Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque GOD et DRASTIC à l'Etude de la Pollution de la Nappe Libre d'El-Oued (SE Algérie)

BOUSELSAL Boualem[1], KHERICI Nacer[2], HADJ-SAID Samia[3], BELKSIER Mmed Salah[4] et ZEDDOURI Aziez[5]

1,3,4 et 5-Département des sciences de la terre et de l'univers. Université de Kasdi Merbah Ouargla,

2-Département de géologie faculté des sciences de la terre université Badji Mokhtar Annaba,

boualembouselsal@yahoo.fr

Résumé **: La présente étude traite de la vulnérabilité des eaux de la nappe libre d'El-Oued (SE Algérie) à la pollution, causée par de nombreux foyers de pollution (urbanisation, industrie et agriculture), qui se multiplient dans la région. L'étude de vulnérabilité des eaux à la pollution par les méthodes GOD et DRASTIC montre que la nappe libre d'El-Oued, présente deux catégories de vulnérabilité, forte et moyenne. La méthode de GOD montre que 88% de la nappe libre d'El-Oued présente une vulnérabilité forte et 12% une vulnérabilité modérée. La méthode DRASTIC montre que 8% de la nappe libre présente une vulnérabilité forte, contre 92% une vulnérabilité moyenne.**

Mots clés: vulnérabilité, pollution, GOD et DRASTIC.

1. Introduction

Au Sahara, la rareté des précipitations nécessite le recours aux ressources en eau souterrains. Toutefois, la mauvaise gestion des ressources en eau et l'absence de traitement des eaux usées, dégrade la qualité de ses ressources avec le temps.

Le présent travail a pour but la détermination de la sensibilité de la nappe libre d'El-Oued à la pollution et ce par l'emploi des méthodes de vulnérabilités GOD et DRASTIC, pour identifier les endroits les plus sensible et pour une gestion adéquate des ressources dans la région.

2. Présentation de la zone d'étude

La région d'étude fait partie de la wilaya El-Oued localisée (Fig.1) au Sud Est Algérien. Elle occupe une superficie de 220Km^2, elle se situe entre les coordonnées UTM : X = 290000 E/315000 E, et Y = 3680000 N/3700000 N. La zone d'étude se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine Continental, La pente est généralement orientée Sud-Nord, avec des valeurs d'altitude oscillant entre 64m et 120m. Nous signalons ici existence des entonnoirs artificiels, creusés par les habitants pour planter les palmeraies et les légumes, appelés localement « ghout ».

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois aquifères (Fig.2) : un aquifère libre, et deux aquifères captifs (le complexe terminal "CT" et le continentale intercalaire "CI") [2]. L'aquifère libre est constituée de formations détritiques d'âge Quaternaire et Miopliocène représentées par les: sable, grés, sable argileux, et l'argile sableuse, alors que le substratum est constitué d'argile. La profondeur du substratum est comprise entre 50 et 90 mètres.

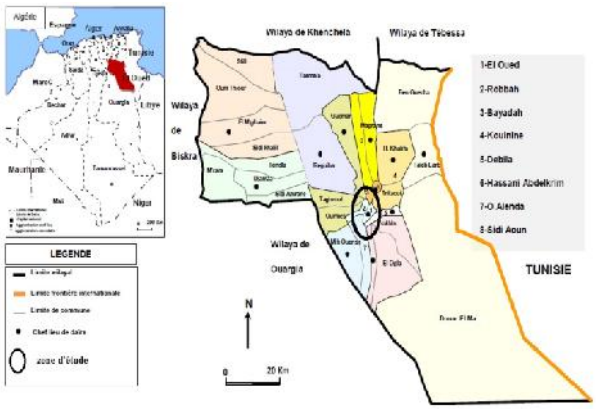

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

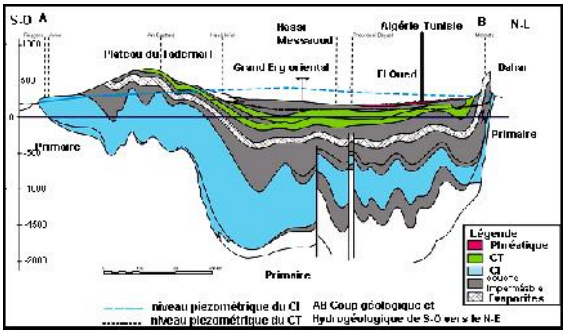

Figure 2 : Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972).

