

L'UTILISATION DES COURBES DE RECESSION DANS LA CONNAISSANCE DES TRANSFERTS EN MILIEU KARSTIQUE, APPLICATION AUX SYSTEMES KARSTIQUES DES MONTS DE TLEMCCEN (NORD-OUEST ALGERIEN)

Habib Azzaz ⁽¹⁾, *Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE), Université Mascara, Algérie,*
email : azzazh@yahoo.fr

Belkacem Bekkoussa ⁽²⁾, *Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE), Université Mascara, Algérie,*
email : bekkoub@yahoo.fr

Abderrahmane Hamimed ⁽³⁾, *Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (LRSBG), Université Mascara, Algérie,* email : hamimed@dr.com

Abdelkader Khaldi ⁽⁴⁾, *Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (LRSBG), Université Mascara, Algérie,* email : khaldi3dz@yahoo.fr

Résumé – La compréhension du fonctionnement hydrodynamique des eaux souterraines en milieu karstique par les méthodes classiques est relativement dépassée. La description par des modèles mathématiques de la décrue et du tarissement des écoulements karstiques est malaisée, du fait de l'hétérogénéité du milieu et de l'influence des écoulements provenant de la zone non saturée. Une limitation du volume de tarissement à la seule participation de la zone noyée peut entraîner une erreur importante des capacités réelles de celle-ci. La variabilité du coefficient de tarissement et l'évolution du débit initial de tarissement à l'exutoire de quatre systèmes karstiques à travers les Monts de Tlemccen, durant le cycle hydrologique indiquent que la recharge se passe en forte proportion dans la zone non saturée. Donc, durant des crues succédant les périodes pluvieuses, les réserves suspendues se rechargent et fournissent par conséquent un écoulement retardé qui assure un soutien important du débit des sources.

Mots-Clés : Tarissement ; Crue ; Karst ; Hydrogramme ; Zone non saturée

1. INTRODUCTION

L'utilisation de l'hydrodynamique souterraine dans l'étude des systèmes karstiques s'est révélée déterminante pour la compréhension du fonctionnement de ce type d'aquifère. A. Mangin (1975), pose les bases de cette approche et propose à partir de l'étude mathématique des courbes de décrue et de tarissement une classification des systèmes en fonction de leur degré de karstification mais aussi de l'importance de leur zone noyée. Cette seule approche, ne peut suffire à tout expliquer, en particulier la participation des différents types d'eau à l'écoulement et l'origine de ces derniers.

Les résultats des études hydrochimique et isotopique, H. Azzaz et al (2008) ont confirmé l'importance de la zone non saturée dans le fonctionnement des systèmes karstiques des Monts de Tlemccen et le rôle de ces eaux dans le processus chimique de karstification.

Il est donc intéressant d'étudier de quelle façon ces eaux interviennent dans l'hydrodynamiques des systèmes karstiques étudiés.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Partant des travaux de Boussinesq (1904) et Maillet (1905) définissant la loi de vidange d'une nappe ou d'un réservoir, de nombreux auteurs ont proposé une application aux aquifères karstiques sans pour autant qu'un consensus soit trouvé (Schoeller, 1965; Drogue, 1967 et Tripet, 1969). Des revues critiques de ces travaux ont été réalisées par Mangin (1970) et Obarti (1987) qui constatent que :

- la réalité de l'aquifère karstique ne peut être prise en compte par les schémas utilisés (réseau de fentes et fissures);

- la décomposition sous forme de somme d'exponentielles représentant différents réservoirs au sein de la zone noyée n'est valide que si les réservoirs sont indépendants, ce qui n'est pas le cas dans la réalité.

Aussi Mangin (1970) propose un modèle constitué de deux réservoirs indépendants, représentant la zone noyée et la zone d'infiltration, et qui tient compte des caractères particuliers de l'infiltration en milieu karstique (Figure 1).

