



DETERMINATION DU RUISSELLEMENT DANS LE BASSIN VERSANT SIGUS PAR LA METHODE DU SCS-CN À L'AIDE D'UN SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

GIS BASED SCS-CN METHOD FOR ESTIMATING RUNOFF IN SIGUS WATERSHED

FAREGH W., BENKHALED A.

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, LARHYSS
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Université de Biskra, B.P. 145, R.P., 07000, Biskra, Algérie

wailfaregh@yahoo.fr, benkhaleddz@yahoo.fr

RESUME

Le ruissellement sur les versants est un phénomène complexe avec des conséquences désastreuses tel que l'érosion et les inondations. Dans l'objectif de mieux connaître le fonctionnement hydrologique et les zones les plus productrices de l'écoulement du bassin versant de Sigus, le présent travail consiste à déterminer le coefficient de ruissellement par la méthode du SCS-CN en se basant sur les caractéristiques physiques du bassin versant. La première étape est la création des bases de données d'occupation de sol et des types des sols sous un SIG (ArcGIS). Les étapes qui suivent sont, l'assemblage, le traitement des données et la simulation. Enfin, l'interprétation des résultats. Les résultats indiquent que les zones les plus favorables au ruissellement correspondent au sol de type "Argile" et occupation de sol "Terrain Rocheux". L'étude montre que pour des événements extrêmes de pluies, le coefficient de ruissellement se rapproche de l'unité.

Mots Clés : Modélisation hydrologique, SIG, Coefficient de ruissellement, Méthode SCS-CN, Sigus-Algérie.

ABSTRACT

Runoff is a complex phenomenon with harmful consequences such as floods and erosion. In order to better determine the hydrological behavior and areas with maximum flow producing in Sigus watershed, the present work focus on determination of the runoff coefficient by the SCS-CN method using the HEC-GeoHMS software. First, the creation of landuse and soils type databases under a GIS (ArcGIS). Then, assembling, data processing and simulation. Finally, results interpretation. The results indicate that the most favorable runoff areas are those with soil type " Clay "and landuse "Rocky Land ".The study shows that for extreme rainfall events, runoff coefficient is very high.

KEYWORDS: hydrological modeling, GIS, runoff coefficient, HEC-GeoHMS, Sigus, SCS-CN.

INTRODUCTION

Le ruissellement de surface est fonction de plusieurs facteurs tel que, la durée et l'intensité des précipitations, le type de sol, l'occupation du sol, le couvert végétal, la pente et la densité du réseau hydrographique (Ponce, 1996; Perrone, 1998; Mirsha, 2003). Généralement, le ruissellement important prend naissance dans un bassin versant naturel. Ce bassin, qui est un système physique extrêmement hétérogène et compliqué, transforme les précipitations en flux dans les rivières et les canaux vers les exutoires qui sont, souvent, des zones urbaines (Brooks, 2013). Dans les études sur les inondations en milieu urbain causées par des précipitations intenses, la fonction de production se limite, souvent, à un simple coefficient de ruissellement car le volume d'eau ruisselé concerné par les pertes initiales est négligeable par rapport au volume total (Lhomme, 2006). Dans les villes de petites et moyennes importances, la majorité des flux inondants viennent du débordement du lit majeur du cours d'eau, ce dernier étant alimenté par le bassin versant qui entoure la ville (Zevenbergen, 2010). Dans ce cas, la fonction de production est plus complexe vu l'hétérogénéité du milieu. Le volume d'eau provenant du bassin versant naturel est plus important que celui produit dans la ville et son estimation est l'un des problèmes hydrologiques majeurs dans les bassins versants non jaugés. Compte tenu du nombre des variables et des incertitudes relatives au ruissellement, l'utilisation d'un model conceptuel semi-distribué est indispensable. Elle nécessite des investigations in-situ, des prélèvements et des vérifications sur terrains pour mieux assimiler le milieu naturel. Parmi les

méthodes développées pour l'estimation du ruissellement dans les bassins versants non jaugés, la méthode SCS (U.S.D.A, 1986) largement utilisée en raison de sa simplicité et du nombre limité de paramètres exigés (Mary, 1995; Banasik, 2010 ; Xiao, 2011 ; Mirsha, 2012, Ji-Hong, 2014; Giridhar, 2014). La méthode du SCS est basée sur deux paramètres pour estimer le ruissellement sous forme de hauteur à partir de la pluviométrie. Ces deux paramètres sont, le potentiel de rétention maximale S , et l'abstraction initiale I_a . Ils sont exprimés en termes de Curve Number ou CN (Elhakeem, 2009). Le terme CN est en fonction du type de sol, de l'occupation de sol, du couvert végétal et des conditions antécédentes d'humidité (USDA, 1986). La méthode SCS-CN a été utilisée sur les bassins versants ruraux non jaugés, elle a évolué de son objectif initial pour être adoptée à l'estimation de ruissellement dans les bassins versant urbains et forestiers (Hawkins, 2009).

La ville de Sigus, traversée par un cours d'eau important drainant un bassin versant de 334 Km^2 , a connu des inondations avec des conséquences désastreuses en vies humaines et biens matériels (D.R.E, 2012). Elles sont la conséquence des précipitations intenses enregistrées le 22/09/1995 ($P = 125 \text{ mm}$) et le 01/10/2001 ($P = 80 \text{ mm}$). Ces évènements extrêmes ont suscités l'intérêt pour étudier le comportement hydrologique du bassin versant Sigus afin de mieux déterminer les zones à fort ruissellement. Ce travail consiste à déterminer la distribution spatiale des coefficients de ruissellement (Cr) sur le bassin versant Sigus en se basant sur les nouvelles techniques du traitement de l'information.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude fait partie du bassin versant de Béni Haroune qui se situe dans le bassin versant Kebir Rhumel à l'Est de l'Algérie (Figure.1). Le sous bassin versant Sigus a une superficie de 334 Km^2 dont les altitudes varient entre 752 m et 1351 m .

