



HAL
open science

Cartographie de la recharge potentielle des aquifères en zone aride

Abdelhamid Haouchine, Boudoukha Abderrahmane, Fatima Zohra Haouchine, Rachid Nedjaï

► **To cite this version:**

Abdelhamid Haouchine, Boudoukha Abderrahmane, Fatima Zohra Haouchine, Rachid Nedjaï. Cartographie de la recharge potentielle des aquifères en zone aride : Cas de la plaine d'El Outaya, Biskra, Algérie. EUROJOURNALS, 2010, 45 (4), pp.1-13. halshs-00579048

HAL Id: halshs-00579048

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00579048>

Submitted on 23 Mar 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CARTOGRAPHIE DE LA RECHARGE POTENTIELLE DES AQUIFERES EN ZONE ARIDE.

CAS DE LA PLAINE D'EL OUTAYA, BISKRA -ALGERIE-

Abdelhamid HAOUCHINE* Abderrahmane BOUDOUKHA** Fatima Zohra HAOUCHINE* & Rachid NEDJAI***

**Laboratoire de Géo-Environnement FSTGAT/USTHB ; BP 32 El-Alia Bab Ezzouar 16000 Alger Algérie*

***Laboratoire d'hydraulique, université de Batna ; Algérie*

****Institut de Géographie Alpine UJF ; 14 bis, Avenue Marie Reynoard 38100 Grenoble France*

E-mail : ahaouchine@usthb.dz

RESUME

Dans les zones arides où les précipitations se trouvent en dessous de l'isohyète 200, et devant la quasi inexistence de ressources hydriques superficielles, l'exploitation des eaux souterraines reste le seul moyen pour parvenir à la satisfaction des divers besoins.

Afin d'assurer la pérennité de cette ressource qui devient de plus en plus rare devant l'augmentation des sollicitations, il est impératif d'asseoir une gestion adéquate. Dans cette optique, la connaissance du taux de recharge des nappes aquifères est d'un intérêt particulier dans toute étude de quantification et de gestion.

Cet article constitue une contribution à la détermination de la recharge potentielle des aquifères. La méthodologie proposée est une approche cartographique du phénomène, à partir de l'analyse des facteurs majeurs régissant l'infiltration dans ces zones.

L'analyse s'est appuyée sur l'utilisation d'un Système d'Informations Géographiques et a été rendue possible grâce à l'élaboration des différentes couches de données spatialisées descriptives de ces différents facteurs.

Ce travail a permis la classification de la zone d'étude (plaine d'El Outaya, Wilaya de Biskra, Algérie) en cinq niveaux descriptifs quant au taux de recharge, révélant un zoning des valeurs allant de 0.02% à 16.25% des précipitations, permettant ainsi une recharge globale de 30mm/an.

Mots-clé : infiltration, zone aride, cartographie, SIG.

ABSTRACT

In the arid regions where precipitations are below isohyet 200, and in front of the quasi inexistence of surface hydrous resources, the exploitation of ground waters remains the only means to arrive at the satisfaction of the various needs.

In order to ensure the sustainability of this resource that is becoming increasingly rare in front of the increase in the requests, it is imperative to establish adequate management. In this optic, knowledge of the rate of groundwater recharge is of particular interest in any study of quantification and management.

This article constitutes a contribution to the determination of the potential refill of the aquifers. Methodology suggested is a cartographic approach of the phenomenon, starting from the analysis of the major factors governing the infiltration in these zones.

The analysis was based on the use of a Geographical Information System and was made possible owing to the development of the various layers of descriptive spatialized data of these various factors.

This work allowed the classification of the zone of study (El Outaya plain, Biskra, Algérie) in five descriptive levels as for the rates of refill, revealing a zoning values going from 0.25% to 16.25% of precipitations, and thus allowing a global refill of 30mm/an.

Key words: infiltration, arid region, cartography, SIG.

1. INTRODUCTION

Caractérisées par des précipitations annuelles inférieures au seuil conventionnel de 150 à 200mm, les régions arides disposent de ressources en eau renouvelables très limitées. Parallèlement à ces conditions naturelles défavorables, le développement des activités industrielles et agricoles et l'extension des périmètres irrigués en particulier, n'ont pas été sans conséquences sur l'environnement en général et sur la ressource en eau plus particulièrement. En effet, nous avons assisté à l'implantation de zones urbaines de plus en plus importantes accompagnées de zones industrielles et un développement accru de l'activité agricole. Ceci a été à la base d'une dégradation de la ressource en eau tant sur le plan quantitatif que sur celui de la qualité. Le cas de la région de Biskra est révélateur de cette situation et les rabattements des niveaux piézométriques des différents aquifères de la région (Larbes, 2005) ne font que conforter l'ampleur de cette dégradation.