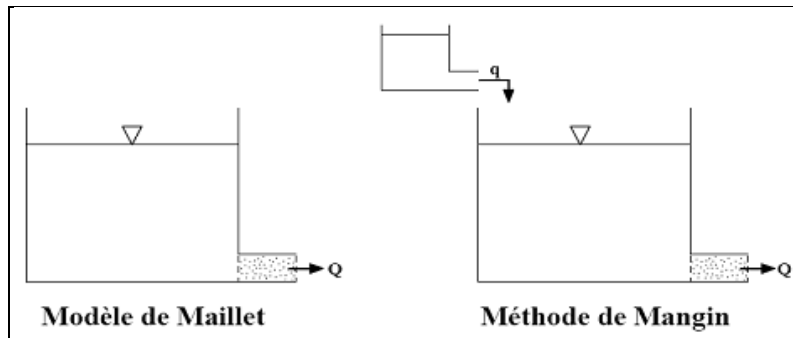


Fig. 1. Comparaison entre le modèle de Maillet et le modèle de Mangin

La méthode consiste à distinguer deux phases différentes lors de la récession :

- la première correspond à la vidange de la zone noyée en régime influencé, c'est-à-dire tant que l'infiltration se poursuit : $Q(t) = \phi(t) + \Psi(t)$ avec :

$\phi(t)$: vidange de la zone noyée (mais n'a de sens qu'à partir du tarissement) ;

$\psi(t)$: se rapporte au fonctionnement de la zone d'infiltration.

- la seconde décrit la vidange lorsque la pluie a cessé et que la zone d'infiltration n'alimente plus la zone noyée : le régime est non influencé : $\phi(t) = Q_{R0} \cdot e^{-\alpha t}$

Le modèle utilisé pour décrire la fonction d'infiltration a été établi empiriquement à partir de l'analyse de nombreuses décrues et de l'infiltration dans une grotte (Mangin, 1970).

C'est une fonction homographique (Marsaud, 1997) voir figure 2.

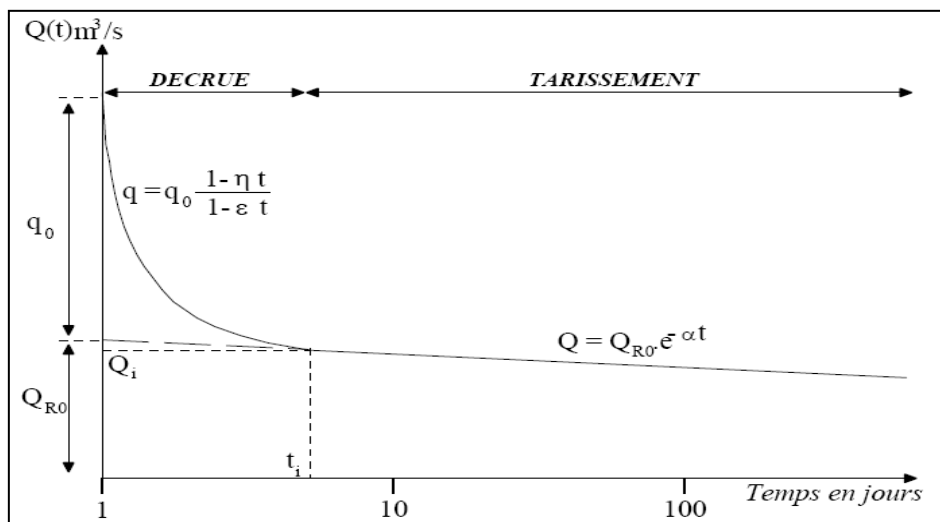


Fig. 2. Décomposition de la récession selon la méthode de Mangin (in Marsaud, 1997)

3. ESTIMATION DES VOLUMES DE TARISSEMENT

Afin d'étudier le fonctionnement des systèmes karstiques à travers les Monts de Tlemcen, nous avons étudié le tarissement de plusieurs crues à différentes périodes. Les mesures ont été effectuées dans trois stations hydrométriques : Seb dou, Chouly et Bahdel. En effet, ces oueds drainent à forte proportion les eaux dérivant des systèmes karstiques situés en amont. En l'absence de transfert de pression, donc de changement des conditions d'écoulement à l'exutoire, toute eau peut participer au tarissement. Ainsi les écoulements diffus ou différés à travers la zone non saturée en relation hydraulique avec la zone noyée peuvent soutenir largement les débits de tarissement. Ces écoulements peuvent assimilés à un égouttage des parties supérieures de l'aquifère karstique (Puig, 1987 ; Azzaz, 2008).

3.1. Résultats et discussions

Les variations des temps des décrues et des valeurs des coefficients de tarissement pour les crues à Seb dou (Tableau 1), Oued Chouly (Tableau 2) et à Béni Bahdel (Tableau 3) et qui sont intervenues à des périodes hydrologiques distinctes amènent les constatations et les indications exposées ci-dessous.