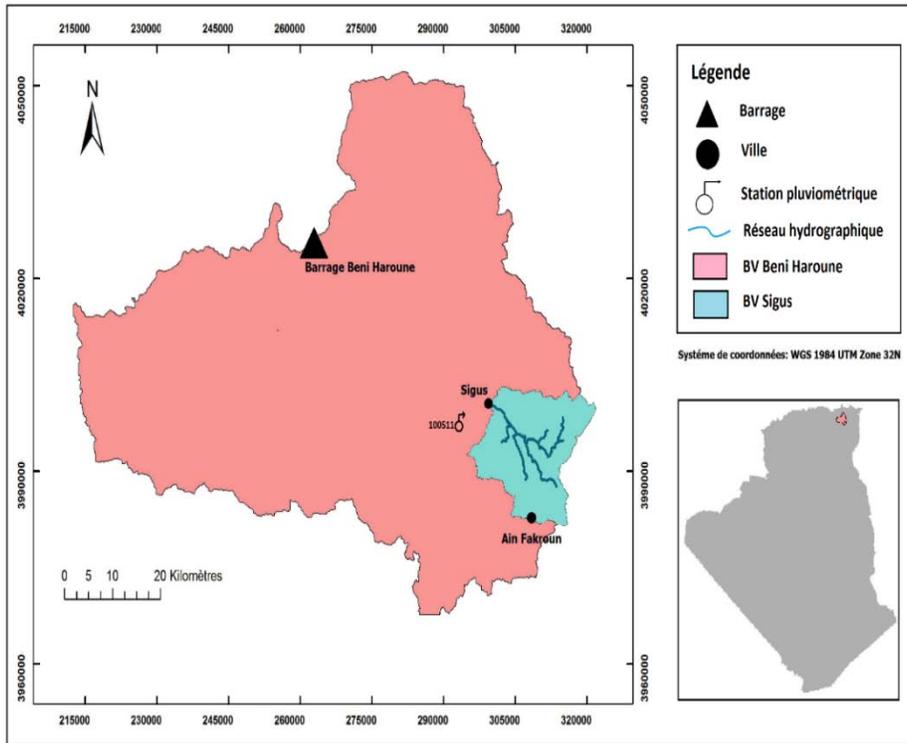


Figure 1 : Carte de situation de bassin versant Sigus

DONNEES ET METHODES

La démarche générale consiste à appliquer une méthode d'estimation du ruissellement superficiel en se basant sur les caractéristiques physiques du bassin versant. La première étape est la création des bases de données spatiales d'occupation du sol et des types des sols sous un SIG en se basant sur des méthodes d'investigation directes et indirectes. Il s'ensuit le traitement des données brutes afin de les préparer pour la simulation. La phase finale est l'acquisition et l'interprétation des résultats. La figure 2 illustre Les étapes de conception de la carte du coefficient de ruissellement sous forme d'organigramme.

Détermination du ruissellement dans le bassin versant Sigus par la méthode du SCS-CN à l'aide d'un système d'information géographique.

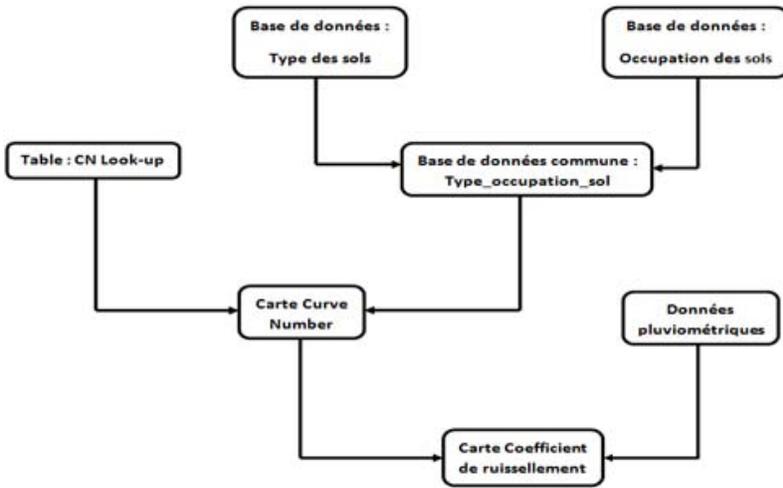


Figure 2 : Organigramme de conception de la carte "Coefficient de ruissellement"

Les données pluviométriques

Il est préférable d'estimer le ruissellement à partir des mesures des précipitations disponibles (Souli, 2012). Les données collectées sont celles de la station pluviométrique de Fourchi code 100511. Elles ont été collectées auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Nous avons considéré les précipitations journalières maximales (P_{jmax}) correspondants aux événements d'inondations du 22/09/1995 et 01/10/2001 montrées sur la chronique de la figure 3.

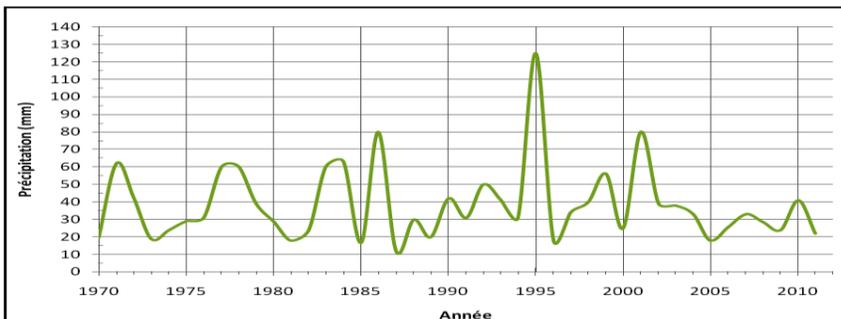


Figure 3 : Chronique des précipitations journalières maximales à la station de Fourchi

Les données géospatiales

Le modèle numérique du terrain

La méthode traditionnelle pour la délimitation des bassins versants à partir des cartes topographiques est imprécise et nécessite beaucoup de temps. Au cours des dernières années, cette méthode a été remplacée par l'extraction automatique de l'information à partir d'un MNT (Khaddor, 2014). Les données MNT ont été utilisées pour obtenir les caractéristiques topographiques telles que la pente du terrain, les altitudes et la ligne de partage des eaux (figure 4). Le MNT utilisé est ASTER-GDEM avec une résolution de 30m. Le MNT a permis d'extraire toutes les caractéristiques physiques du bassin versant sous ArcGIS en utilisant Arc hydro Tool. Les classes des pentes sont représentées dans le tableau 1.

