

ÉTUDE DE LA RELATION ENTRE LE RUISSELLEMENT, LA PLUVIOMÉTRIE ET L'ÉVAPORATION DES BASSINS VERSANTS DE LA ZONE SUD DE LA MÉDITERRANÉE (CAS DE L'ALGÉRIE)

D. Benlarbi, D. Boutoutaou, M.L. Saker¹

Université Kasdi Merbah Ouargla, laboratoire d'exploitation et de valorisation des ressources naturelles en zones arides, faculté des sciences et de la technologie et des sciences de la matière, Ouargla 30 000, Algérie

¹Université Kasdi Merbah Ouargla, laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides, faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers, Ouargla 30 000, Algérie
benlarbihani@yahoo.com

(Received 6 May 2013 - Accepted 30 September 2013)

RÉSUMÉ

Les ressources en eau de l'Algérie sont irrégulièrement réparties dans l'espace et dans le temps, ce qui engendre d'énormes difficultés pour leur mobilisation. Les pénuries en eau sont en train de devenir un problème majeur. Nombre de régions souffrent déjà du déficit hydrique, d'autres suivront sans doute. Face à cette situation, la construction de nouveaux barrages devient indispensable. À travers les études hydrologiques et l'exploitation des futurs barrages, l'évaluation des apports de ces ouvrages aux sites est indispensable. Actuellement, le calcul du ruissellement interannuel en absence de données de mesure pour les cours d'eau non jaugés est déterminé à partir des formules empiriques ne prenant pas en considération des éléments météorologiques contribuant à la formation du ruissellement tels que la température et l'humidité de l'air. Malheureusement toutes ces formules ne fournissent pas des résultats précis. Les bassins versants qui ont été utilisés dans ce travail représentent presque la totalité de la surface de l'Algérie du Nord dont le nombre est de 106 bassins. L'objectif de la présente étude est d'établir des outils de travail, permettant aux planificateurs et aux aménagistes de déterminer la valeur du ruissellement interannuel des bassins versants dans les conditions climatiques de l'Algérie sans avoir recours aux formules empiriques souvent utilisées en absence de données de mesures, et conduisant à des erreurs aberrantes. Les paramètres de calcul du ruissellement interannuel par le modèle proposé sont des données météorologiques (température de l'air, humidité et pluviométrie) standards, toujours disponibles et diffusées périodiquement par les services de la météorologie et de l'hydrologie de l'Algérie. Les valeurs des ruissellements calculées par le modèle sont proches des valeurs des ruissellements mesurées, la différence entre elles ne dépasse pas $\pm 15 - 20 \%$.

Mots-clés: ruissellement, pluviométrie, évaporation, bassin versant, Algérie

ABSTRACT

Water resources in Algeria are not distributed evenly in space and time that engenders enormous difficulties for their mobilization. Water shortage is becoming a major problem. A number of regions already suffers from water deficiency and the others will soon follow. To solve this problem, the construction of new dams becomes indispensable. Through the hydrological studies and the exploitation of future dams, the evaluation of water yield in sites of these structures is indispensable. At present, the calculation of the interannual runoff in absence of data for the not gauged watercourse is determined from empirical formulae established especially for the climatic and geographical conditions of Algeria. Unfortunately, all these formulas do not provide accurate results. Watersheds which were used in the study represent almost the entire surface of Northern Algeria whose number is 106 basins. The objective of the present study is to establish working tools, allowing the planners and the managers to determine the value of the interannual runoff of watershed for the climatic conditions of Algeria without going through the empirical formulae often used in the absence of measurable data and leading to absurd errors. The calculation parameters for interannual runoff from the proposed model are standard meteorological data (air temperature, humidity and pluviometry), always available and periodically broadcasted by meteorological services and hydrology of Algeria. Runoff values calculated by the model are close to the values of measured runoff. The difference between them did not exceed 15 to 20%.