Tableau 1. Station Oued Seb dou

Crue	Q max (m ³ /s)	Q ₀ (m ³ /s)	T (h) décrue	α	Vd ₀ (m ³)
28/09/00	118,86	6,75	1h 45	0,21	2,78 . 10 ⁶
14/10/00	97,02	1,18	5h 30	0,088	1,16 . 10 ⁶
23/10/00	5,17	1,13	11h 30	0,031	3,15 . 10 ⁶
25/10/00	4,10	1,26	5h 30	0,073	1,49 . 10 ⁶
28/12/00	20,00	0,98	8h 00	0,065	1,30 . 10 ⁶
28/01/01	24,55	1,28	6h 00	0,042	2,63 . 10 ⁶
10/10/01	315,50	6,82	4h 48	0,17	3,47 . 10 ⁶
18/08/03	186,40	5,70	2h 30	0,25	1,97 . 10 ⁶

Tableau 2. Station Oued Chouly

Crue	Q max (m ³ /s)	Q ₀ (m ³ /s)	T (h) décrue	α	Vd ₀ (m ³)
10/10/02	3,42	0,31	10h 06	0,070	0,38 . 10 ⁶
25/11/02	2,16	0,28	19h 00	0,044	0,55 . 10 ⁶
07/08/03	7,2	1,02	4h 34	0,089	0,99 . 10 ⁶
08/08/03	4,5	0,94	6h 00	0,089	0,91 . 10 ⁶

Tableau 3. Station Béni Bahdel

Crue	Q max (m ³ /s)	Q ₀ (m ³ /s)	T (h) décrue	α	Vd ₀ (m ³)
16/09/97	249	1,91	15h 33	0,015	11 . 10 ⁶
27/09/99	240	2,04	8h 30	0,1	1,76 . 10 ⁶

α : coefficient de tarissement

Vd₀ (m³) : volume dynamique en m³

3.1.1. Station de Seb dou

- Les crues isolées survenant en plein tarissement estival et début d'automne (28/09/00 et 18/08/03) montrent des coefficients élevés (0,21 et 0,25) et des décrues relativement rapides (1h 45 et 2h 30). L'influence de ces pluies orageuses sur le débit est insignifiante et montre qu'une grosse partie de celle-ci a été stockée ou est encore en transit dans la zone non saturée.

- Les crues du **14 au 25/10/2000** intervenant après la crue estivale du 28/09/2000, montrent des coefficients de tarissement plus faibles (0,07 et 0,09) avec des décrues légèrement plus étalées que la précédente (5h 30).

- La crue du **10/10/2001** survient après le tarissement estival. Elle est provoquée par une pluie de 42,3 mm. On remarque une décrue rapide (4h 48) et un coefficient de tarissement

relativement élevé (0,17). Le résultat de cette crue corrobore ceux des crues précédentes, une grosse partie des pluies efficaces a été stockée dans la zone non saturée.

- Les crues du **28/12/2000** et **28/01/01** surviennent pendant les hautes eaux d'hiver. On constate des décrues légèrement plus étalées (respectivement 8h 00 et 6h 00) et des coefficients de tarissement relativement plus faibles (respectivement 0,065 et 0,042). Ces paramètres témoignent d'une recharge de la réserve en raison de nombreuses pluies successives entre octobre 2000 et janvier 2001.

Les variations des temps des décrues et des valeurs des coefficients de tarissement pour les crues précédentes (Tableau 1) qui sont intervenues à des périodes hydrologiques distinctes amènent les constatations et les indications exposées ci-dessous.

1- Le coefficient de tarissement décroît tout au long de cette période. On constate de plus que le temps de décrue et le volume des réserves le long de cette même période augmentent. Les crues isolées du 28/09/00 et 18/08/03 interviennent en pleine période de tarissement estival et l'onde de crue passe très vite à l'exutoire ce qui explique une décrue rapide.

2- L'évolution du coefficient de tarissement au cours du cycle hydrologique est étroitement liée aux conditions de remplissage des réserves de la zone non saturée des systèmes qui alimentent cet oued à travers les différentes sources.