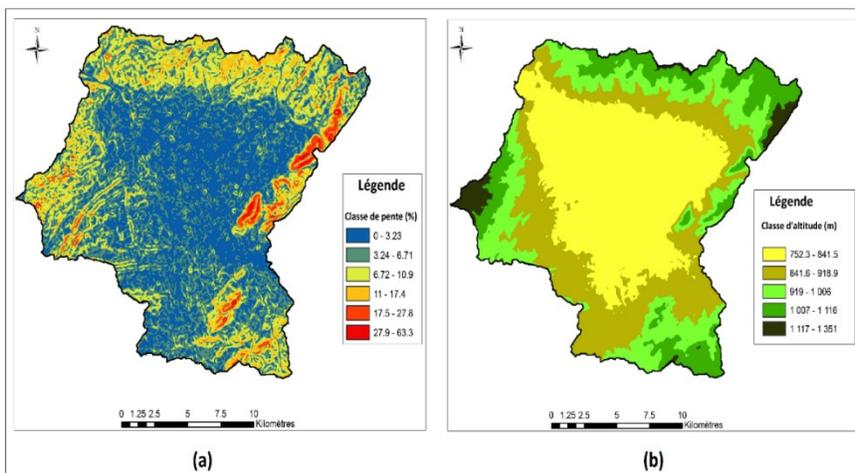


Figure 4 : Caractéristiques topographiques du bassin versant Sigus. (a) Carte des pentes. (b) : carte des altitudes

Tableau 1 : Classe numérique des pentes (Selon M.R.N.F.Q, 2012)

Classe de pente (%)	Description	Surface (%)
0 - 3	Nulle	46.70
04_08	Faible	35.20
09_15	Douce	14.63
16 - 30	Modérée	3.25
31 - 40	Forte	0.17
≥ 41	Excessive	0.05

La base de données "Types de sol"

Pour la détermination du coefficient du ruissellement Cr, la connaissance de la texture des sols est indispensable (Shadeed, 2010). Les SIG se présentent comme un support efficace pour la cartographie des sols. Ils rendent l'observation sur le terrain et le processus de cartographie plus facile et rapide (Weber, 2008). Pour cela, la base des données "Type des Sols" est réalisée sous ArcGIS de la manière suivante :

- Evaluation préliminaire (investigations indirectes) : les méthodes indirectes d'investigation du sol peuvent être utilisées afin de mieux localiser les zones cibles à échantillonner. Ces méthodes ne remplacent pas les méthodes d'échantillonnage mais peuvent être utilisées conjointement avec celles-ci. Elles ont l'avantage d'optimiser les travaux de terrain et les résultats obtenus sont généralement qualitatifs (C.E.A.E.Q, 2008). Parmi ces méthodes, la télédétection se présente comme un outil performant. Elle a été largement utilisée au cours des dernières années (Manchanda, 2002; Wulf, 2014). Elle permet d'obtenir des données d'un processus à partir d'un emplacement éloigné de l'utilisateur (Shamsi, 2005). Le processus le plus récent en télédétection est l'extraction des caractéristiques des sols à partir d'un traitement d'images satellitaires (Aksoy, 2009; Mitchell, 2013). Pour cela, L'image utilisée est celle multispectrale du satellite "Landsat 8 OLI" du 21/07/2015. La combinaison des bandes spectrales la plus utilisée pour distinguer les différents types des sols est 6-7-8 (rouge-vert-bleu) (Boettinger, 2009; Loyd, 2013.). Pour le traitement de l'image, le logiciel utilisé est "ERDAS IMAGINE 2014" basée sur la technique de classification non supervisée selon 10 classes (Boettinger, 2008). Chaque classe est une réponse spectrale du sol, donc un type probable. La figure 5 illustre les classes des sols obtenues.
- Campagne d'échantillonnage (investigations directes) : l'échantillonnage implique la sélection d'un exemple de la population totale sur lequel des mesures seront faites, ensuite, ces mesures seront utilisées pour estimer les propriétés de la population totale (Pennock, 2008). L'objectif de l'échantillonnage à des fins d'analyse est d'obtenir des renseignements sur un milieu donné à l'aide d'échantillons représentatifs (C.E.A.E.Q, 2010). Dans ce cas, le but est de déterminer la texture des sols du bassin versant Sigus. Le choix des points d'échantillonnage sur un bassin versant agricole nécessite

exclusivement la méthode de localisation sur plan vu l'étendu de la zone d'étude. Le plan utilisé dans ce cas est la carte des classes des sols (Figure 5). L'approche d'échantillonnage choisit est combiné entre celle ciblée et aléatoire. D'abord, elle est ciblée puisque on a sélectionné chaque classe séparément. Puis dans la même classe, la localisation des points d'échantillonnage se fait aléatoirement. Le nombre initial des points est 41. En tenant compte de l'accessibilité au lieu d'échantillonnage et l'observation visuelle, le nombre final des points est 18. Un travail de prélèvement des échantillons des sols est effectué sur tous les points sur une profondeur de 0.3m en utilisant des moyens simples tels qu'une pioche, une truelle un bac pour mélanger l'échantillon et un décimètre pour mesurer les profondeurs. Les zones des roches à l'affleurement et des carrières ne sont concernées par le prélèvement car elles ne contiennent pas de sol. La figure 6 illustre la distribution des points d'échantillonnage et la figure 7 la distribution des types des sols sur le bassin versant. Les fractions de chaque type de sols en % et en Km² sont détaillées dans le tableau 2.