Face à cette situation, établir une évaluation et asseoir une gestion optimale des ressources en eaux dans ces zones est devenu indispensable et afin d'y parvenir, les gestionnaires de l'eau ont besoin d'informations très précises sur les conditions de réalimentation et d'exploitation au niveau de chaque bassin hydrogéologique.

La recharge, un paramètre difficile à estimer :

L'évaluation de la recharge des nappes d'eau souterraine est sans aucun doute l'un des paramètres les plus pertinents mais aussi le plus difficile à estimer et diverses approches ont été envisagées (Sophocleous, 2004). Celles-ci peuvent être classées en :

(1) méthodes climatiques évaluant la recharge par simple différence entre termes du bilan hydrique (Rodier & Ribstein, 1988 ; FAO, 1996). Elles consistent à mesurer précisément l'évapotranspiration réelle et la pluie sur des stations hydroclimatiques. En régions arides, et en raison des pertes de transmission (Renard & Kenneth, 1985) et de la variabilité spatiale des précipitations, ces méthodes ne permettent pas de quantifier la part des pluies efficaces réellement infiltrée et la part des pluies efficaces transformées en écoulements de surface et ne peuvent être contrôlées in situ.

(2) méthodes directes qui consistent à estimer l'infiltration en utilisant des appareils de mesure in situ (infiltromètres de müntz, à double anneaux, ...). Les mesures in situ par infiltromètres ne reflètent pas l'infiltration réelle du terrain car elles correspondent à des valeurs ponctuelles, interpolées sur l'ensemble de la surface. En outre, la mesure ne porte que sur les sols superficiels ; et, dans le protocole de mesure, l'appareil est enfoncé de quelques centimètres dans le sol et le terrain est défriché, de ce fait on élimine l'impact des facteurs pouvant influencer l'infiltration, tels que la surface du sol et celle de la couverture végétale.

(3) méthodes physiques, elles consistent à suivre, en continu, l'état d'humidité et de pression dans le sol. Elles permettent de quantifier les flux d'infiltration effectifs des premiers mètres du sol vers la nappe, dans la zone non saturée située au-dessus de la nappe. De telles méthodes présentent l'inconvénient d'être d'application très locale (à l'échelle du m²) et de nécessiter, aussi, une instrumentation et un suivi très lourds (profils fréquents à la sonde à neutrons, relevés et entretien d'une batterie de tensiomètres). Elles ne se prêtent pas non plus à une analyse sur des sites multiples éloignés les uns des autres (Filippi, Milville & Thiery, 1990).

(4) la méthode géochimique, basée sur l'utilisation du bilan des chlorures (Cl⁻) et la méthode isotopique qui exploite les rapports des teneurs en tritium (³H) des eaux des nappes comparés à ceux des précipitations, fournissent des résultats intéressants quant à l'estimation de l'infiltration efficace en zones arides (Guendouz & Moulla, 2006). Toutefois, de nombreux travaux indiquent que ces approches ne sont pas sans biais, parce que dans certains cas des écoulements préférentiels contribuent pour plus de 90% au total de la recharge estimée. Les résultats fournis par les traceurs (Cl⁻, ³H) doivent par conséquent être interprétés avec précaution dans les régions où existe un écoulement multimodal dans la zone d'infiltration. De plus, l'estimation précise de l'apport total en chlorure est essentielle et le tritium peut être influencé par le transport de vapeur pour des flux faibles. En outre, les conditions paléoclimatiques et paléo-hydrologiques peuvent introduire des désaccords entre les processus actuels mesurés et les moyennes calculées sur le long terme (De Vries & Simmers, 2002).

Il appert donc que, malgré les nombreuses études et les différentes approches utilisées, la détermination des flux de recharge en régions arides reste pleine d'incertitudes. Ceci met en relief la nécessité d'appliquer des techniques multiples pour accroître la validité des estimations de la recharge.

