LES EFFETS D'UNE BAISSE DE LA PLUVIOMETRIE SUR LES VOLUMES REGULARISABLES DES BARRAGES D'ALGERIE

IMPACT OF A DECREASE IN RAINFALL ON REGULARIZED VOLUMES BY DAMS OF ALGERIA

Mohamed ASSABA. I-CITY URE 005, 930 Route des Colles , B.P. 145, 06903 Sophia Antipolis, France. Mohammed.ASSABA@unice.fr
Jean-Pierre LABORDE. Polytech'Nice Sophia, 930 Route des Colles, B.P. 145, 06903 Sophia Antipolis, France. laborde@unice.fr
Salima REZAK. USTOMB, B.P. 1505 Bir El Djir, Oran 31000, Algérie. sali_rez@yahoo.fr

RESUME : L'Agence Nationale de Ressources Hydrauliques a publié en 2003, une étude de synthèse des apports en eau de surface sur le Nord de l'Algérie. Elle reposait sur une modélisation mensuelle du passage pluie-débit, sur trente années d'observations. Cette étude a été réactualisée dans le cadre du Plan National de l'Eau. Nous disposons donc maintenant de la pluviométrie mensuelle et des écoulements de surface sur les 43 années de 1965 à 2008. Cette modélisation permet aussi d'estimer les volumes régularisables et de prévoir ce que pourrait être l'impact d'une baisse de la pluviométrie. Nous avons montré qu'une baisse de 15% de la pluviométrie provoquerait une baisse des écoulements de surface de l'ordre de 30 à 45 % suivant les régions. Cette baisse modeste des précipitations aurait donc des conséquences très importantes sur les volumes régularisables.

Mots-clés : Barrages, apports, régularisation, pluviométrie, Algérie

ABSTRACT: The National Agency for Hydraulic Resources in 2003 published a study on surface water resources in northern Algeria. It was based on a monthly rainfall-runoff model calibrated during thirty years. This study was updated for the National Water Plan. We can now use the monthly rainfall and runoff on the 43 years from 1965 to 2008. This model also estimates the regularized volumes and predicts what might be the impact of a decrease in rainfall. We showed a 15% decrease in rainfall would cause a decrease in runoff of about 30 to 45% depending on the region. This modest modification of rainfall would have very important consequences on regularized volumes.

Key words: Dams, runoff, regularization, rainfall, Algeria

INTRODUCTION ET ETUDES PRELIMINAIRES

Les ressources en eau de surface sont d'une importance capitale pour le développement du pays et particulièrement dans la partie nord où réside la part essentielle de la population. Cette zone s'étend sur environ 1 000 km d'Est en Ouest et 400 km du Nord au Sud. C'est la zone où la pluviométrie annuelle dépasse les 200 mm. Sur cette zone, différentes études de synthèse ont déjà été menées.