3. Méthodologie

La méthode GOD a été développée par Foster en 1987. Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée [3]. Cette méthode est basé sur l'évaluation de trois paramètres; le degré de confinement (Ci), la profondeur de la nappe (Cp) et la lithologie des couches de la zone non saturée de l'aquifère (Ca). Les côtes attribuées aux classes des différents paramètres sont inférieures ou égales à "1". L'Indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres.

La méthode DRASTIC standard [4-5] a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et Aller *et al*. en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines. Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept paramètres physiques différents qui interviennent dans les processus de transport et d'atténuation des contaminants : (D) profondeur de l'eau, (R) recharge efficace, (A) type d'aquifère, (S) type de sol, (T) topographie, (I) zone vadose et (C) conductivité hydraulique du milieu aquifère.

ENGEL et al (1996) [6] propose la classification des valeurs de l'indice de vulnérabilité en quatre classes (Tab.1).

Tableau 1 : Classes de la vulnérabilité DRASTIC (Engel et Al, 1996)

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	Inférieur à 101
Moyen	101 à 140
Fort	141 à 200
Très fort	Supérieur à 200

4. Résultats et discussion

4.1. Etude des paramètres de vulnérabilité de la nappe

La lithologie de la zone saturée est représentée par des sables fins et éoliens avec des passés de gypse à la surface jusqu'à 25m de profondeur reposant sur des grés à ciment gypseux friable. Dans d'autres endroits, nous remarquons l'absence des grés qui ont été remplacé par l'argile sableuse. Cette dernière est représentée par l'argile sableuse avec un pourcentage de sable décroissant vers le bas. Enfin, la profondeur du substratum argileux est de 50 à 90m.

Quant à la topographie de la région, une amélioration a été apportée à l'ancienne carte topographique d'El-Oued 1/50000 par l'addition de 1500 points de mesure pour la rendre plus précise et discernant très bien le relief. La zone d'étude située au bas Sahara est caractérisée par une topographie plane. Les pentes calculées sur la carte donnent des valeurs très faibles allant de 0.2% à 1.5%.

Pour ce qui est des données météorologiques, ils ont été enregistrés au niveau de la station météorologique de Guemmar, et ce pour la période 1967/2010. L'étude de ses paramètres a permis d'établir le bilan hydrique de la région et avoir une idée sur la recharge de l'aquifère. Le bilan hydrique de la région d'El-Oued montre que la réserve facilement utilisable est vide durant les onze mois

de l'année, engendré par une faible précipitation et une forte évapotranspiration. Alors la recharge de la nappe est nulle.

Une compagne de mesure piézométrique a été faite dans la zone d'étude en avril 2010 pour déterminer la profondeur de la surface de la nappe libre d'El-Oued, elle varie entre 0.65m et 17.4m, dont les chefs-lieux d'El-Oued et Kouinine où la profondeur de la nappe est inférieure à 1m, alors que dans la plupart de la zone d'étude la profondeur de la nappe oscille entre 5m à 10m. Les plus grandes profondeurs sont localisées à Nakhla, Ogla, les plantations de Mehri et les zones agricoles entre El-Oued, Trifaoui et Robah avec des valeurs oscillant entre 10m et 17m.