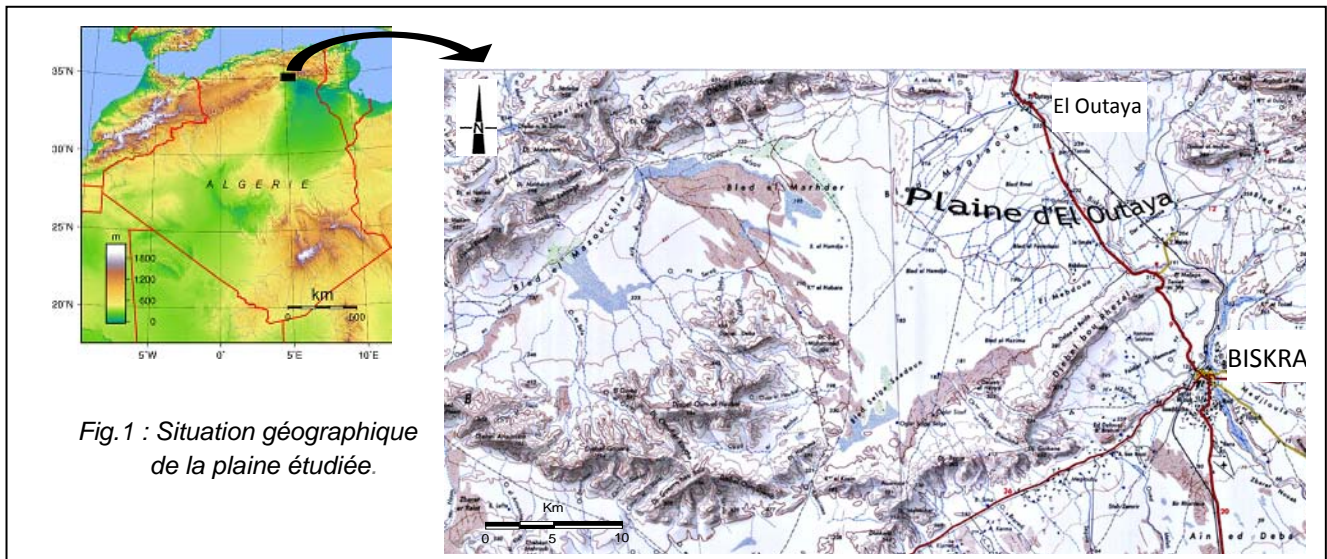
La réflexion que nous avons entamée dans le cadre de ce travail, constitue une proposition d'analyse spatiale pour améliorer l'estimation et fournir des évaluations de la recharge potentielle. Elle repose sur la définition des paramètres régissant l'infiltration, leurs degrés d'influence et les relations éventuelles qui existent entre eux. Chaque facteur étant étudié indépendamment, et au final, tous les paramètres

seront intégrés et compilés pour aboutir à une carte-synthèse de la recharge potentielle ; ceci, à partir du traitement des cartes topographiques, géologiques, pédologiques et l'analyse des données brutes sur les ressources en eau et en sol dans la région d'étude.

En plus de leurs diverses caractéristiques (nature, valeur, aspect), tous les paramètres étudiés présentent une composante spatiale, de ce fait, l'information véhiculée par ces paramètres peut être stockée, analysée et visualisée à l'aide d'un Système d'Information Géographique que nous avons tenté d'optimiser et d'orienter vers la cartographie de la recharge.

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La plaine d'El Outaya est située à 28 km au Nord de la ville de Biskra. Elle constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés au Nord et les étendues désertiques de la plateforme saharienne au Sud. (Fig.1)



Morphologiquement, cette plaine correspond à un vaste glacis en pente douce qui s'étale au sud-ouest du Djebel Maghraoua et au pied de l'Aurès à des altitudes qui s'abaissent d'une manière très régulière et presque imperceptible de 250 à 180m. Les vallées ne s'y marquent guère et la plaine est entourée de crêtes, correspondant à la tranche des couches plissées ; constituant des arêtes à flancs dissymétriques, elles culminent autour des altitudes de 415m (Djebel Boughzal) et de 483m (Djebel Maghraoua). Le Djebel Mellah présente une autre configuration : il se dresse jusqu'à 626m sans s'intégrer dans les autres alignements ; au contraire, il constitue un dôme escarpé et raboteux.

Le réseau hydrographique de la région est très peu dense, il comporte un tronc principal, Oued Biskra, qui fait partie du bassin fermé du chott Melghir et reçoit sur sa rive gauche quelques tributaires issus de l'Aurès et de Djebel Mellah. La majorité de réseau hydrographique est à sec le long de l'année, sauf lors des pluies exceptionnelles.