Keywords: runoff, pluviometry, evaporation, watersheds, Algeria

INTRODUCTION

Le régime des cours d'eau est fonction du climat. En Algérie parmi les éléments du climat, le plus variable est la pluie. C'est également elle qui conditionne directement le régime des cours d'eau (Annuaire hydrologique de l'Algérie 1954-1955; Assaba, 2004). En raison de son rôle primordial dans les études hydrologiques, le ruissellement a suscité de nombreux travaux qui sont loin d'avoir abouti à des méthodes de calcul fiables (Meddi, 1995; PNUD, 1987).

La totalité des formules de calcul du ruissellement couramment utilisées en Algérie relie le ruissellement à la pluviométrie. Ces formules sont issues de la célèbre méthode établie par Penck en 1896 (Padoun, 1973).

$$L_R = \lambda(P - P_o) \quad (1)$$

L_R : ruissellement moyen interannuel, mm ;

P : moyenne des pluies moyennes interannuelles, mm ;

P_o : seuil de ruissellement, mm ;

λ : coefficient, variant en fonction des zones géographiques et des pluies annuelles. Pour les conditions climatiques de l'Algérie, Gauthier (Saidi, 1990) donne $\lambda = 0.750$ et $P_o = 400$ mm, Coutagne (1948) préconise de prendre $\lambda = 0.736$ et $P_o = 404$ mm et Samie (1957), $\lambda = 0.694$ et $P_o = 434$ mm.

Les formules de type Penck (1), expriment uniquement la tendance d'augmentation du ruissellement avec la croissance de la pluviométrie. Vérifiées sur un très grand nombre de données, ces formules conduisent à des résultats très variés. Selon certains auteurs (Padoun, 1973; SOGREAH/ANRH, 1989) la relation entre le ruissellement et la pluviométrie dans les zones arides et semi-arides n'est pas linéaire.

L'étude générale du ruissellement interannuel établie par (SOGREAH/ANRH, 1989) sur un très grand nombre de bassins versants expérimentaux a donné naissance à la formule suivante :

$$L_R = 720 \left(\frac{P - 250}{1000} \right)^{1.85} \quad (2)$$

L_R : ruissellement moyen interannuel, mm;

P: pluies moyennes annuelles, mm;

D'autres formules ont été proposées, tenant compte en plus de la pluviométrie d'autres facteurs qui affectent le ruissellement comme la superficie, la lithologie et les caractéristiques physico géographiques du bassin versant (Taibi, 1994; Touat, 1988; Mebarki, 2009).

La formule (2) qui confirme la non linéarité de la relation entre le ruissellement et la pluviométrie pour les zones arides et semi-arides n'a pas amélioré les calculs du ruissellement. Les analyses effectuées sur un grand nombre de bassins versants, situés dans différentes zones géographiques montrent que pour presque une même valeur de pluie (P), il existe plusieurs lames ruisselées (R) correspondant à cette valeur (Tableau 1).

TABLEAU 1

Relation entre le Ruissellement et la Pluviométrie

Station (code ou site)	Cours d'eau	Pluie, mm	Ruissellement, mm
Sidi Brahim (02-10-01)	Bouroumi	655	187
Beni-Amrane (barrage)	Isser	650	125
Ain Charchar (03-11-01)	Kebir Ouest	652	138

La tentative d'augmenter la précision du calcul en introduisant d'autres facteurs influençant sur le ruissellement comme par exemple la surface du bassin versant n'a pas abouti à des résultats appréciables. L'objectif de cette étude est de montrer qu'en appliquant la formule (2) pour des précipitations presque constantes (650, 652 et 655mm), le ruissellement obtenu est presque constant (132, 133 et 135) alors qu'en réalité le ruissellement varie beaucoup (125, 138 et 187). D'où la nécessité d'introduire d'autres paramètres pour obtenir des valeurs du ruissellement plus proches des valeurs observées.