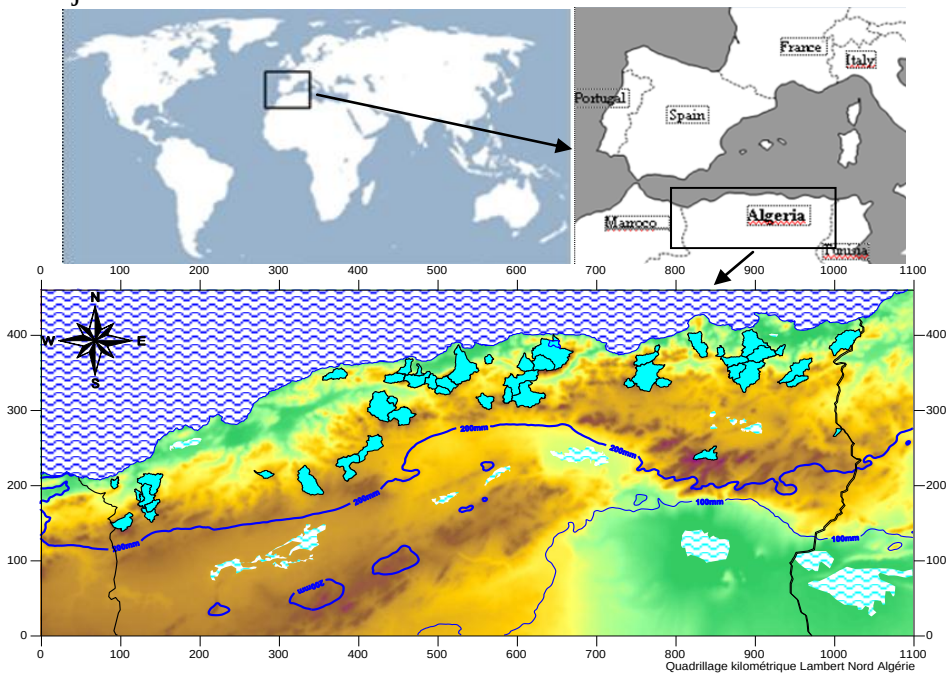

Fig. 1 - Zone d'étude et bassins versants retenus

En 1993, l'ANRH publiait une carte des précipitations moyennes annuelles sur l'ensemble du territoire (ANRH, 1993). A cette occasion, un modèle numérique de terrain à la maille de 2 km avait été mis en place. Plus près de nous, en 1997, une étude de synthèse a été réalisée sur les estimations de l'ETP sur l'Algérie du Nord (ANRH, 1997). L'ANRH a proposé une formule qui donne une bonne approximation de l'ETP Penman, à partir de la température moyenne mensuelle et de la position de la station. C'est sur cette base que 12 cartes des ETP moyennes mensuelles ont été éditées. A partir des années 2000, les apports mensuels et annuels des cours d'eau ont fait l'objet d'une étude détaillée (Assaba & Laborde, 2000).

La première étape consista à arrêter une méthode de cartographie des précipitations mensuelles en tenant compte de paramètres morphométriques. Cette démarche a permis de construire les 360 cartes de précipitations mensuelles de septembre 1965 à août 1995. (Laborde et al., 2003). Enfin c'est sur cette période que nous avons pu réaliser la modélisation pluie-débit des apports mensuels sur l'ensemble du Nord de l'Algérie (ANRH, 2005).

LA MODELISATION PLUIE DEBIT

Le modèle LOIEAU

Plusieurs modèles hydrologiques ont été testés et il s'est avéré que le plus simple et le plus performant était le modèle LOIEAU (Lavabre & al, 1997). Il s'agit d'un modèle très simple dérivé du modèle GR2M (Makhlouf et Michel, 1994). C'est un modèle à deux réservoirs. Le réservoir superficiel a une hauteur H limitée à 250mm. L'état de ce réservoir sert essentiellement à contrôler l'évapotranspiration réelle E et l'écoulement. Le second réservoir, dans lequel la hauteur est S, sert à différer les écoulements. Les entrées du modèle sont l'évapotranspiration potentielle E_i et la précipitation P_i du mois considéré. L'état initial du système est donné par les hauteurs H_{i-1} et S_{i-1} des deux réservoirs à la fin du mois précédent. Dans un premier temps on corrige les estimations de l'ETP et de la pluie par une réduction commune RED_i pour obtenir En_i et Pn_i :

$$RED_i = \frac{P_i * E_i}{(P_i^{1/2} + E_i^{1/2})^2} => Pn_i = P_i - RED_i => Pn_i = P_i - RED_i \quad (1)$$

On calcule alors un état intermédiaire du réservoir sol noté H. Il dépend de la pluie du mois considéré et de l'état antérieur H_{i-1} du niveau dans le réservoir :

$$H = \left[H_{i-1} + A * Th(\frac{Pn_i}{A}) \right] / \left[1 + \left(H_{i-1} * Th(\frac{Pn_i}{A}) \right) / A \right] \quad (2)$$

La pluie en excès qui va s'écouler Pe_i est alors donnée par $Pe_i = Pn_i + H - H_{i-1}$ et on peut alors évaluer le niveau final du réservoir de surface H_i.

$$H_i = H * \left[1 - Th(\frac{En_i}{A}) \right] / \left[1 + Th(\frac{En_i}{A}) * (1 - \frac{H}{A}) \right] \quad (3)$$

La pluie en excès Pe_i se répartit pour une part $1\text{-}x_2$ dans le réservoir profond. Son niveau passe à une valeur intermédiaire S par la relation suivante $S = S_{i-1} + (1 - x_2) Pe_i$ Le débit de base sortant de ce réservoir profond pour le mois i est : $Qb_i = 1/3S$

Le niveau de la nappe en fin de mois est alors : $S_i = S_{i-1} + (1 - x_2)Pe_i - Qb_i$

Le débit total Q_i écoulé pour le mois est la somme du débit de base et de la part de la pluie en excès s'écoulant le mois même corrigé du paramètre x_1 : $Q_i = x_1(Qb_i + x_2 Pe_i)$

Dans ce modèle, le paramètre x_1 est le seul paramètre à contrôler la fonction de production. De même le paramètre x_2 est le seul paramètre à contrôler la fonction de transfert.