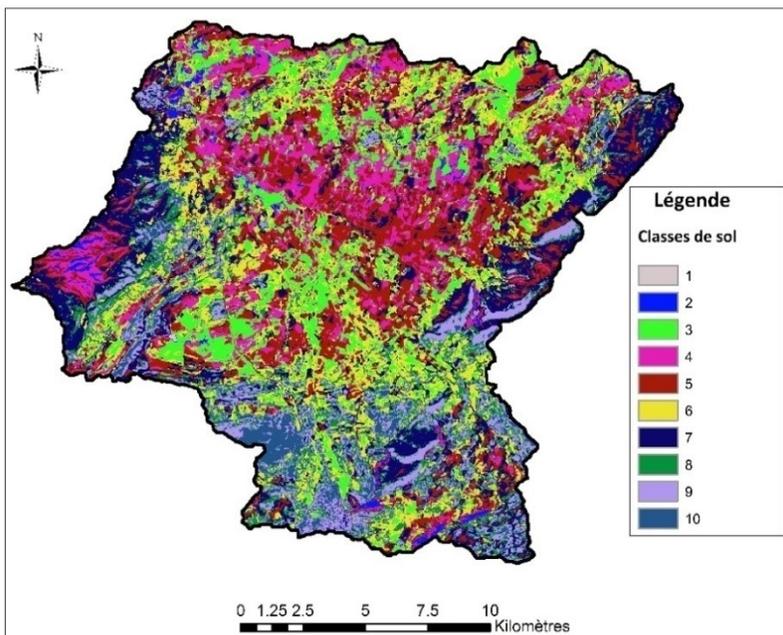


Figure 5 : Classes des sols obtenues par ERDAS

Détermination du ruissellement dans le bassin versant Sigus par la méthode du SCS-CN à l'aide d'un système d'information géographique.

Tableau 2 : Pourcentage des types des sols dans le bassin versant Sigus

Type de sol	Surface (Km ²)	Surface (%)
Argile	96.49	28.91
Limon	37.81	11.33
Limon Argileux	51.79	15.52
Limon Argileux fin	83.99	25.17
Terrains rocheux	63.63	19.07

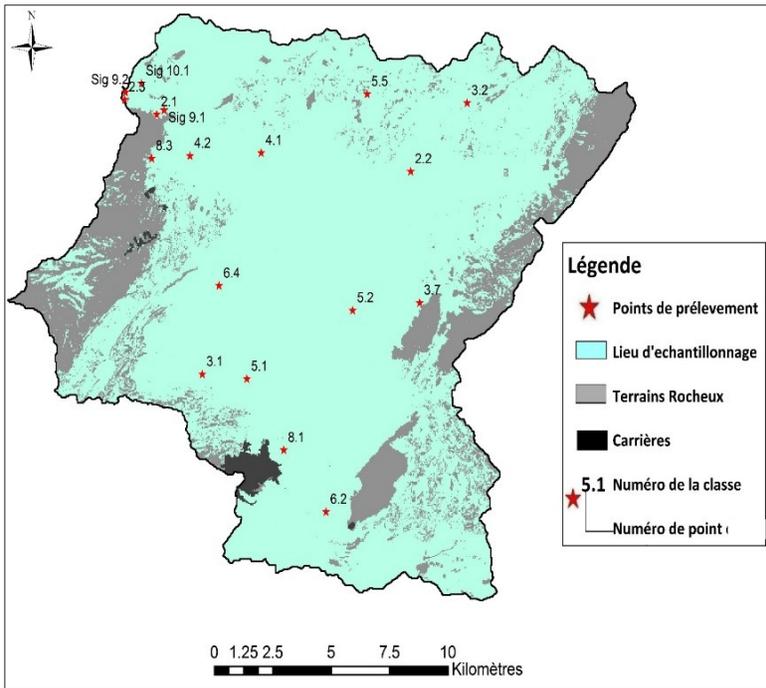


Figure 6 : Carte des points d'échantillonnage du sol

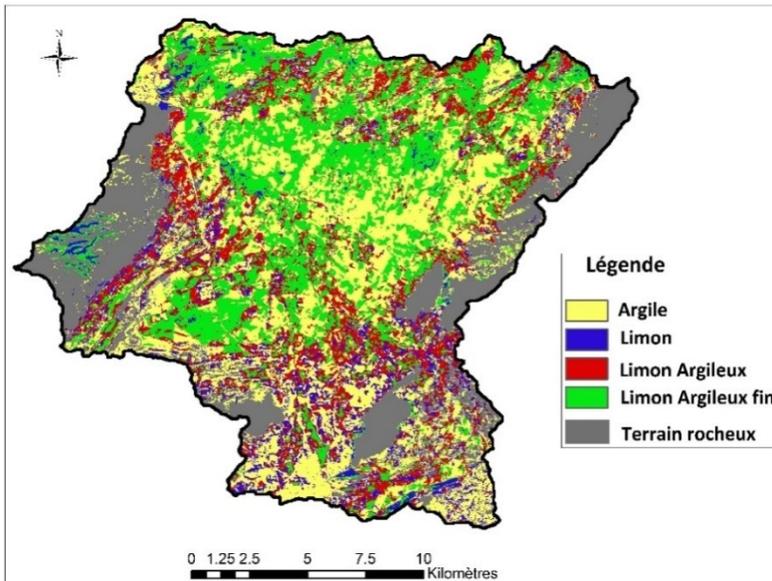


Figure 7 : Carte des types de sols du bassin versant Sigus

La base de données "Occupation de sol"

L'effet de l'occupation des sols sur l'hydrologie a été un important domaine de recherche au cours de la dernière décennie, particulièrement, sur la genèse du ruissellement (Liu, 2012). Pour cela, il était primordial de créer une base des données d'occupation des sols nommée "Occupation des sols". D'abord, on a utilisé l'image satellitaire LANDSAT 8 OLI avec une combinaison des bandes (rouge-vert-bleu) 4-3-2 qui donne les couleurs naturelles. Puis, sous ERDAS, on a effectué une classification non supervisée suivant 36 classes, sachant que le nombre des classes réelles est prédéterminé de 09. Une étape de vérification finale est indispensable, celle-ci consiste à vérifier les entités de la base de données à l'aide des images satellitaires de haute résolution du serveur ArcGIS "World Imagery" avec une résolution de 0.3m. Le tableau 3 et la figure 8 illustrent les différents types d'occupation des sols obtenus.