Les sols sont de parcours steppique dont la végétation naturelle est dégradée ; la région dispose d'une grande variété de sols ayant pour genèse l'interférence de la géologie et de la géomorphologie.

Plus saharienne que sahélienne, **la végétation** est spontanée et régie à la fois par des conditions climatiques et des dégradations de causes anthropiques. Mise à part les surfaces irriguées, les reliefs sont pratiquement dépourvus de végétation.

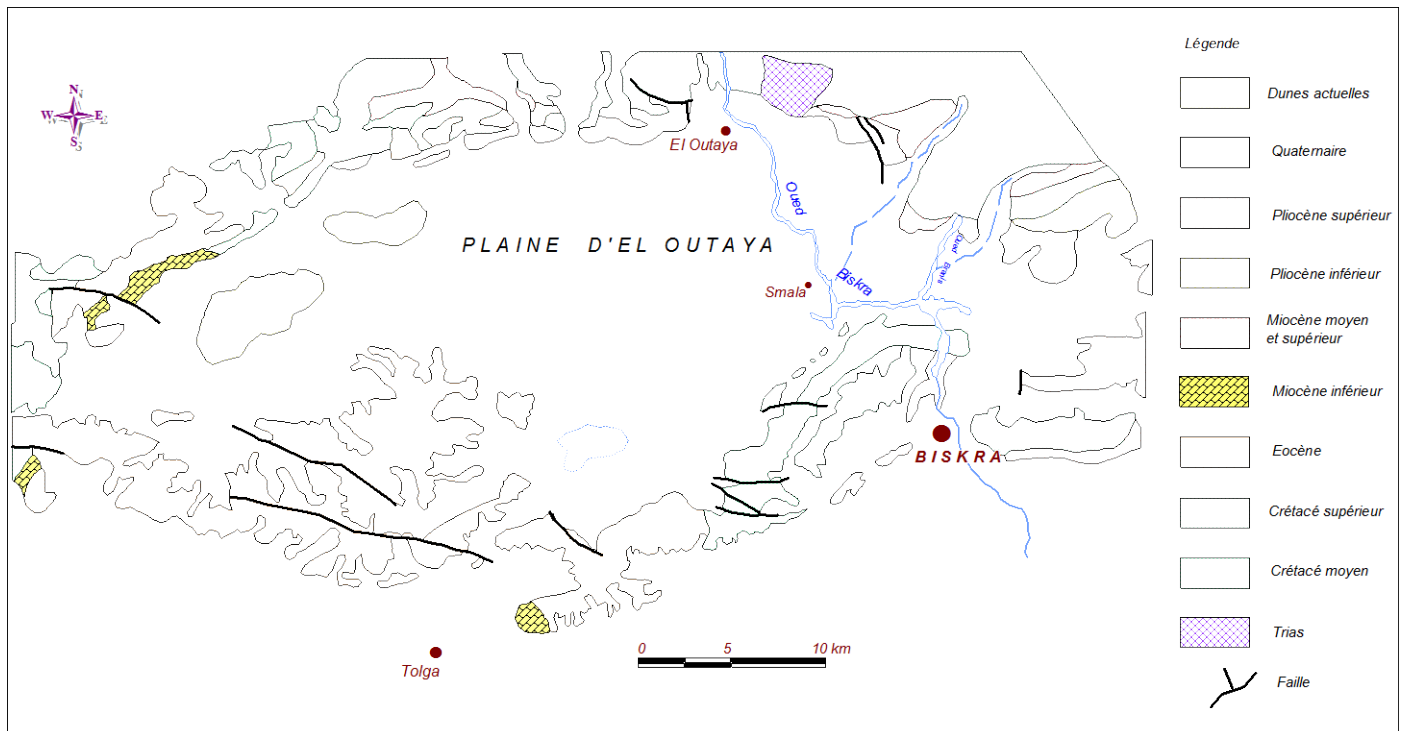
Sur le plan **climatique**, La plaine d'El Outaya est soumise à un climat aride avec des tendances franchement sahariennes, caractérisé par de faibles précipitations en hiver et un été chaud et sec avec quelques pluies exceptionnelles en automne.

Les précipitations d'une moyenne annuelle de 129mm (à la station de Biskra), sont d'origine orographique. L'irrégularité des précipitations dans la région indique que la recharge des nappes se fait généralement lors de fortes crues. **La température** moyenne annuelle est de 21.6°C. Cette forte chaleur est due à la concentration de masses d'air chaud du Sahara, ce qui donne une augmentation sensible de l'amplitude thermique, favorisant ainsi une intense évaporation.

CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Située dans une zone fortement tectonisée, séparant deux domaines bien distincts : l'Atlas Saharien surélevé, au nord et le Sahara, pays effondré, au sud, la plaine d'El Outaya occupe un vaste synclinorium affecté par un ensemble de plis et de failles (Fig.2).

L'ensemble de la lithostratigraphie de cette plaine (R.Laffitte, 1939 et N.Gousskov, 1952) est constitué par les terrains crétacés formés de grès, marnes, calcaires et argiles. L'Eocène est représenté par des calcaires fissurés, marnes et gypse. Les formations néogènes (Mio-Pliocène) sont bien développées et sont constituées de calcaires et calcaires marneux à la base, des conglomérats, grès, sables et des marnes au sommet. Le Quaternaire est formé d'alluvions, travertins de sources et des éboulis.



La structure à valeur synclinale de la plaine d'El Outaya, les caractéristiques lithologiques ainsi que l'analyse des données de la campagne géophysique (CGG, 1971) permettent de relever les différents ensembles aquifères constitués par les réservoirs du Quaternaire, du Mio-Pliocène et de l'Eocène-Sénonien-Turonien :

La nappe superficielle : Il s'agit d'une nappe alluviale localisée dans les accumulations alluvionnaires (dépôts sableux et argilo-sableux du Quaternaire) de l'oued Biskra. Elle est alimentée par les précipitations, l'infiltration des eaux de l'oued et les eaux d'irrigation.

La nappe du Mio-Pliocène : Cet aquifère est constitué par une alternance de niveaux fins argileux ou marneux et de niveau grossiers sableux et conglomératiques. Cette nappe à une extension considérable, elle est captée par de nombreux forages ; son épaisseur est faible sur les piémonts et augmente au milieu de la plaine. Son alimentation est assurée par les pluies exceptionnelles dans la zone d'affleurement.

La nappe des calcaires : Elle est constituée par les calcaires du Sénonien supérieur et ceux du Turonien, mais c'est l'Eocène inférieur qui constitue en zone fissurées la nappe la plus importante dans la région. Il s'agit d'un aquifère captif, appelé "nappe de Tolga", intensivement capté dans la région des Zibans.

3. METHODOLOGIE D'ANALYSE

La méthode consiste à croiser les informations spatiales relatives aux différents facteurs régissant la recharge des aquifères. Ceux ci sont d'abord étudiés séparément et relativement appréciés. Une classification est ainsi définie pour chacun d'eux et une cote (allant de 1 à 10) sera affectée à chaque classe. Une carte thématique est alors établie pour chaque paramètre.

Par la suite, le rôle de chacun de ces paramètres dans l'infiltration est pondéré, évalué et exprimé sous le terme d' «indice d'infiltration» ainsi que son taux de contribution.

«L'indice d'infiltration» est une valeur numérique égale à la cote affectée d'un coefficient de pondération (poids) exprimant l'importance de l'effet exercé par rapport aux autres paramètres. La détermination des poids repose sur l'analyse des effets relationnels inter-paramètres : un point (1pt) est attribué pour chaque effet majeur, et un demi-point (0.5 pt) pour chaque effet mineur. Le poids de chaque facteur sera alors égal à la somme des effets qu'il exerce sur les autres (Shaban et al, 2001).

Le taux de contribution de chaque facteur dans la recharge potentielle correspondra alors au rapport (en%) de son indice d'infiltration sur la somme des indices de tous les facteurs.

Enfin, en procédant à la sommation de tous les indices pour une zone donnée, on obtient une valeur qui traduit l'importance relative de la recharge dans la dite zone. Le «potentiel de recharge» dans une zone donnée correspond donc à la résultante des indices de tous les paramètres pris en compte. L'implémentation sur un SIG (superposition des cartes thématiques des paramètres) permettra alors d'établir une carte synthèse sur laquelle seront circonscrites les zones de recharge potentielle.

LES PRINCIPAUX FACTEURS REGISSANT LA RECHARGE

En ralentissant l'écoulement à la surface du sol, le couvert végétal permet à l'eau de s'infiltrer. Par ailleurs, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par conséquent le phénomène de battance (Musy et Soutter, 1991). La couverture végétale permet aussi le confinement de l'eau au dessous de la zone couverte, diminuant ainsi le taux d'évaporation directe. Inversement, la recharge joue un rôle significatif dans la distribution de cette végétation.