Les données utilisées

Cette méthodologie a été validée pour l'Etude d'Actualisation du Plan National de l'Eau (SOFRECO & al, 2010). A cette occasion, les pluies ont été actualisées et l'ANRH a établi 516 cartes de précipitations mensuelles de septembre 1965 à août 2008. Les chroniques de débit ont été actualisées sur la même période. Environ 150 stations de jaugeage sont gérées par l'ANRH, mais elles ont des représentativités très variables. Nous avons donc fait une sélection sévère en ne retenant que les stations avec plus de 10 années d'observations, des surfaces drainées inférieures à 1500 km², pas d'aménagement hydraulique en amont, pas de changement dans le bassin durant la période 1965-2008. Seules 53 stations correspondent à ces critères sévères. Comme le montre la figure 1, ces stations se répartissent sur les différents paysages nord-algériens situés au nord de l'isohyète 200 mm.

Les résultats obtenus

Pour chaque station, les paramètres x_1 et x_2 du modèle LOIEAU ont été ajustés de façon à maximiser le critère de Nash calculé sur les lames d'eau mensuelles. Ce critère est toujours supérieur à 50% (ce qui correspond sensiblement à un coefficient de corrélation supérieur à 0.7). Le paramètre déterminant pour l'estimation des apports est x_1 et ses valeurs sont généralement comprises entre 0.75 et 1.5. On retiendra que le modèle LOIEAU permet de reconstituer avec une précision tout à fait satisfaisante les apports mensuels et annuels à partir des documents cartographiques disponibles sur les précipitations et les ETP. Cette reconstitution dépend de x_1 et x_2 à l'échelle mensuelle mais ne dépend plus que de la seule valeur de x_1 si l'on cherche à évaluer les apports annuels. Les études précédentes ont d'ailleurs montré que ce paramètre x_1 était tout à fait cartographiable (Laborde et al., 2009).

DETERMINATION DES VOLUMES REGULARISABLES

Notion de volume régularisable et hypothèses retenues.

On peut définir comme volume régularisable, les besoins en eau que l'on peut satisfaire à partir d'un barrage réservoir sous des contraintes de répartition dans le temps de la demande et de fréquence de défaillance. Ce volume régularisable dépend donc à la fois des besoins, de la ressource, du volume utile de l'ouvrage et également des pertes par évaporation. Dans la réalité le problème peut être beaucoup plus complexe car s'y ajoutent les fuites, l'envasement et donc la réduction du volume utile de l'ouvrage. Il est très difficile d'évaluer a priori ce que sera l'évaporation à partir de la surface libre. Les barrages sont généralement équipés d'une station de mesure de l'évaporation par un bac Colorado. Cependant ces mesures sont très peu représentatives de ce qui se passe dans la réalité. Il parait plus satisfaisant d'utiliser la formule de Penmann ou, si on ne dispose pas des données nécessaires, de la formule dite ANRH (1997). Pour passer de l'évaporation au volume perdu il faut encore tenir compte de la hauteur et donc de la surface en eau. Dans le cadre d'une étude d'avant-projet, les pertes seront sensiblement égales à la surface en eau du barrage que multiplie l'évaporation. Bien que souvent ces pertes puissent être qualifiées de considérables, REMINI (2005) montre que sur 39 grands barrages d'Algérie, les pertes par évaporation sont en moyenne de 250 millions de m^3 pour une capacité de stockage de 3.8 milliard de m^3. L'évaporation est donc largement inférieure à 10% et peut être rangée dans les termes correctifs. Il existe de grosses différences dans la façon de prendre en compte les besoins. Pour l'irrigation la demande en eau est variable d'un mois à l'autre et même d'une année à l'autre. Par ailleurs la défaillance de l'ouvrage (ne pas arriver à fournir la quantité d'eau souhaitée) n'est pas très grave et l'on se contente souvent d'un taux de défaillance de 20%. Pour l'alimentation en eau potable la variabilité saisonnière est faible et on considère souvent la consommation comme constante dans le temps. Par contre les conséquences d'un manque d'eau sont beaucoup plus graves et on retiendra un taux de défaillance de 10% ou même de 5%.