DONNÉES ET MÉTHODES

Données hydro-pluviométriques

L'étude du ruissellement est basée sur des données des débits annuels (ruissellements annuels) collectées auprès de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) de plus de 80 bassins versants répartis uniformément sur la zone d'étude et contrôlés par les stations hydrométriques. Les longueurs des séries d'observation varient entre 30 -50 ans (1955-2008). La pluviométrie reçue par ces bassins versants est déterminée par la méthode de Thiessen à partir des stations pluviométriques situées à l'intérieur des bassins. En absence de données, la pluie a été évaluée à partir de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (ANRH, 1993) présentée dans la Figure 1.

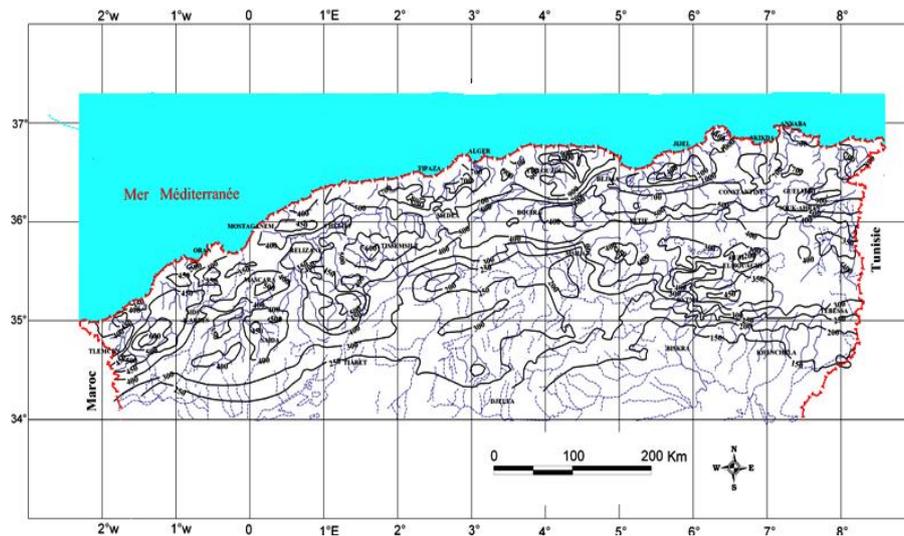


Figure 1. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (ANRH).

Toutes ces stations hydrométriques et pluviométriques sont gérées par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH). La Figure 2 présente les grands bassins versants selon le découpage de cette agence.

Les données climatiques (température et humidité) de l'air, fournies par l'office national de la météorologie (l'ONM) proviennent de plus de 40 stations météorologiques bien réparties sur l'ensemble du territoire algérien. La durée d'observation de ces éléments météorologiques s'étale sur 20 ans (1988 -2008); ces éléments sont nécessaires pour la détermination de l'évapotranspiration potentielle de chaque bassin versant (Boutoutaou *et al.*, 2003).

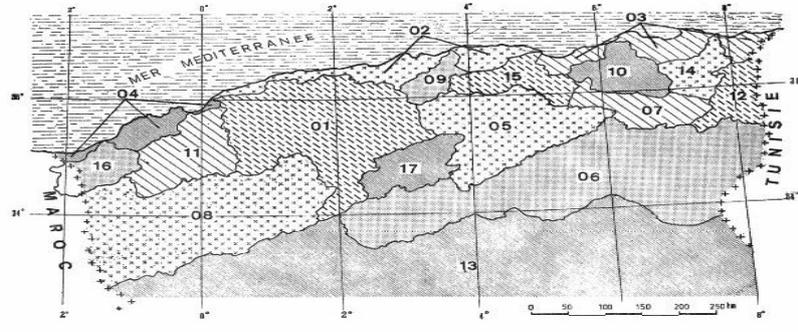


Figure 2. Les grands bassins versants de l'Algérie.

