin de l'Oum Er Rbia (st de Tarhat) (Tab. 5).

**Tableau 5.** Synthèse sur la ressource en eau dans le haut bassin d'Oum Er Rbia (hm<sup>3</sup>).

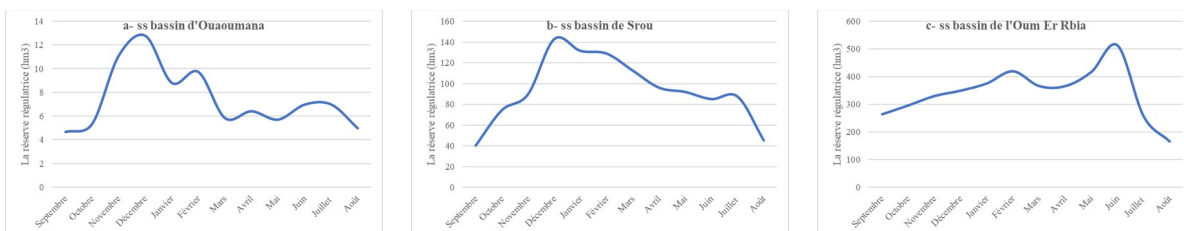
Station	Q <sub>0</sub> moy	Q <sub>0</sub> min	Q <sub>0</sub> max	ET	CV
Taghzoute	0,59	0,10	0,96	0,28	48%
Chacha n'Amellah	4,17	0,55	7,42	1,91	46%
Tarhat	11,42	5,9	15,7	2,8	25%

Les volumes annuels moyens varient spatialement d'une station à l'autre, et temporellement d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre (Fig. 3 et 4). La méthode du CUSUM illustre clairement les tendances sèches et humides pour les données des précipitations des stations, elle met en évidence 3 périodes homogènes : 1975/1979, 1980/2007 et 2008/2019 (El Orfi et al., 2020). Pendant la période sèche 1980-2007, on constate une diminution remarquable de la réserve régulatrice. Pour le sous bassin de Ouaoumana, durant cette période, la réserve n'était que de 9,1 hm<sup>3</sup>, soit trois fois inférieures à celle de la période humide entre 1975 et 1979 (28,5 hm<sup>3</sup>). Au final, on constate une diminution des ressources en eau souterraines d'environ un tiers depuis 50 ans dans le bassin de l'Oum Er Rbia.

La nature karstique des aquifères atlasique, impliquant des transferts d'eau entre les bassins voisins. Le bassin versant contigu de l'oued Guigou où 884 km<sup>2</sup> de karst sont drainés vers les sources de l'Oum Er Rbia. Ces nombreuses sources à forts débits alimentent en permanence le sous bassin de l'Oum Er Rbia. Ce qui explique la différence la variabilité mensuelle de la ressource régulatrice de l'Oum Er Rbia par rapport aux autres sous bassins.



**figure 3.** La ressource régulatrice annuelle moyenne.



**figure 4.** La ressource régulatrice mensuelle moyenne.

## Conclusion

La démarche méthodologique adoptée sur le haut bassin de l'Oum Er Rbia permet de quantifier les réserves en eau souterraine d'une fraction du Moyen-Atlas. Les volumes annuels moyen de la réserve régulatrice sont de 10,6 hm<sup>3</sup> pour le sous bassin de Ouaoumana (st de Taghzoute), 133,8 hm<sup>3</sup> pour le sous bassin de Srou (st de Chacha n'Amellah) et de 508 hm<sup>3</sup> pour le sous bassin de l'Oum Er Rbia (st de Tarhat). Cependant les réserves régulatrices dans le bassin de Srou sont moins inertielles que celles du sous bassin de l'Oum Er Rbia dont il est admis qu'il bénéficie d'un transfert d'eau souterraine provenant du bassin du Sebou situé plus au nord. L'extrême variabilité des volumes montre un accord avec la nature calcaire des aquifères moyenne atlasique marocain. Ceci démontre que les nappes du « château d'eau du Maroc » sont très peu inertielles pouvant entraîner conjoncturellement de très faibles volumes d'eau disponibles en surface pour l'irrigation des parcelles agricoles via le système d'eau gravitaire traditionnel. A cet égard, les années marquées par une sécheresse pluviométrique sévère, ont vu cette ressource chuter considérablement par rapport à la période humide et ont été marquées par de profond changement hydro-agricole. Notons qu'on est en train d'appliquer d'autres méthodes de séparation des épisodes de tarissement, et de détermination des débits modaux pour les comparées avec la méthode automatisée.

**Remerciement** : Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'Appel à Projet Recherche au profit des CEDocs, entre le laboratoire « DPRP » Maroc et l'unité de recherche « LOTERR » France.

## Bibliographie

- Binet S., 2018 : *Réserve régulatrice des aquifères et perturbations anthropiques : Implications en termes de transferts d'eau, de carbone et de contaminants vers les rivières*. Université d'Orléans.
- Castany G., 1982 : *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Dunod.
- Castany G. et Margat, J., 1977 : *Dictionnaire Français d'hydrogéologie* (Editions du BRGM).
- El Orfi T., El Ghachi M. et Lebaut S., 2020 : Variabilité des précipitations dans le bassin versant de l'oued Oum ErRbia en amont du barrage Ahmed El Hansali. In : *Renforcement de la résilience des hydrosystèmes face aux changements globaux : « de la mesure hydrologique aux modèles de gestion », 47-52.*
- Gischer L., Hallot É., Houbrechts G., Campenhout J. V. et Petit F., 2012 : Analyse des débits en période de tarissement : Essai d'une typologie régionale appliquée à des rivières du bassin de la Meuse (Belgique). *BSGLg*, **59**, 59-80.
- Lang C. et Gille E., 2006 : Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage. *Noroi*, **201**, 31-43. <https://doi.org/10.4000/noroi.1743>
- Lebaut S., 2000 : *L'apport de l'analyse et de la modélisation Hydrologiques de bassins versants dans la Connaissance du fonctionnement d'un aquifère : Les grès d'Ardenne-Luxembourg*. Thèse de doctorat, Université de Metz.
- Lebaut S., Qadem A., Akdim B., Gille E. et Laouane M., 2021 : Estimation des réserves en eau souterraine régulatrices dans la partie moyen-atlasique du fleuve Sebou (Maroc). *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, **384**, 169-173. <https://doi.org/10.5194/piahs-384-169-2021>
- Margat J., 1969 : *Ressources en eau souterraine et bilan des nappes* (p. 73). BRGM.
- Michard A., Ouarhache D. et El-Arabi H., 2011 : Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc. *Éditions du service géologique du Maroc*, Vol. **4**.
- Moghli E. et Benjelloun Touimi M., 2000 : Valorisation de l'eau d'irrigation dans les grands périmètres irrigués au Maroc cas des productions végétale : Situation actuelle et éléments de stratégie. *Transfert de Technologie en Agriculture*, **66**, 1-4.
- Sallak B., 2019 : *Les risques hydrologiques d'inondations et la problématique d'aménagement des territoires de piémont : Cas du dir de Taghzirt à Zaouit Echiekh, Province de Béni Mellal, Maroc*. Thèse de doctorat, Université de Lorraine.
- Serbout R., 2001 : *Le bassin versant de l'oued Oum er Rébia en amont de Déchra el Oued (moyen-Atlas) : Contribution à l'étude des phénomènes hydro-climatiques*. Thèse de doctorat, Université de Nice.
- Tallaksen L. M., 1995 : A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, **165** (1-4), 349-370. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)02540-R](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)02540-R)