Détermination du ruissellement dans le bassin versant Sigus par la méthode du SCS-CN à l'aide d'un système d'information géographique.

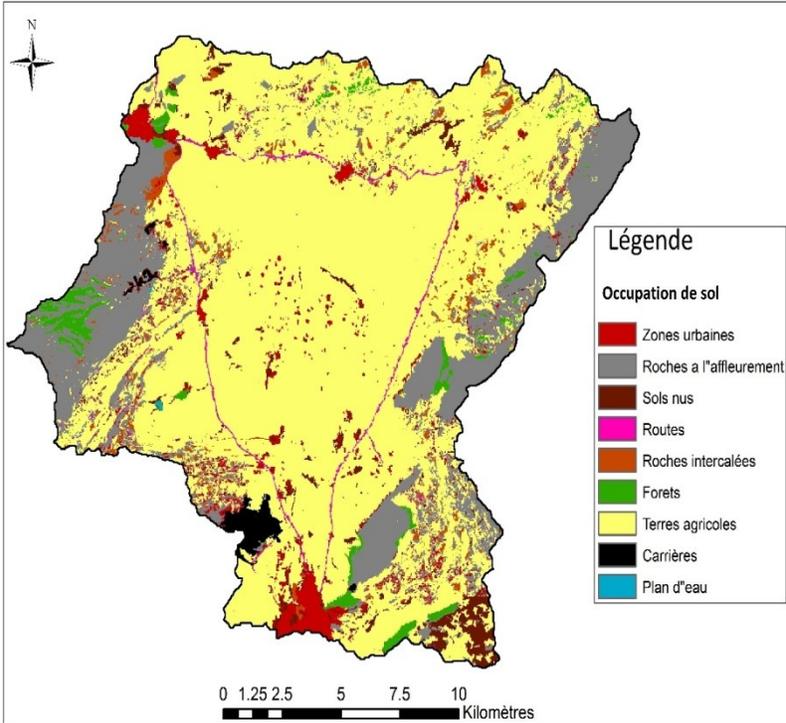


Figure 8 : Carte d'occupation des sols du bassin versant Sigus

Tableau 3 : Occupation des sols sur le bassin versant Sigus

Occupation	Surface (Km²)	Surface (%)
Carrières	3.34	1.00
Forêts	6.81	2.04
Plan d'eau	0.07	0.02
Roches à l'affleurement	60.77	18.21
Roches intercalées	6.28	1.88
Routes	2.60	0.78
Sols nus	10.56	3.16
Terres agricoles	232.21	69.59
Zones urbaines	11.06	3.31

Traitement de données

Toutes les données doivent être regroupées dans la même Geodatabase (fichier.mxd) sous ArcGIS pour qu'on puisse les traiter. Les fichiers nécessaires pour HEC-GeoHMS sont :

- Le fichier Hydro DEM est créé à partir du MNT et fichier de forme du réseau hydrographique en utilisant "Arc Hydro Tools"
- Le fichier "Type_occupation_sol" est la résultante de la combinaison du "Occupation des sols" et "Type des Sols". Ce fichier est créé par l'outil "Intersection" de "Arc Tool Box".
- La table CN-Look Up est la table attributaire qui contient toutes les informations nécessaires de l'occupation des sols, les groupes hydrologiques des sols et le CN correspondant.

Présentation de la méthode SCS-CN

La méthode SCS-CN utilise l'équation suivante pour estimer le ruissellement sous forme de lame d'eau :

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad (1)$$

Q : Ruissellement (mm)

P : Précipitation (mm)

S : Rétenion maximale potentielle (mm)

I_a : Abstraction initiale (mm)

L'abstraction initiale correspond à toutes les pertes avant le début du ruissellement y compris les eaux retenues dans les dépressions, interceptées par la végétation, de l'évaporation et l'infiltration (Mirsha, 2003).). Dans la méthode SCS - CN, I_a est lié à la rétenion maximale S selon :

$$I = 0.2 * S \quad (2)$$

L'équation du ruissellement devient :

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P+0.8*S)} \quad (3)$$

S est lié à la texture du sol et le mode d'occupation du sol par le CN qui varie de 0 à 100.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

La détermination du CN dépend du type et de l'occupation du sol. Le Soil Conservation Service a identifié quatre groupes hydrologiques des sols A, B, C et D sur la base de la texture, la capacité d'infiltration et le taux de transmission, partant du potentiel de ruissellement le plus faible vers le plus élevé. Le groupe hydrologique du sol est déterminé à partir du triangle de classification établi par l'U.S.D.A (1986) donné ci-dessous.

Tableau 4 : Les groupes hydrologiques des sols

Groupes hydrologiques des sols	Texture des sols
A	Sable, Sable Limoneux ou Limon Sableux.
B	Limon fin ou Limon.
C	Limon Argileux Sableux.
D	Limon Argileux, Limon Argileux fin, Argile Sableux, Argile Limoneux ou Argile.

Présentation du logiciel HEC-GeoHMS

HEC-GeoHMS (extension de HEC-HMS sous ArcGIS) est un logiciel de modélisation hydrologique conceptuel semi-distribué développé par *Hydrologic Engineering Center* (HEC) du corps des ingénieurs de l'armée américaine (Merwade, 2012). Ce modèle a été utilisé déjà en Algérie, Bachi (2011) dans l'étude du risque d'inondation dans les zones urbaine et Araf (2012) pour la gestion des ressources hydriques dans la région de Tlemcen.

Discretisation en sous bassins versants

Discretisation en sous bassin versant : La spatialisation signifie la discretisation du bassin versant en unités élémentaires (De Sede, 1995). Pour une modélisation spatialisée, le bassin versant doit être décomposé. Ce processus donne, souvent, une bonne représentation des paramètres du bassin versant (Vieux, 2005). Cette décomposition permet de mieux localiser les zones les plus productrices du ruissellement. On préconise un zonage du bassin versant suivant le réseau hydrographique (Figure 9). Le tableau 5 détaille cette décomposition.