Méthode du bilan hydrologique des bassins versants

La plupart des formules existantes, permettant le calcul du ruissellement sont établies à partir de l'équation du bilan hydrologique. L'expression de l'équation du bilan hydrologique de courte période est la suivante (Babkin & Vouglinski, 1982; Vladimorov, 1990) :

$$P = L_R + E_R \pm \Delta S \pm \Delta W \quad (3)$$

L_R : ruissellement moyen interannuel;

E_R : évaporation moyenne interannuelle réelle;

ΔS : variation des réserves d'eau dans le bassin versant – variation du stock d'eau dans les lacs, les cours d'eau, ainsi que la variation des réserves d'eaux souterraines. La composante (ΔS) peut avoir des valeurs positives (pendant les périodes humides), comme elle peut avoir des valeurs négatives (pendant les périodes sèches);

ΔW : l'échange hydrique souterrain en absence de concordance des bassins versants topographique et hydrogéologique. La composante (ΔW) est positive si le bassin topographique est alimenté par le bassin hydrogéologique, elle est négative dans le cas contraire.

Avec l'augmentation de la surface du bassin versant, la valeur (ΔW) décroît. Pour des bassins versants assez grands, on considère généralement que (ΔW) ≈ 0

$$P = L_R + E_R \pm \Delta S \quad (4)$$

Pour une durée de « n » années relativement longue, l'équation du bilan hydrologique des bassins versants sera exprimée par la relation suivante :

$$\frac{1}{n} \cdot \sum P = \frac{1}{n} \cdot \sum L_R + \frac{1}{n} \cdot \sum E_R \pm \frac{1}{n} \cdot \sum \Delta S \quad (5)$$

La troisième composante de la droite de l'équation pour une longue durée tend vers zéro. L'équation du bilan hydrologique pour une longue période est la suivante :

$$P = L_R + E_p \quad (6)$$

Établissement du modèle de calcul

Les quantités d'eau évaporées à partir d'un sol, sont étroitement liées aux quantités d'eau précipitées. Dans l'ensemble la croissance de la pluviométrie et de l'énergie solaire, provoque l'augmentation de l'évaporation (Babkin & Vouglinski, 1982). Dans les zones semi-arides (et surtout arides), pour des petites pluies et forts flux énergétiques, presque toute l'eau précipitée se perd par évaporation. À ce moment, l'indice d'aridité du climat (P / E_p) tend vers zéro. Par contre dans les zones humides, en présence de fortes pluies et faibles ressources énergétiques, l'indice d'aridité (P / E_p) sera relativement élevé (Babkin & Vouglinski, 1982). Le Tableau 2 illustre la relation entre les composantes du bilan hydrologique et l'indice d'aridité mesurés dans les différentes zones géographiques et climatiques de l'Algérie.

TABLEAU 2

Relation entre les Composantes du Bilan Hydrologique et l'Indice d'Aridité

Zone climatique	Cours d'eau	Pluie P, mm	Evaporation transpiration potentielle ET_o , mm	Evaporation réelle E_R , mm	Ruissellement L_R , mm	Indice d'aridité $I = P / ET_o$
Humide	El Kentra	1060	982	686	374	1.08
	Sebaou	950	1167	610	340	0.81
Sub-humide	Chiffa	790	1432	519	271	0.55
Semi-aride	Harbil	600	1543	480	120	0.39
	Rhumel	570	1730	471	99	0.33
	Sly	550	1972	457	93	0.28
Aride	Ouassel	358	2256	331	27	0.16
	Chabro	332	2400	319	13	0.14
	El Abiod	300	3086	290	10	0.10
Hyper-aride	Boussaada	210	3340	203	7	0.06

La méthode d'évaluation de l'évapotranspiration réelle (E_{TR}) des bassins versants, repose sur le schéma suivant (Boutoutaou *et al.*, 2003):

- Pour de faibles précipitations ($P < 150 - 200$ mm), l'évaporation réelle (E_R) proche des valeurs de ces dernières, (E_R) équivaut à (P) qui constitue alors une limite;
- Pour de fortes précipitations ($P > 900$ mm), l'évaporation réelle (E_R) augmente jusqu'à un palier ou un seuil correspondant à l'évapotranspiration potentielle (ET_o);
- Pour des valeurs moyennes des précipitations ($P = 400 - 800$ mm), l'évaporation réelle (E_R) est inférieure à (P) et à (ET_o) simultanément, dans ce cas, il existe toujours une place au ruissellement (L_R). Ce schéma est illustré dans la Figure 3.