De Même, une étude géotechnique a été réalisée dans -la région. Trente (30) échantillons de terrain ont été prélevés à une profondeur comprise entre 50cm et 1m sont amenés au laboratoire pour effectuer des analyses granulométrique et géochimique, afin de déterminer la nature de la zone non saturée et ses caractéristiques géochimiques.La zone non saturées est constituée de plus de 80% de sable et gravier, la fraction fine (silt et argile) représente un pourcentage inférieur à 20%.

La couche de sol dans la région d'El-Oued n'existe pas, l'agriculture exercée dans la région se fait sur des dunes de sables après être aménagées et mélangées avec des fumiers de poulailler apportés par des camions des régions de Nord (Batna et Biskra) et des engrais. Les terres agricoles sont très pauvres en nutriments, après quelques années d'exploitation les agriculteurs se sont déplacés vers d'autres terres (dunes) et ont recommencé à travailler de nouveau. Les terres abandonnées présentent un taux de matière organique faible, due à la minéralisation de cette dernière sous un climat aride.

Les essais de pompage effectués dans 33 puits dans la zone d'étude, permettent de tracer la carte de perméabilité de l'aquifère libre (Fig.8), les valeurs de perméabilité oscillent entre 1.1x 10^{-4} m/s et 2.6x10^{-4} m/s.

4.2. Carte de vulnérabilité de GOD

Les indices globaux de vulnérabilité, obtenus oscillent entre 0.49 et 0.70. La carte de vulnérabilité des eaux de l'aquifère superficiel à la pollution (Fig. 3) montre deux classes de vulnérabilité ; la classe de vulnérabilité forte avec un indice globale de 0.5 à 0.7, représente 88% de la surface totale, ce sont surtout les zones urbaines et les zones agricoles touchées par la remontée où la nappe phréatique se trouve à une faible profondeur, et la classe vulnérabilité modérée, représente 12% de la superficie totale avec des indices globaux de vulnérabilité inférieure à 0.5 se localisant dans les sud est et le sud ouest de la zone d'étude, représentée par des territoires isolés où la nappe n'est pas touchée par le phénomène de la remontée.

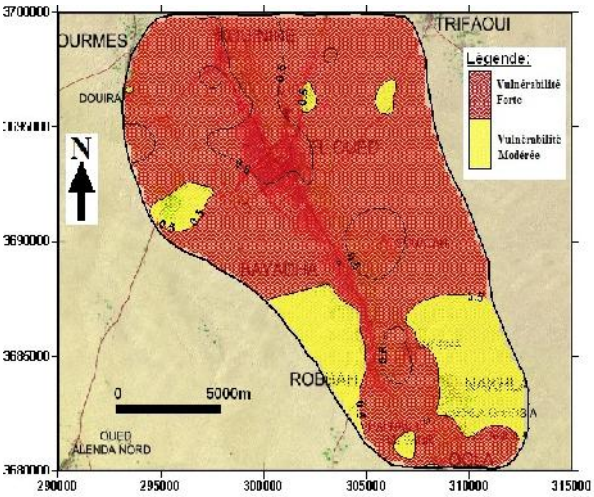

Figure 3 : Carte de vulnérabilité GOD des eaux de l'aquifère libre d'El-Oued à la pollution.

4.3. Carte de vulnérabilité DRASTIC de l'aquifère libre d'El-Oued:

Deux classes de vulnérabilité à la pollution sont mises en évidence par la méthode DRASTIC

(ENGEL et al 1996) (fig.4). La classe de vulnérabilité forte, représente 8% de la superficie totale, elle se localise dans les principaux centres urbains d'El-Oued; El-Oued, Kouinine, Teksebt (prés de centre universitaire) et Khobna, et dans les zone agricoles de Soualah et au sud de Douira, avec un indice de vulnérabilité oscille entre 140 et 150. La profondeur de la nappe dans ses zones est inferieure à 4.5m. La classe de vulnérabilité moyenne représente 92% de la superficie totale avec un indice de vulnérabilité oscille de 125 à 140, elle se localise dans les endroits où la profondeur de la nappe est supérieure à 4.5m.