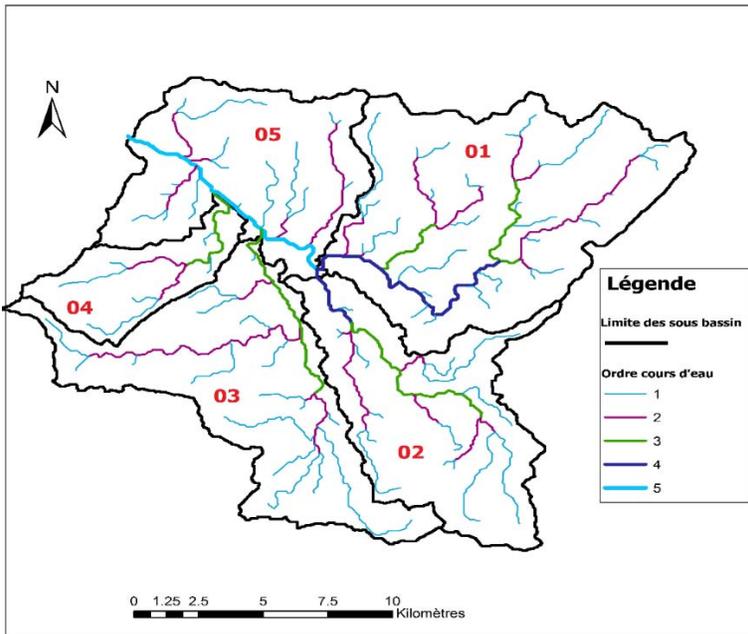


Figure 9 : Carte de zonage en sous bassin suivant le réseau hydrographique

Tableau 5 : Caractéristiques des sous bassins

SBV	Surface (Km2)	Pente moyenne (%)	Ordre su cours d'eau principal
01	104.4	7.70	4
02	63.32	6.28	4
03	75.34	4.83	3
04	24.62	6.86	3
05	66.02	6.42	5

RESULTATS ET DISCUSSION

Les premiers résultats de ce travail sont les bases des données type des sols et occupation des sols produites. Le complexe type-occupation des sols est le facteur le plus influençant sur la genèse du ruissellement. Le type de sol désigne la composition granulométrique. Le bassin versant Sigus est caractérisé par deux types de sols dominants, argileux et limoneux argileux fin réparti d'une façon déséquilibrée. Les sous bassins 01 et 03 possèdent l'immense proportion d'argile avec 10% et 08% respectivement. Pour le limon argileux fin, les sous

bassins 01 et 05 occupent 9.5% et 7% de la surface totale du bassin versant. Ces deux types de sol représentent le groupe hydrologique du sol "D". Ceci est caractérisé par un taux d'infiltration trop faible donc un potentiel de ruissellement élevé. De plus, presque 70% du bassin versant sont des terres agricoles, 25% dans le sous bassin 01. Les sous bassins 02, 03 et 05 ont un taux de 13 à 17%. La plupart de ces terres sont exploitées dans la céréaliculture. Elles ont une texture argileuse et des pentes nulles à faibles. Les terres rocheuses, constituées des roches à l'affleurement et des carrières, présentent 19% du bassin versant dont la majorité se localise dans les sous bassins 01 et 02 avec un taux de 5.6% et 4.2%. Elles ont un rôle déterminant dans la production du ruissellement vu leur imperméabilité. En examinant la carte topographique et à l'aide des images satellitaires à haute résolution, on trouve que la majorité des terres rocheuses sont des montagnes sans aucun couvert végétal avec des pentes excessives. C'est la répartition de ces deux types d'occupation du sol sur le bassin versant qui donne tendance au ruissellement puisque les terres rocheuses se situent à l'amont des sous bassins suivi par les terres agricoles. Les roches intercalées sont des terres rocheuses séparées par des sols nus, dont les roches sont estimées à 80% et le sol nu à 20%. Aussi, les zones urbaines présentent un milieu excellent pour l'écoulement vu le degré d'imperméabilité des constructions et des routes. Mais elles sont, beaucoup plus, réceptrices que contributives à l'écoulement puisque elles se situent, souvent, à l'exutoire du bassin versant.

La simulation a permis d'obtenir une carte CN de l'ordre moyen à élevé (figure 10). Le coefficient de ruissellement est défini comme la fraction des précipitations qui devient ruissellement direct (Merz, 2006). Le bassin versant de Sigus a connu deux événements pluvieux remarquables, l'un en octobre 1986 avec de 80 mm, l'autre au mois de septembre 1995 avec 125 mm. A partir de ces données, deux cartes du Cr_{80} et Cr_{125} sont produites (figures 11 et 12). Pour l'évènement $P_{jmax} = 125$ mm, le bassin versant Sigus est caractérisé par un coefficient de ruissellement moyen pondéré par rapport à la surface de 0.76 avec un maximum de 0.98 dans les zones de roches à l'affleurement, les carrières et les routes et un minimum de 0.18 dans les terres forestiers. Tous les sous bassins ont un coefficient de ruissellement moyen pondéré presque similaire entre 0.70 et 0.73. Les résultats des paramètres CN, Cr_{80} et Cr_{125} montrent que les zones les plus productrices du ruissellement sont celles situées à l'amont de la ville de Sigus.