Le type du modèle proposé reliant les trois caractéristiques (E_R , ET_o et P) et répondant à ces trois conditions est le suivant :

$$E_R = ET_o \left(1 - \exp\left(-\frac{P}{ET_o}\right) \right) \quad (7)$$

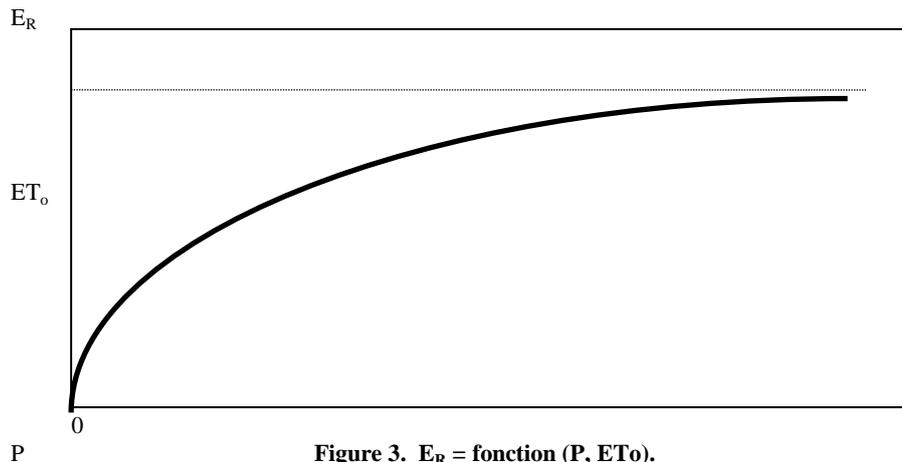


Figure 3. $E_R =$ fonction (P , ET_o).

Le modèle proposé, qui est illustré sur un grand nombre de bassins versants (plus de 80 bassins versants) situés dans différentes régions géographiques et climatiques (Figure 4) montre qu'effectivement l'évaporation réelle est fonction de la disponibilité en eau dans le sol ainsi que l'évapotranspiration potentielle qui est caractérisée essentiellement par la température et l'humidité de l'air.

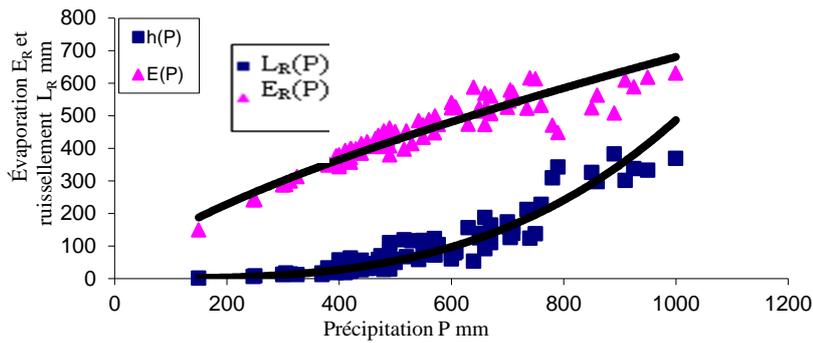


Figure 4. Relation entre le ruissellement, l'évaporation et les précipitations.

L'évapotranspiration potentielle (ET_o) qui est assimilée selon Coutagne (Medjrab, 1988) au pouvoir évaporant de l'atmosphère est une évaporation maximale possible d'une

surface entièrement humide (tapis végétal, sol, étendue d'eau, etc...) dans des conditions climatiques données. Pour les zones climatiques de l'Algérie, Boutoutaou (1995) propose de la calculer par la relation suivante:

$$ET_o = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (8)$$

ET_o: Evapotranspiration potentielle annuelle en mm;

T: température moyenne annuelle de l'air, en °C;

H: Humidité moyenne annuelle de l'air en %;

β: coefficient correctif (coefficient d'ajustement) qui tient compte de la spécificité de l'endroit ou de l'emplacement de la station météorologique (station côtière, station montagneuse, station de plaine, etc...). Les valeurs de ce coefficient représentent le rapport entre les valeurs de l'évapotranspiration potentielle calculée et mesurée (coefficient d'ajustement) propre à chaque station météorologique, variant de 0,73 à 1,49 (Tableau 3).