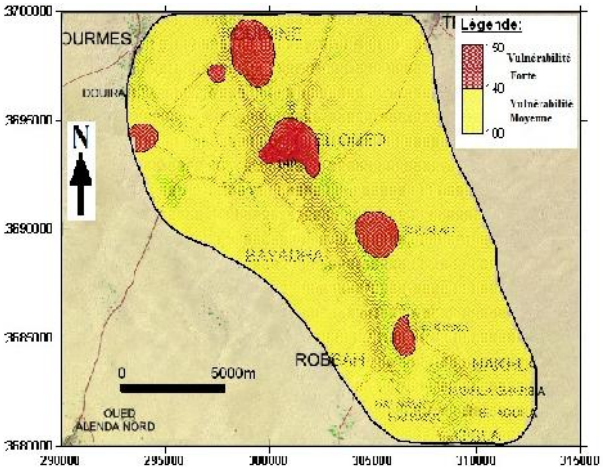

Figure 4: carte de vulnérabilité DRASTIC de l'aquifère libre d'El-Oued.

5. Conclusion

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe libre d'El-Oued, réalisée à partir des méthodes GOD et DRASTIC révèle une tendance de vulnérabilité à la pollution moyenne à forte. Deux grandes classes de vulnérabilité ont été mises en évidence (moyenne et forte) ; la classe la plus dominante est la classe forte (88 %) par la méthode GOD et la classe moyenne (92 %) par la méthode DRASTIC.

Face à ses résultats très différents, des campagnes de mesure des polluants seraient nécessaire dans le but de vérifier la validité des cartes des vulnérabilités établies, on peut également être comparé ses résultats avec d'autres méthodes qui prisent d'autres paramètres en considération.

Références

[1] Boubir. H. M. N et Abdallah F: Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au bas Sahara algérien ; Environnement Urbain vol. 3, 2009, p. c-1-c-18.

[2] Khechana. S, Derradji.F, Mega.N : Caractéristiques Hydrochimiques Des Eaux De La Nappe Phréatique Du Vallée d'Oued-Souf (SE Algérien) ; European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol.62 No.2 (2011), pp. 207-215.

[3] Murat, V.,Paradis, D., Savard, M.M., Nastev, M., Bourque, E., Hamel, A., Lefebve, R. et Martel, R., 2003 : Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD ; commission géol du Canada, Recherches en cours 2003-D3, 14 p.

[4] L.Aller, T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty, G. Hacket, DRASTIC: A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA/600/2-87/035), 1987.

[5] S. Kachi, N. Kherici et N.Kachi: Vulnerability and Pollution Risks in the Alluvial Aquifer of Tebessa-Morsott; American Journal of Environmental Sciences 3 (4): 218-223, 2007 ISSN 1553-345X

[6] ENGEL B.A., K.C.S. NAVULUR, B.S. COOPER, L. HAHN (1996). Estimating groundwater vulnerability to non-point source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale. Int. Assoc. Hydrol. Sci., 235. 521-526.

METHODE DE CALCUL DES CRUES ET DES HYDROGRAMME DE CRUE DES OUEDS NON JAUGES DE L'ALGERIE

BOUTOUTAOU D. DADDI B. M. BELAGOUNE F.ZEGGANE H. SAKER M.L

Laboratoire de Valorisation et d'Exploitation des Ressources Naturelles en Zones arides.

Université d'Ouargla. Algérie

E-mail : boutoutaoudjamel@yahoo.fr

Résumé : Les études sur les inondations établies en Algérie par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) montrent que le pays est confronté au phénomène des crues et des inondations très destructives. Les crues et les hydrogrammes de crues de la majorité des oueds de l'Algérie sont moins connus. Ces crues apparaissent suite à des pluies intenses et de courte durée – pluies d'averses et d'orages. Les dégâts humains et matériels causés par ces crues ont été toujours très élevés.
L'objectif de l'étude consiste à proposer pour le territoire algérien une méthode de calcul des crues et des hydrogrammes des crues pour les cours d'eau et les oueds non jaugés au profit des ingénieurs et d'aménagistes exerçants dans le domaine de l'hydraulique.