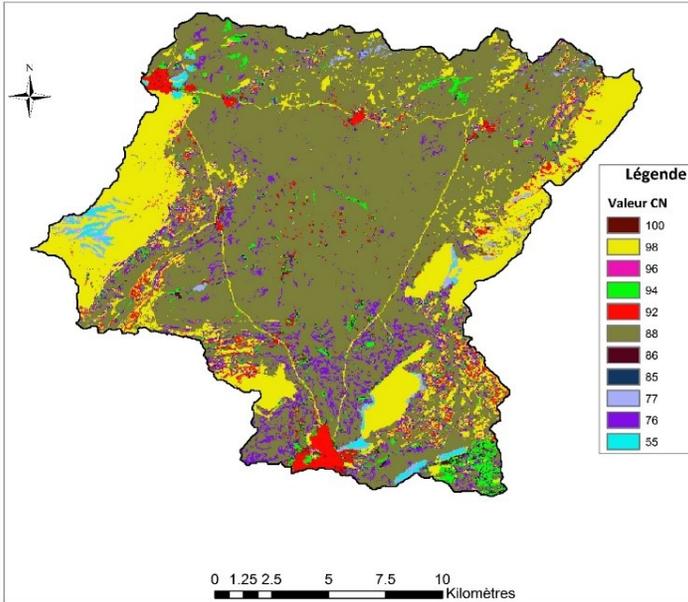


Figure 10 : Carte du CN du bassin versant Sigus

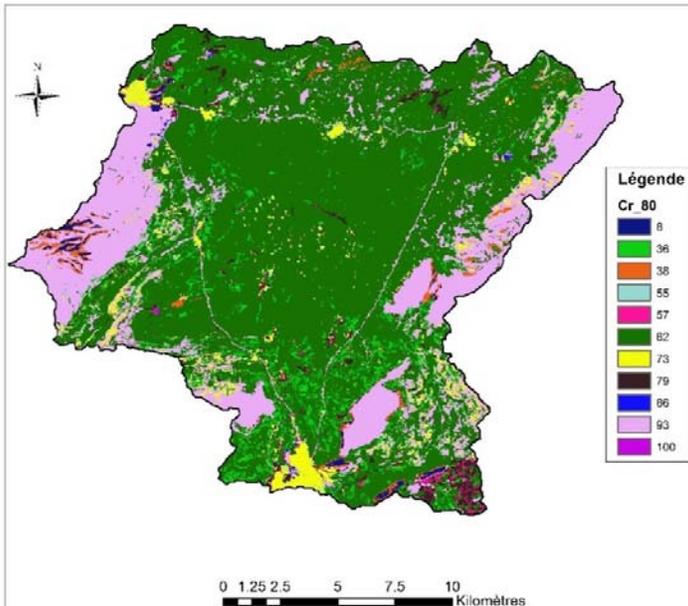


Figure 11 : Carte du coefficient de ruissellement pour P = 80 mm.

Détermination du ruissellement dans le bassin versant Sigus par la méthode du SCS-CN à l'aide d'un système d'information géographique.

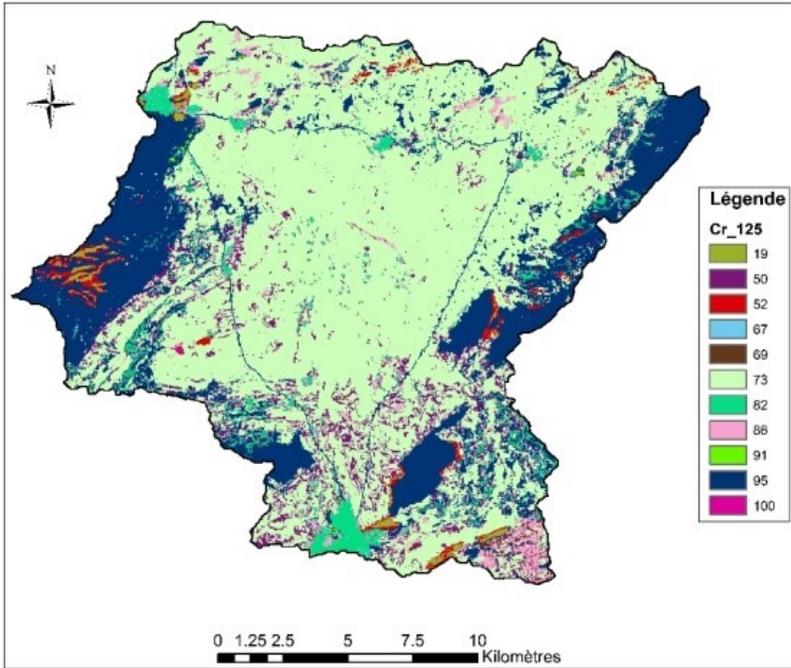


Figure 12 : Carte du coefficient de ruissellement pour P = 125 mm.

CONCLUSION

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique d'un bassin versant vis à vis un phénomène de ruissellement, l'utilisation des modèles hydrologiques semi-distribué et conceptuels est indispensable. Elle nécessite un nombre important des données, particulièrement pour la modélisation hydrologique des bassins versants car elle nécessite une bonne connaissance des différentes composantes du bassin versant.

Dans le cadre de ce travail, il s'agit d'évaluer le comportement hydrologique du bassin versant Sigus en termes de coefficient de ruissellement.

L'élaboration des bases de données type des sols et occupation des sols a été une étape cruciale dans cette étude. Celles-ci ont été exploitées sous deux logiciels, ArcGIS et HEC-GeoHMS pour estimer CN, Cr₈₀ et Cr₁₂₅.

Les résultats obtenus montrent que le bassin versant est caractérisé par un type de sol argileux et occupé par les terres agricoles. Le CN du bassin versant Sigus