TABLEAU 3

Détermination du Coefficient (β)

Station météo.	β						
Beni-saf	0,86	M'sila	1,16	Tlemcen Z.	1,08	Bechar	0,99
Annaba	1,24	Biskra	1,15	Tlemcen S.	0,91	El Goléa	0,95
Skikda	0,97	Ain Safra	1,07	Blida	0,74	Guelma	0,73
Oran	1,11	El Oued	0,83	Constantine	0,82	Ain amenas	1,2
Dar El Beida	0,74	Tougourt	1,02	Setif	1,38	Timimoun	0,95
Bejaia	0,99	El Kheider	1,27	Batna	1,2	Djanet	0,8
Mostaganem	0,92	Djelfa	0,84	Tebessa	1,15	Adrar	1,17
Meliana	0,74	Ghardaia	0,96	Saida	1,49	Tindouf	1,07
Echellif	1	Beni abbas	0,86	Mascara	1	Tamenrasset	0,89
Tlemcen Z.	1,08	Bechar	0,99	Medea	0,74	Tizi-ouzou	0,74
Tlemcen S.	0,91	El Goléa	0,95	Bel Abbes	1,49	Tiaret	1,1
Blida	0,74	Guelma	0,73	BordjBorriridj	1		

Remarque : pour les stations météorologiques ne figurant pas dans le Tableau, (β) ≈ 1

Concernant le ruissellement la relation entre ce dernier et la pluviométrie (Figure 4) dans les zones arides et semi-arides est peu exprimée (pluie inférieure à 300—350 mm) à cause des pertes colossales des pluies sous l'effet de l'évaporation. Par contre cette relation est fortement exprimée dans les zones humides et subhumides grâce au ruissellement de grandes quantités de pluie. La relation entre le ruissellement et la pluviométrie n'est pas linéaire dans les zones climatiques de l'Algérie. Les travaux effectués par de Samie (1957) et ceux reportés dans SOGREA/ANRH (1989) confirment cette relation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs de l'évaporation réelle calculées par la relation (7) de plus de 80 bassins versants ont été comparées à celles des valeurs mesurées. La comparaison montre que cette relation fournit des résultats satisfaisants. Le coefficient de corrélation entre les valeurs de l'évaporation calculées et mesurées est de 0.934 (Figure 6).

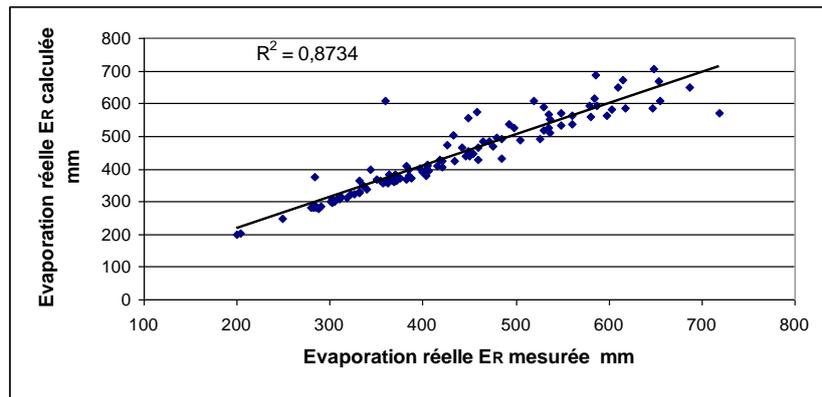


Figure 6. Comparaison entre les évaporations réelles calculées et mesurées.