Mots clés : pluie max., temps de concentration, débit de pointe, temps de montée, hydrogramme.

1- INTRODUCTION

La mise sur pieds de divers projets de protection contre les crues nécessite la prédétermination de la crue et de la courbe des débits en fonction du temps – l'hydrogramme de crue. En présence de données de mesure, il est facile de déterminer les valeurs fréquentielles de ces deux caractéristiques hydrologiques. Dans le cas contraire les valeurs de la crue et de l'hydrogramme de crue sont calculées à partir des formules empiriques et des formulations analytiques dont la majorité sont établies dans différentes conditions géographiques et climatiques que celles de l'Algérie. L'erreur de calcul par ces formules est très élevée. Dans le but de combler les lacunes de détermination des crues et des hydrogrammes de crue pour les cours d'eau non jaugés, il a été mis au point des méthodes de calculs (méthodes appropriées à l'Algérie) de ces importantes caractéristiques hydrologiques.

2. MATERIELS ET METHODES

La formule de calcul de débit de pointe de crue et la formulation analytique de conception des hydrogrammes de crues sont établies sur la base des données pluviométriques (pluies maximales journalières) de plus de 400 postes pluviométriques et les données hydrométriques (débits de pointe) de 53 stations hydrométriques. Celle des hydrogrammes des crues, sur les données d'observations de couples averses-crues enregistrées à environ 40 stations hydrométriques et pluviométriques distribuées d'une façon homogène sur les grands bassins versants délimités par l'ANRH (figure 1). La période d'observation varie entre 20 - 50 ans pour les débits de pointe et 3 – 10 ans pour les hydrogrammes de crues.

Selon la méthode des isochrones, qui peut être considérée comme une extension de la méthode rationnelle [10], le débit de pointe (Q_p) peut être donné par la relation:

$$Q_P = K\, \bar{i}_T \sim_T S_A \qquad (1)$$

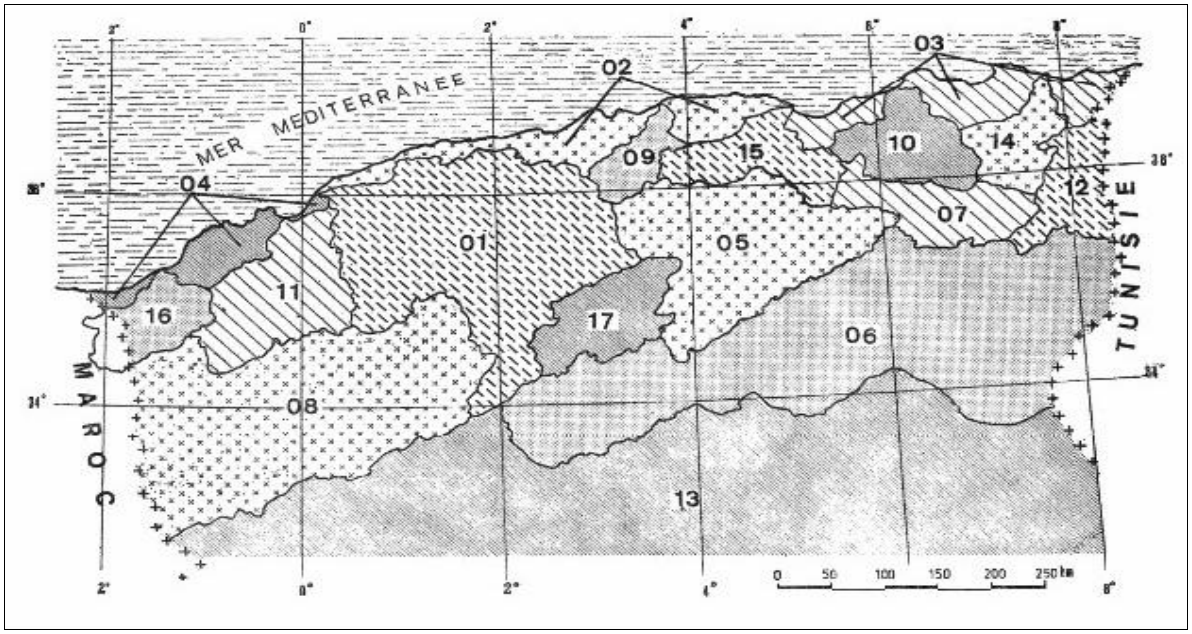

Fig. 1 Carte de localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie
Fig. 1 Location map of Hydographic catchment of Algéria

K- coefficient de proportionnalité, $\bar{i}_T$ - intensité pluviale maximale correspondant à la durée de pluie t, appelée durée de référence de formation du débit max., $\sim_T$ - coefficient du ruissellement et S_A - surface active du bassin versant (surface contribuant à la formation de la crue). L'index T représente la période de récurrence (période de retour).

Selon cette méthode, la durée de référence de formation du débit de pointe t est déterminée par le rapport entre le temps de concentration t_C, la durée de pluie t_P.
Pour $t_p \geq t_C$, la durée de référence de pluie est prise égale au temps de concentration. Dans ce cas $S_A = S$ - surface totale du bassin versant.
Pour $t_P \prec t_C$, la durée de référence de formation du maximum est pris égale au temps de pluie et dans ce cas $S_A \prec S$.

En tenant compte des deux inégalités, la formule de calcul du débit de pointe est la suivante :

$$Q_P = q_P\ S = K\ \bar{i}_T \sim S \qquad \text{pour} \quad t_p \geq t_C \qquad (2)$$

$$Q_P = q_P\ S_A = K\ \bar{i}_T \sim \text{a}\ S \qquad \text{pour} \quad t_P \prec t_C \qquad (3)$$

q_P - module du débit de pointe, $\text{a} = \dfrac{S_A}{S}$ - coefficient de réduction du débit en fonction de la croissance de la surface du bassin versant, établi en général empiriquement. Les relations (2) et (3) permettent de proposer une formule de calcul des débits max. de crues (débits de pointe) de période de retour T suivante [6] :

$$Q_{MAX \cdot T} = \frac{16.7\left[A + B\log(T)\right] \sim \text{ª}\ S}{(t_c + 1)^n} \qquad (4)$$

A et B sont des paramètres géographiques caractérisant l'intensité maximale pluviale. Le caractère zonal de ces valeurs permet la régionalisation des ces dernières [5], [6].

Pour les conditions physiographiques des bassins versants de l'Algérie, la formule du temps de concentration t_c proposée est la suivante [6] :

$$t_c = 1.7\left(\frac{S\,L}{\sqrt{I}}\right)^{0.19} \qquad (5)$$

t_c – temps de concentration en heure, S – surface du bassin versant en Km^2, L – longueur du cours d'eau en Km et I – pente du cours d'eau en %.

Le coefficient du ruissellement α_T, en fonction de période de retour T est déterminé par la relation suivante [4], [6] :

$$\sim_T = 1 - \exp\left(-\frac{P_{\max\ jT}}{P_0}\right) \qquad (6)$$

$p_{\max\ jT}$ - pluie maximale journalière en mm de période de retour T, P_0 - pertes maximales possibles en mm (infiltration, rétention dans les dépressions et évaporation). Ce paramètre est tabulé en fonction des zones géographique des grands bassins versants de l'Algérie [6].