est de l'ordre moyen à élever. Les zones les plus productrices du ruissellement ont un coefficient de ruissellement élevé et correspondent aux terres rocheuses ou zones urbaines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKSOY E.R., ÖZSOY, G., 2009. Soil mapping approach in GIS using Landsat satellite imagery and DEM data. *African Journal of Agricultural Research*, volume 4, 11p.
- ARAF A., 2012. Application de HEC-RESSIM, SWAT, et HEC-HMS dans la gestion de l'eau de la Wilaya de Tlemcen. Thèse de Magister en Hydraulique Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, 243p.
- BACHI M., 2011. Problématique du risque inondation en milieu urbain ; cas de l'agglomération de sidi bel Abbas. Thèse de Magister en Hydraulique Université Aboubakr BELKAÏD – Tlemcen, 128p.
- BANASIK K., 2010. Empirical determination of runoff curve number for a small agricultural watershed in Poland. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 11p.
- BOETTINGER J., 2009. Remote sensing for soil survey application. Utah State University, 29p.
- BOETTINGER J., RAMSEY R.D., BODIL Y.J.M., 2008. Landsat Spectral Data for Digital Soil Mapping. In HARTEMINK.A.E. Digital soil mapping with limited data; Springer, p. 193-202.
- BROOKS N.K., FFOLIOTT P.F., MAGNER J.A., 2013. Hydrology and the management of watersheds, fourth edition. USA: John Wiley& Sons, Inc. 545p.
- C.E.A.E.Q (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec), 2008. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 1, Généralités, 66p.
- C.E.A.E.Q (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec), 2010. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 5, échantillonnage des sols, 66p.
- DE SEDE M.H., 1995. Potentiels et limites de la carte écologique pour la discrétisation des bassins-versants. Thèse de doctorat, institut National de la Recherche Scientifique, Québec, Canada, 246p.
- D.R.E., 2014. Direction des ressources en eau, wilaya d'Oum El Bouaghi.
- ELHAKEEM M., PAPANICOLAOU A.N., 2009. Estimation of the runoff curve number via direct rainfall simulator measurements. Via direct rainfall simulator measurements. *Water Resource Management*, 2009, 19p.

- GIRIDHAR M.V.S.S., VISWANADH G.K., 2014. Runoff estimation in an ungauged watershed using RS and GIS. *Journal of Indian association Water works* 03/2009, 9p.
- HAWKINS R.H., 2009. *Curve number hydrology*. The American Society of Civil Engineers, USA, 117p.
- JI-HONG J., KYOUNG J., BERNARD A., ENGEL., 2014. Regional Calibration of SCS-CN L-THIA Model: Application for Ungauged Basins. *Water* 2014, 6, 1339-1359, p21.
- KHADDOR I., ALAOUI A.H., 2014. Production of a Curve Number map for Hydrological simulation - Case study: Kalaya Watershed located in Northern Morocco. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 9 No, 9p.
- LHOMME J., 2006. *Modélisation des inondations en milieu urbain : Approche unidimensionnelle, bidimensionnelle et macroscopique*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 298p.
- LIU Z., HUANG H., 2012. Land use and climate changes and their impacts on runoff in the yarlung zangbo river basin, china *Land degradation & development* 2012, p13.
- LOYD C., 2013. Putting Landsat 8's bands to work. NASA Landsat Science. [www.http://landsat.gsfc.nasa.gov/](http://landsat.gsfc.nasa.gov/).
- MANCHANDA M.L., KUDRAT M., TIWARI K.A., 2002. Soil survey and mapping using remote sensing. *Tropical Ecology* 43(1): 61-74, 2002 ISSN 0564-3295, 14p.
- MARY J.M., 1995. HER-hydrologic evaluation of runoff; the soil conservation service curve number technique as an interactive computer model. *Computers & Geosciences* Vol. 21, No. 8, pp. 929-935,
- MERWADE V., 2012. *Creating SCS Curve Number Grid using HEC-GeoHMS*. School of Civil Engineering, Purdue University, 10p.
- MERZ R., BLÖSCHL G., PARAJKA J., 2006. Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. *Journal of Hydrology*, Volume 331, 14p.
- MISHRA S.K., SINGH V.P., 2003. Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology. *Water Science and Technology Library*, volume 42, 534p.
- MIRSHA S.K., KANSAL A.K., AGGARWA N., 2012. Assessment of design runoff curve number for a watershed. *Water Practice & Technology* Volume 7 No 4, 8p.
- MITCHELL J.J., SHRESTHA R., MOORE-ELLISON C.A., 2014. Single and Multi-Date LANDSAT Classifications of Basalt to Support Soil Survey Efforts, *Remote Sensing*. 2013, 5, 4857-4876, 21p.
- M.R.N.F.Q (Ministère des ressources naturelles et de la faune forêt Québec), 2012. *Légende classes de pente numérique*. Ministère des ressources naturelles et de la faune forêt Québec direction des inventaires forestiers, mars 2012, 2p.
- PENNOCK D., YATES T., 2008. *Soil Sampling Designs*. In CARTER.M.R. *Soil sampling and method of analysis*, second edition. USA: Taylor & Francis, p 1 – 14.

- PERRONE J., MADRAMOOTOO C.A., 1998. Improved curve number selection for runoff prediction. *Canadian Journal of Civil Engineering*, volume 25, 7p.
- PONCE M.V., HAWKINS R.H., 1996. Runoff curve number: has it reached maturity ? *Journal of hydrologic engineering*, January 1996, pp 11-19.
- SHADEED S., ALMASRI M., 2010. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. *Water Science and Engineering*, volume 3,13p.
- SHAMSI U.M., 2005. *GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*. USA: Taylor&Francis, 453p.
- SOULIS K.X., VALIANTZAS J.D., 2012. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds – the two-CN system approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1001–1015, 2012, 15p.
- U.S.D.A (United States Department of Agriculture), 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*, TR-55. Second Edition, June 1986, 164p.
- VIEUX B.E., 2005. *Distributed hydrologic modeling using GIS*. Second Edition. *Water Science and Technology Library*, volume 48, 312p.
- WULF H., 2014. *Remote Sensing of Soils*. Laboratories, department of Geography, university of Zurich, 72p.
- WEBER E., HASENACK H., FLORES C.A., FASOLO P.J., 2008. GIS as a Support to Soil Mapping in Southern Brazil. In *Book : Digital Soil Mapping with Limited Data*, Chapter 9, Publisher: Springer, pp. 103-112.
- XIAO BO., QING-HAI W., 2011. Application of the SCS-CN Model to Runoff Estimation in a Small Watershed with High Spatial Heterogeneity. Beijing Research & Development Center for Grass and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, *Pedosphere* 21 (6): 738–749, 2011, 21p.
- ZEVENBERGEN C., CASHMAN A., EVELPIDOU N., 2010. *Urban Flood Management*. USA: Taylor & Francis, 338 p.