Les relations établies ci-dessus permettent de proposer une formule de calcul du ruissellement interannuel pour les cours d'eau non jaugés des zones climatiques de l'Algérie. Le ruissellement est calculé par la différence entre la pluie et l'évaporation réelle:

$$\begin{cases} E_R = ET_o \left(1 - \exp\left(-\frac{P}{ET_o}\right) \right) \\ L_R = P - E_R \end{cases} \quad (9)$$

E_R : évaporation interannuelle en mm;

ET_o : évapotranspiration potentielle annuelle en mm;

L_R : ruissellement interannuel en mm.

Il est à souligner que la valeur du ruissellement interannuel peut être considérée comme une valeur presque stable (norme) pour un bassin donné. L'infiltration et la recharge des eaux souterraines influent sensiblement sur les valeurs du ruissellement de courtes périodes (ruissellement journalier, mensuel ou ruissellement annuel). Pour des valeurs du ruissellement interannuel la recharge des eaux souterraines et leur décharge s'annulent avec la succession des périodes humides (recharge du bassin versant) et des périodes sèches (décharge du bassin versant) – périodes interannuelles.

Les valeurs des ruissellements interannuels de tous les bassins versants ont été calculées par les relations (9) puis comparées à celles mesurées (Figure 6).

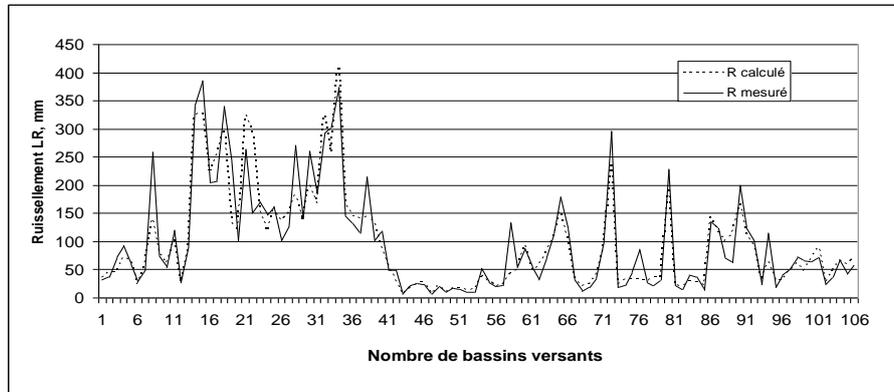


Figure 6. Comparaison entre les ruissellements calculés et mesurés.

Pour l'ensemble des échantillons, la relation entre les valeurs calculées par (9) et mesurées est très forte, elle est traduite par un coefficient de corrélation de l'ordre de 0.94. L'écart entre ces valeurs ne dépasse pas $\pm 15 - 20\%$.

La précision de calcul du ruissellement par les relations (9) est liée à la précision de détermination de la température, de l'humidité de l'air, de la pluviométrie et par conséquent de l'évaporation réelle du bassin versant. Si ces éléments météorologiques sont représentatifs pour le bassin versant (éléments déterminés à partir des stations de mesure situées à l'intérieur du bassin), le résultat du calcul du ruissellement est très précis. Dans le cas contraire (les stations sont situées à l'extérieur du bassin) la précision du calcul décroît avec l'éloignement de ces stations du bassin versant.

CONCLUSION

À travers les études hydrologiques et d'exploitation des futurs barrages, l'évaluation des ruissellements (apports) aux sites de ces ouvrages est indispensable.

La majorité des formules de calcul du ruissellement interannuel couramment utilisées en Algérie pour les cours d'eau non jaugés à partir uniquement d'un seul paramètre qui est la pluviométrie n'aboutissent pas à des résultats appréciables. Pour une seule pluie, il peut exister plusieurs ruissellements.