Le coefficient de réduction du débit λ dans la formule (4) est déterminé par la relation empirique suivante :

1- Pour les surfaces des bassins versants $S \succ 600\ Km^2$, $\quad \text{ª} = \dfrac{9.4}{(S+1)^{0,39}} \qquad (7)$

2- Pour les surfaces des bassins versants $S \leq 600\ Km^2$, $\quad \text{ª} = 1$

L'établissement de la formulation analytique de l'hydrogramme de crue proposée a été basée sur la théorie de l'hydrogramme unitaire (HU) proposé par Sherman. Prenant comme base les crues unitaires sélectionnées, on a calculé un hydrogramme type pour chaque bassin versant sur la base des moyennes des hydrogrammes adimensionnels normés (figure 2).

On suppose que la forme analytique adoptée pour ces hydrogrammes types est celle de la fonction de densité de la loi log-normale (loi Galton) [9] qui est choisie sur la base des considérations suivantes : 1- loi sous forme de cloche dissymétrique, étalée vers la droite ; 2 - ne prenant que des valeurs positives ; 3 - nombre limité de paramètres constituant la loi.

La densité de la loi Galton est présentée sous la forme suivante :

$$f(x) = \begin{cases} 0 & pour \quad x \leq 0 \\ \dfrac{1}{x\sqrt{2®}\ \pm} \exp\left[-\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\ln x}{\pm}\right)^2\right] & pour \quad x \succ 0 \end{cases} \qquad (8)$$

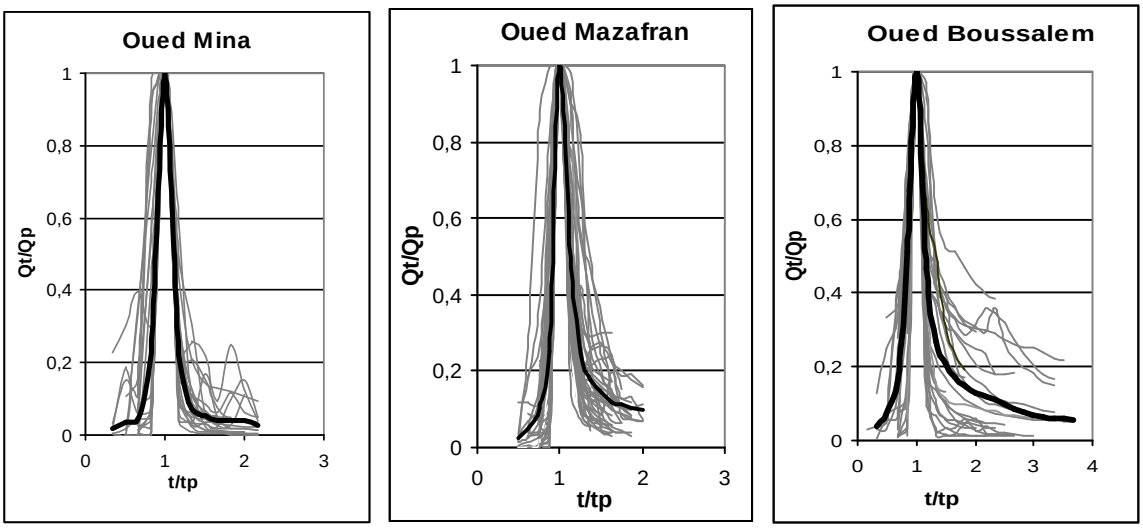

Fig. 2. Les hydrogrammes types de quelques cours d'eau de l'Algérie
Fig. 2. The hydrograph types of some rivers of Algeria.

La distribution de la loi Galton (8) adoptée comme une représentation analytique pour dériver un hydrogramme unitaire est légèrement modifiée. On proposera l'expression (9) que l'on appellera « hydrogramme synthétique type Galton » [6]. Ainsi, les paramètres définissant l'hydrogramme synthétique type Galton sont donc le débit de pointe Q_P, le temps de montée t_p et le paramètre de forme k.