3- L'évolution du débit initial de tarissement Q_0 (décroissance des basses eaux vers les hautes eaux) semble indiquer que cette augmentation de la recharge se passe principalement au niveau de la zone non saturée. Ceci indique que les réservoirs suspendus des différents systèmes karstiques jouent un rôle prépondérant dans l'allure et la longueur des courbes de décrue et de tarissement. Quand ces réservoirs suspendus se rechargent aux moments des périodes pluvieuses, ils assurent un écoulement retardé et soutiennent les débits aux exutoires. Donc l'arrêt de la décrue ne signifie pas que la participation de la zone non saturée a cessé.

3.1.2. Station de Chouly

- La crue d'été (**07 et 08/08/2003**) survient en pleine période estivale en réponse à des pluies orageuses cumulant 24 mm. On constate des montées brusques avec des décrues rapides (4h 34 et 6h 00) et des coefficients de tarissements élevés (0,089). Ces observations montrent que les eaux nouvelles ne participent pas directement aux écoulements mais sont d'abord stockées dans la zone non saturée. Ces eaux parviennent ensuite plus ou moins rapidement à l'exutoire par des écoulements différés dans le système.

- La crue du **10/10/2002** intervient en période de reprise d'automne. Elle est engendrée par une pluie de 60 mm après un étiage de fin d'été. On remarque une décrue légèrement plus étalée que celles des crues estivales (10h 06). On constate de plus que le coefficient de tarissement est relativement élevé avec une faible atténuation par rapport aux crues d'été (0,07).

- La crue du **25/11/2002**, répond à une pluie de 79,4 mm survenant à peu près 1 mois après la précédente. Le temps de décrue augmente à 19h (presque le double). Le coefficient de tarissement a diminué de moitié. Cette évolution dans les paramètres est due à une amélioration dans les conditions de drainage. En effet, la recharge progressive de la zone non saturée du système a permis le transit des eaux d'infiltration vers les exutoires qui alimentent cet oued.

Les volumes de tarissements sont nettement plus faibles qu'à Seb Dou ce qui indique une réserve relativement plus faible. Cela confirme les observations effectuées à partir de l'hydrochimie qui a montré l'importance de l'inertie et de l'effet tampon des principaux systèmes qui alimentent oued Seb Dou (Azzaz. 2008). En effet, les systèmes d'alimentation

d'oued Chouly, généralement dérivent des dolomies de Terni (élément supérieur de la formation), dont les aquifères sont limités en réserves.

3.1.3. Station hydrométrique Béni Bahdel

- La crue observée le **16/09/1997** est consécutive à une pluie de 61 mm. Au cours du mois d'août, il est tombé 36 mm. Le graphe de l'hydrogramme (Figure I-9) montre une décrue relativement rapide (15h 33) qui est cependant perturbée par une petite averse. Le coefficient de tarissement est relativement faible (0,0015) avec une rupture de pente plus nette indiquant le début de tarissement. Les orages du mois d'août ayant contribué à la recharge de la zone non saturée pendant cette période ont engendré cette légère atténuation du coefficient de tarissement.

- La crue de reprise observée le **27/09/1999** est consécutive à une longue période d'étiage (5 mois : avril-août). Cette crue est provoquée par une pluie de 50 mm. La décrue est alors plus rapide que la précédente (8h 30). Le coefficient de tarissement est relativement fort (0,1) et le volume de tarissement peu important ($1,76 \cdot 10^6$). Ces résultats indiquent qu'une grosse partie de cette première averse a été stockée ou encore en transit dans la zone non saturée et sa contribution à l'émergence est insignifiante.

L'étalement relatif des décrues pour la station de Béni Bahdel pourrait être en rapport avec les deux phases de l'infiltration sur son bassin versant (l'infiltration dans les dolomies de Terni / résurgence au contact des marno-calcaires intermédiaires / réinfiltration dans les dolomies de Tlemcen).

4. Conclusion

Les observations effectuées sur les courbes de récession enregistrées aux stations hydrométriques des différents oueds des Monts de Tlemcen montrent que le "volume de tarissement" comprend tous les types d'eau susceptibles de contribuer aux écoulements et pour lesquels la courbe de restitution décrit une décroissance exponentielle (Azzaz, 2008).

D'une manière générale, la description par des modèles mathématiques de la décrue et du tarissement des écoulements karstiques est malaisée, du fait de l'hétérogénéité du milieu et de l'influence des écoulements provenant de la zone non saturée (Puig, 1986).