L'étude de la relation entre le ruissellement, la pluviométrie et l'évaporation d'un grand nombre de bassins versants situés dans les différentes zones géographiques et climatiques a permis la mise au point d'une méthode de calcul du ruissellement interannuel pour ces régions. Le nombre de paramètres constituant la formule est très réduit (la température et l'humidité de l'air ainsi que la pluviométrie moyenne reçue par le bassin versant). Ces paramètres sont des données standards et sont toujours disponibles dans les atlas et les annuaires hydro-climatiques. Vérifiée sur un très grand nombre de données, la méthode fournit des résultats satisfaisants.

Au fur et à mesure de la collecte de données, la méthode de calcul du ruissellement proposée pourrait être revue et corrigée.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes collègues Saggai Sofiane et Zeggane Houari enseignants au département d'hydraulique à l'université de Ouargla et le personnel de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) pour leur aide précieuse.

RÉFÉRENCES

- ANRH 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.). Ministère de l'équipement, Alger, Éd. I.N.C.
- Annuaire Hydrologiques 1950/1951—2001/2002. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, ANRH, Alger.
- Assaba, M. 2004. *La connaissance des pluies mensuelles au service de la modélisation hydrologique des apports mensuels en eau de surface : application à l'Algérie du Nord, au Sud de la France et à la Corse*. Thèse doctorat, Université de Nice-Sofia Antipolis, 422 p.
- Babkin, B.I., Vouglinski, B.S. 1982. *Bilan hydrologique des bassins versants*. Éd. Hydro-météo, Moscou, 190 p.
- Boutoutaou, D. 1995. *Évaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie*. Thèse de doctorat PhD en sciences techniques, institut d'hydraulique, Moscou, 200 p.
- Boutoutaou, D., Illinitch, V.V., Rezoug, L. 2003. *Détermination du ruissellement annuel des cours d'eau de l'Algérie*. Sciences agronomiques, Moscou, p. 31-32.
- Coutagne, A. 1948. Contribution à l'étude de l'écoulement en Algérie. Annuaire hydrologique de l'Algérie 1947/1948, DSCH SCEGGT, Alger, pp. 3-55.
- Mebarki, A. 2009. *Ressources en eau et aménagement en Algérie*. Les bassins hydrographiques de l'est. O.P.U., Alger, 389 p.
- Meddi, M. 1997. Étude de l'écoulement annuel dans le Nord de l'Algérie: proposition de formules d'estimation du débit moyen annuel. *Rev. Algérie Équipement*, 27: 5-8.
- Medjrab, A. 1988. Étude de l'évaporation et l'évapotranspiration dans le Nord de l'Algérie, et leurs impacts sur la végétation. O.P.U., Alger (en arabe).
- Padoun, N.N. 1973. *Écoulement interannuel et bilan hydrique de l'Algérie du Nord*. Thèse de doctorat Ph.D., institut d'hydrométéorologie, Kiev, 174 p.
- PNUD 1987. Guide maghrébin pour l'exécution des études et travaux de retenues collinaires. Algérie, Tunisie, Maroc. Projet OPE RAB 80/011, ressources en eau dans les pays de l'Afrique du nord, 177 p.
- Saidi, A. 1990. Bilan des connaissances sur l'apport moyen en Algérie (analyse bibliographique). *Eau et développement*, 9: 47-56.
- Samie, C. 1957. Monographie du bassin de la Mafragh, Alger. *Annuaire hydrologique de l'Algérie* (année 1956-57), pp. 1-67.
- SOGREAH/ ANRH 1989. *Étude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires et mise au point d'outils de calculs pratiques à l'usage des directions de l'hydraulique des Wilaya*. Rapport définitif, novembre 1989, Grenoble, France.
- Taïbi, R. 1994. Essai de régionalisation des écoulements en Algérie. *Eaux et Sols d'Algérie*, ANRH, Alger, 7: 33-50.
- Touat, M. 1988. Études hydrologiques des retenues collinaires. *Eaux et Sols d'Algérie*, ANRH, Alger, 1: 13-18.
- Vladimorov, A.M. 1990. *Calculs hydrologiques*. Éd. Hydro-météo, Moscou, 365 p.