Dans ce qui suit nous supposerons que nous avons à faire à une AEP constante dans le temps et que nous acceptons un taux de défaillance de 10%. Pour le volume utile du barrage, sur chaque site nous considèrerons que ce volume est une série de pourcentage de l'apport moyen interannuel (10%, 15%, ….et 1000%)

Démarche

Si l'on veut estimer le volume régularisable pour des ouvrages à régularisation interannuelle il est indispensable de simuler la marche de l'ouvrage sur plusieurs centaines d'années. Ici nous avons décidé de simuler les débits sur une période de 1050 années (12 600mois). Les 50 premières années ne seront pas utilisées dans les statistiques et servent uniquement à stabiliser les niveaux dans les réservoirs du modèle hydrologique et dans le barrage réservoir. On a pu montrer que les précipitations mensuelles de bassin suivaient sensiblement des lois racine-normales.

Connaissant maintenant les précipitations, on utilise le modèle LOIEAU avec les paramètres x_1 et x_2 calés sur la période d'observation pour reconstituer les 12 600 apports mensuels.

D'après les données d'observation de la période 1965-2008 on peut donc avoir pour chaque mois i, la moyenne m_i et l'écart-type s_i des racines carrées des pluies du mois et le coefficient de corrélation r_i et les paramètres de régression a_i et b_i avec la racine carrée de la pluie du mois précédent. Soit P_{i-1} la pluie tombée le mois i-1, on tire au hasard une pluie du mois i dans sa distribution conditionnelle :

$$P_i = max^2\left[a_i * \sqrt{P_{i-1}} + b_i + U(alea) * s_i \sqrt{1 - r_i^2} \;\; ou \; 0 \right] \qquad (4)$$

La fonction maximum sert à amener à zéro les précipitations les plus faibles et U(alea) est la valeur de la variable réduite de Gauss d'un nombre aléatoire alea tiré d'une distribution uniforme entre 0 et 1.Ce tirage est répété pour les 12 mois et repris 1050 fois.

Sur l'exemple de la figure 2, on constate que l'hypothèse de distribution racine normale pour les pluies mensuelles implique la même distribution pour les pluies annuelles. Contrairement à ce qu'admet SOGREAH dans de nombreuses études réalisées en Algérie (apports évalués par la méthode SPEED), la distribution des apports annuels n'est pas racine normale mais log-normale.

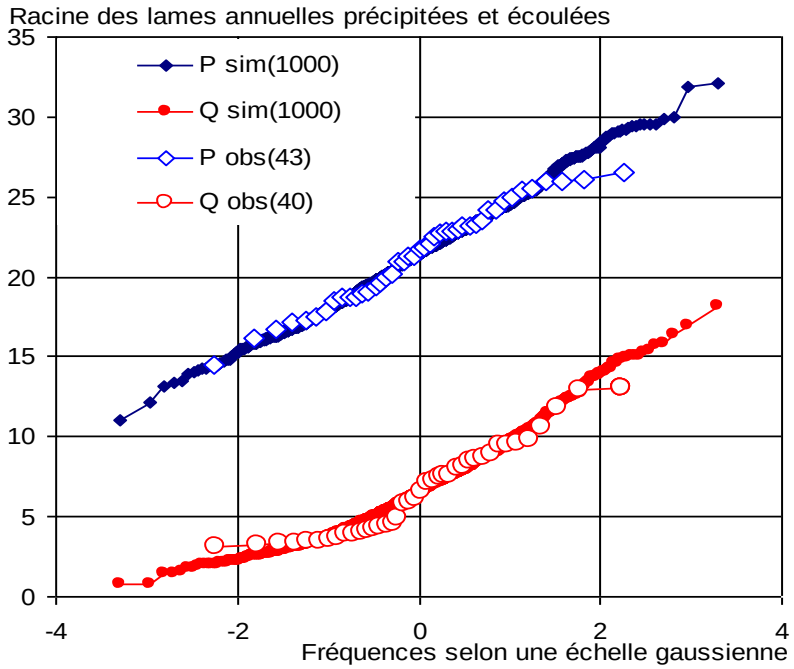

Fig. 2 - Statistiques des pluies et débits sur l'oued Tafna

Résultats obtenus

Pour chaque station nous avons calculé le rapport v du volume régularisé à l'apport moyen annuel. Ce calcul dépend du rapport a du volume utile de la retenue à l'apport moyen annuel. Comme le montre la figure 3, la fonction v(a) ne dépend que d'un seul paramètre régional p. Ce paramètre p est lié à la pluie médiane de bassin Pmed par la relation :