Les variations du coefficient de tarissement et de la durée des décrues enregistrées aux différents exutoires sont en rapport avec la plus ou moins grande participation de la réserve suspendue au soutien des débits, donc de l'état de recharge de la zone non saturée. En effet, la durée nécessaire au transit de l'infiltration (écoulements diffus ou différés) jusqu'aux exutoires est relativement grande.

Une limitation du volume de tarissement à la seule participation de la zone noyée peut entraîner une erreur importante des capacités réelles de celle-ci.

Cependant, la variabilité du coefficient de tarissement à l'exutoire d'oued Chouly est relativement plus faible que celles des oueds Sebdou et Béni Bahdel (Tableau 1 et 3). Ceci témoigne d'une réserve suspendue moins importante des systèmes d'alimentation d'oued Chouly par rapport à ceux de Sebdou et Béni Bahdel.

L'évolution de Q_0 , débit initial de tarissement durant le cycle hydrologique (élevé aux moments de basses eaux (étiage) et faible en périodes de hautes eaux) indique que la recharge se passe en forte proportion dans la zone non saturée.

En effet, les crues survenant après une longue période sèche (faible réserve suspendue) montrent un faible soutien des zones non saturées aux débits des sources d'alimentation des oueds. Lors des crues succédant les périodes pluvieuses, les réserves suspendues se

rechargent et fournissent par conséquent un écoulement retardé qui assure un soutien important du débit des sources qui alimentent ces oueds.

Ces conclusions nous amènent à supposer que la fonction $\Psi(t)$ ne rend compte que d'une fraction rapide de l'infiltration et que la fonction $\phi(t)$ s'ajuste en fait à la somme de deux écoulements différents : celui de la vidange de la zone noyée et celui que l'infiltration différée apporte à cette zone noyée, la zone désaturée pendant la récession participant d'abord à l'un, puis à l'autre (Puig, 1987).

Les résultats de cette approche hydrodynamique sont certainement en concordance avec les observations hydrochimiques et isotopiques (Azzaz et al, 2008).

Ces conclusions nécessitent d'être corroborées par une étude hydrodynamique plus approfondie avec un suivi des débits en périodes de crues aux exutoires des principaux systèmes karstiques des Monts de Tlemcen.

Références

Azzaz H., Charcheli M ; Meddi M . Houha B ; Puig J.M ; Achachi A . (2008) *The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria*. Hydrogeology Journal (2008) 16: 531–546.

Azzaz H. (2008) *Characterization of functioning of karst systems Tlemcen Mountain (North West Algeria) by the hydrochemical and isotopic methods, application vulnerability*. PhD Thesis, University of USTO Oran, Algeria

Boussinesq J. (1904) *Recherche théorique sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources*. Jour. Math. Pures et appl., 10, p. 5-78, p. 363-394.

Drogue C. (1967) *essai de détermination des composantes de l'écoulement des sources karstiques. evaluation de la capacité de rétention par chenaux et fissures*. Chroniques d'Hydrologie, BRGM, Serie III, 10, pp 43-47.

Forkasiewicz J., Paloc H. (1969) *Le régime de tarissement de la Foux de Vis. Etude préliminaire*, Chronique d'Hydrologie, BRGM, Serie III, 10, pp 59-73.

Mangin, A. (1970) *Contribution à l'étude d'aquifères karstiques à partir de l'analyse de courbes de décrue et de tarissement*. Annales de Spéléologie, 25 (3), pp 581-609.

Mangin A. (1975) *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques*. Thèse Etat, Univ, Dijon, Ann. Spléolo., 29, 285-332, 495-601 ; 30, 21-124.

Maillet E. (1905) *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Hermann, Paris, 218 p.

Marsaud B. (1997) *Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux*, Thèse de Doctorat, Orsay-Paris XI, BRGM, Orléans, 301 p.

Obarti F.J. (1987) *El analisis de sistemas aplicado a la hidrogeologia karstica*, Tesis Doctoral, Departamento de Geodinamica, Universidad de Granada, 230 p.

Puig J.M. (1987) *Le système karstique de la fontaine de Vaucluse*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Avignon, 208 p.

Schoeller H. (1965) *Hydrodynamique dans le karst (écoulement et emmagasinement)*. Hydrologie des roches fissurées. Coll. Dubrovnik AIHS-UNESCO, 3-20, 7 fig.

Tripet J.P. (1969) *Une méthode d'approche de l'analyse du tarissement d'une source karstique. Etude préliminaire*. Mém. BRGM, 76, p. 701-709.