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & pour \quad t = 0 \\ Q_p \left(\dfrac{t}{t_p}\right)^{-0,1} Exp\left(-\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\ln\left(\dfrac{t}{t_p}\right)}{k}\right)^2\right) & pour \quad t \succ 0 \end{cases} \qquad (9)$$

Le temps de montée t_p est pris égal au temps de concentration ($t_P \approx t_C$ - voir plus haut), le paramètre de forme k représente le rapport des débits moyen Q_{moy} et de pointe Q_p de la crue.

$$k = \frac{Q_{moy}}{Q_p} \qquad (10)$$

En absence des valeurs de Q_{moy} et de Q_p, k est calculée en fonction de la surface du bassin versant S par la relation suivante :

$$k = 0,0102\,(S+1)^{0,4} + 0,20 \qquad (11)$$

CONCLUSION

Actuellement en Algérie, la prédétermination des débits de pointe fréquentiels et les hydrogrammes de crues des cours d'eau se base sur l'utilisation de plusieurs formules empiriques ou formulations analytiques établies dans d'autres conditions géographiques et climatiques que celles de l'Algérie. Les erreurs de calcul par ces formules extrapolées peuvent atteindre des valeurs considérables.

L'analyse de quelques paramètres météorologiques et hydrologiques des bassins versants jaugés a permis la mise au point d'une méthode de calcul de crues (des débits de pointe) appropriée à l'Algérie pour les cours d'eau non jaugés.

L'hydrogramme synthétique type Galton proposé permettra de dériver un hydrogramme de crue pour un bassin non jaugé à partir de la connaissance de ses caractéristiques physiographiques.

Les formules développées plus haut ne sont pas très précises mais fournissent des valeurs représentatives pour les conditions physiographiques et climatiques des bassins versants de l'Algérie. La collecte systématique des données sur les bassins étudiés et sur d'autres nouveaux bassins versants (grands et petits bassins) équipés de matériels de mesure permettra une meilleure connaissance des variations spatiales et temporelles des pluies et des débits, et par conséquent l'amélioration de la précision des formules.

REFERENCE

[1] AMBROISE B (1999). *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant Processus, Facteurs, Modèle*. Ed. *H*G*A*, Bucarest. Hongrie

[2] BENOÏT H., CECILE P. et ANDRE M. (2009). *Hydrologie 2. Une science de l'ingénieur*. Ed. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes. 601 p. Italie

[3] BOUTOUTAOU D. (2007). *Les laves torrentielles et la catastrophe de Bab El Oued*. Séminaire national sur « Les catastrophes naturelles liées au climat » 6 et 7 novembre 2007. INFR. Oran. Algérie.

[4] BOUTOUTAOU D, VITALY VI. (2008). Méthode de calcul des débits pluviaux maximaux moyens des rivières de la méditerranée. In International Social Academy of Ecological Safety and Nature Management. N° 3 (10). Moscou

[5] BOUTOUTAOU D. (2011). *Relation entre l'intensité pluviale, la durée et la fréquence*. *Courbe IDF en zone aride (cas d'Ouargla)*. Séminaire international sur les Ressources en Eau. 22-23 février 2011. ENSH. Alger.

[6] BOUTOUTAOU D. ZEGGANE H. (2013). Méthode de calcul des crues des oueds de l'Algérie. 5ème Colloque International sur les Ressources en Eau et le Développement Durable (CIREDD) 24 – 25 février 2013. Alger

[7] GARACHKOV P. (1979) *Calculs hydrologiques*. Ed. Hydro-météo.Leningrad (en russe)

[8] LAHLAH S. (1997). *Introduction à l'étude sur les inondations*. « Journées d'études hydrologiques ». 23 et 24 décembre. ANRH. Alger.

[9] MEYLAN P., FAVRE A.C. et MUSY A. (2005). *Hydrologie fréquentielle – une science prédictive*. Ed. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes. 173 p. Italie.

[10] SALAVIOVA N. (1969) *Calcul des débits maximaux à partir des données météorologiques*. Séminaire International sur l'Hydrologie. Tavaux V, tome 6 : Théorie et méthode de calcul hydrologiques. Hydrométéo. Leningrad, 552 p. (en russe).