$$v(a) \approx v_{est} \approx 1.08\,(1 - e^{-(a/p)^{0.6}}) \qquad (5)$$

Le paramètre p et la lame d'eau écoulée moyenne Lmoy sont liés aussi à Pmed par les relations suivantes :

$$p \approx 175 Pmed^{-0.8} \qquad (6)$$

$$Lmoy \approx (Pmed - 100)^{3.5} / (Pmed + 250)^{2.5} \qquad (7)$$

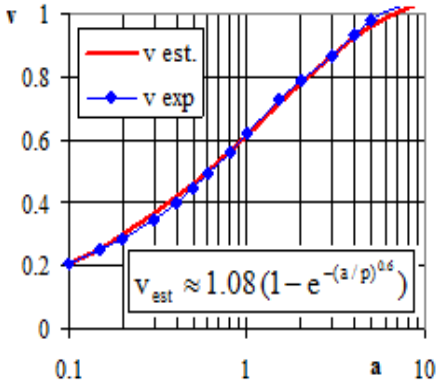

Fig. 3 - v(a) pour la Tafna

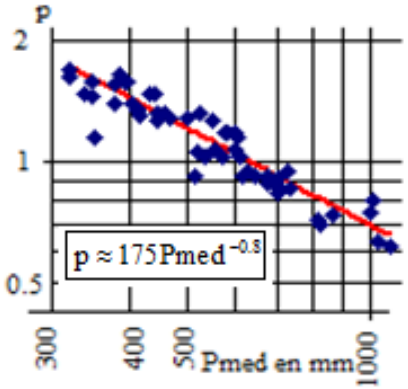

Fig. 4 – Fonction p(Pmed)

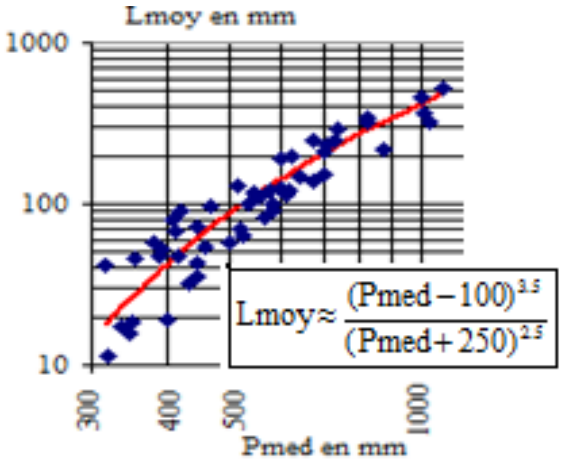

Fig. 5 – Fonction Lmoy (Pmed)

A partir de ces trois relations et des cartes de précipitation médiane et de lame moyenne écoulée, il est donc possible d'avoir une idée du volume régularisable en fonction du volume utile de la retenue. A titre d'exemple un barrage sur un oued drainant 500 km² dans une zone où la pluie médiane est de 400 mm aura un p de 1.45 (éq.6) et un apport moyen de l'ordre de 43.4 mm (éq.7) soit un apport annuel moyen de 22 10^6 m^3. En construisant un barrage dont le volume utile serait de 11 10^6 m^3 (soit a=0.5) on aurait une valeur de v=0.44 (éq.(5). Ceci signifie que le volume régularisé serait de 0.44*22 10^6 =9.7 10^6 m^3.

EFFETS POSSIBLES D'UNE BAISSE DE LA PLUVIOMETRIE

Nous avons admis que la pluie pourrait éventuellement baisser de 15%. Pour tous les bassins nous avons donc reconstitué les apports mensuels en diminuant les pluies. La relation entre la lame écoulée actuellement et ce que pourrait être la lame future est très étroite : $L_{future} \approx 0.49 L_{actuelle}^{1.06}$ On enregistrerait donc une très importante baisse des écoulements, de l'ordre de 44%, pour les zones les plus sèches à 28% pour les plus humides. Les paramètres p des fonctions v(a) ne changent pratiquement pas, ce qui signifie que la baisse des écoulements se reportera intégralement sur les volumes régularisés.

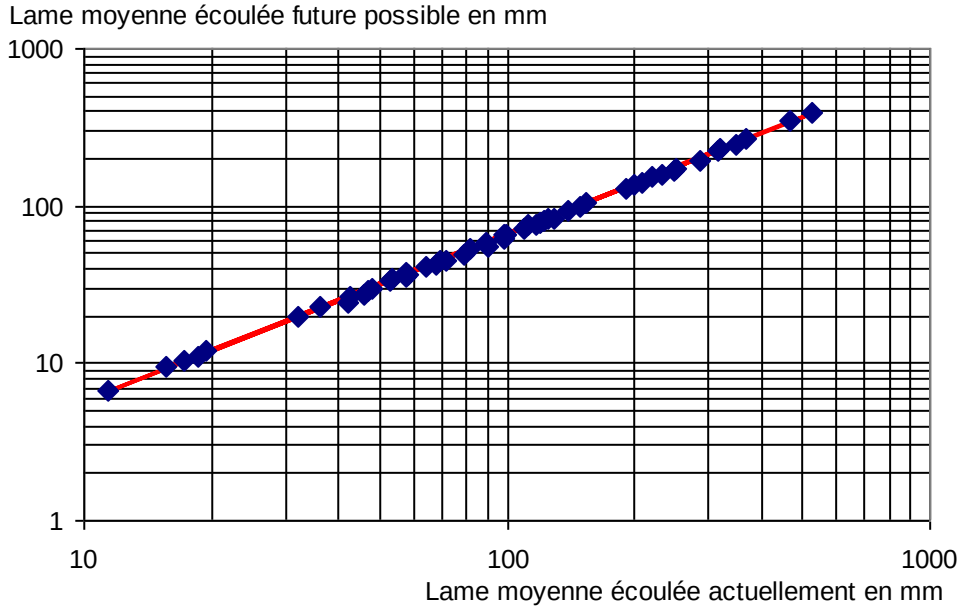

Fig. 6. Diminution potentielle des écoulements

CONCLUSIONS

Il est actuellement possible d'évaluer rapidement les volumes régularisables sur les oueds non jaugés du Nord de l'Algérie, à partir des documents cartographiques publiés par l'ANRH. Cependant une baisse relativement modérée de la pluviométrie aurait un effet très important sur les écoulements de surface et donc sur les conditions de remplissage des ouvrages hydrauliques : 15% de baisse de pluviométrie se traduirait par une baisse de 40% des écoulements de surface !

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANRH., 1993. *Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord*, Ministère de l'Equipement, Projet PNUD/ALG/88/021, Alger, 1 carte et sa notice de 54 p.

ANRH., 1997. *Atlas de l'évapotranspiration potentielle mensuelle, saisonnière et annuelle sur l'Algérie du Nord*, Ministère de l'Equipement, Projet coopération Algéro-Allemande n° 92 21 835, Alger, 30 cartes et notice de 36 p.

ANRH., 2005 *Carte des écoulements de surface du Nord de l'Algérie*, Ministère des Ressources en Eau, Alger, 1 carte et sa notice de 24 p.

Assaba M & Laborde J.P., 000. – *La prise en compte du relief dans l'estimation des pluies mensuelles : le cas de la Corse.* Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Volume 13, pp. 149-157

Laborde J.P., Assaba M & Belhouli L. 2003. *Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie*, Colloque International "Gestion du risque eau en pays semi-aride", Tunis, 10 p

Laborde J.P., Assaba M. Demmak A & Belhouli L. 2009. *La ressource en eau de surface de l'Algérie du Nord* , 1er Colloque International sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Batna, 9 pp.

Lavabre J, Cambon J.-P., Folton N., Makhlouf, Z & Michel Cl. 1997. *Loieau : un logiciel pour l'estimation régionale de la ressource en eau*, Ingénieries – EAT, n°12 - pp 59-66

Makhlouf Z & Michel C. 1994. *A two-parameter monthly water balance model for french watersheds,* Journal of Hydrology, 162, pp. 299-318.

Remini B. 2005. *L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens,* Larhyss Journal, n° 04, pp.81-89

SOFRECO-Grontmij/Carl Brö- Progress- OIEau (2010), *Etude d'Actualisation du Plan National de l'Eau- tome 1 Hydrologie,* Ministère des Ressources en Eau EuropeAid/126155/D/SER/DZ, Alger, rapport interne. 68 p.

&&&&&