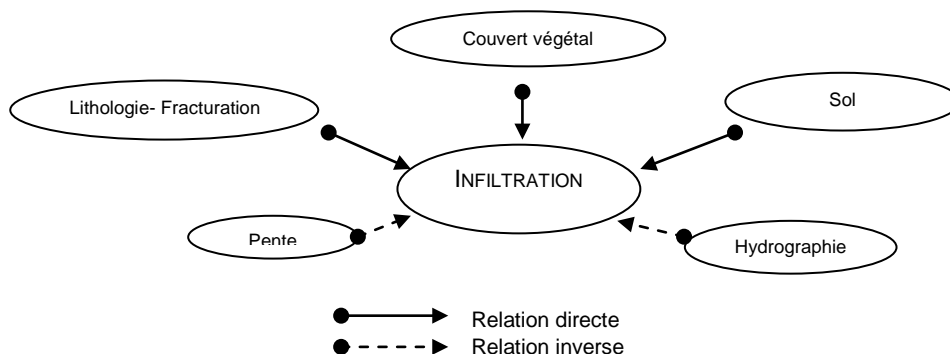
Le cheminement des eaux de la surface vers les profondeurs découle de la perméabilité, de la compaction et de la nature du ciment entre les grains, donc de la connaissance du caractère lithologique ainsi que de la densité de fracturation (Kouadio et al, 2008).

Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration. De plus, la compaction de la surface du sol due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques et anthropiques) peut avoir pour conséquence la dégradation de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur.

La forme ainsi que la densité du réseau hydrographique permettent de tirer des conclusions importantes quant au ruissellement et à l'infiltration des eaux. Un réseau hydrographique complexe et développé implique généralement une faible infiltration.

Enfin, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.

Le schéma suivant résume les principaux facteurs régissant l'infiltration :



4. RESULTATS ET DISCUSSION

Comme cité précédemment, les facteurs influençant la recharge seront étudiés indépendamment les uns des autres et par la suite, intégrés et compilés selon la méthodologie définie pour obtenir la carte des zones de recharge potentielle.

LE COUVERT VEGETAL ET L'OCCUPATION DU SOL (CV & OS)

L'examen de la carte d'occupation des sols (BNEDER, 2005) ainsi que l'étude agro-pédologique de la plaine d'El Outaya (DSA Biskra, 2006) nous permet de définir les types de végétations et d'occupation des sols suivants : Cultures annuelles, Erosions et parcours sahariens, Arboricultures et Badianes, Lits d'Oueds, Affleurements rocheux dénudés et enfin Constructions et localités.

Pour l'établissement de la carte thématique de ce paramètre, quatre (04) classes ont été définies, en fonction de la densité du couvert végétal. Cette classification est résumée dans le tableau suivant:

Classe		Type de Couvert Végétal & Occupation des sols	% densité de la classe	%Surface occupée / à la surface totale
N°classe	Qualité			
01	Très faible	Constructions et affleurements rocheux	< 5%	>10%
02	Faible	Parcours sahariens et érosions	5-10%	69%
03	Faible à moyen	Badiane et arboriculture	10-25%	9%
04	Moyen	Cultures annuelles et parcours	25-50%	< 10%

Tableau n°1 : Récapitulation des différentes classes du CV & OS.

LA LITHOLOGIE

Pour l'élaboration de la carte, nous avons tenté, à partir des cartes géologique et hydrogéologique, de regrouper les différentes lithologies rencontrées dans la zone d'étude en classes ayant les mêmes caractéristiques hydrogéologiques, en connaissant leurs valeurs approximatives de l'infiltration finale telles que proposées par MUSGRAVE en 1955 (ASCE 1996).

Les différentes lithologies rencontrées dans la zone d'étude ont été regroupées en quatre (04) grandes classes (tableau n°2) suivant la capacité d'infiltration finale (I_f).

Classes	Lithologie	Infiltration I_f (mm)	perméabilité
1 (Faible)	Diapir de sel gemme, Dolomie bréchoïdes, Marne rouge à silex, ouvrages humains	0 - 1	Imperméable
2 (moyenne à Faible)	Argile et marne à gypse et à anhydrite, Marne, marno-calcaires	1 - 4	Peu perméable
3 (Moyenne)	Dolomie et calcaire massif, marne Cailloutis gravier et sable Conglomérat grès sable et marne	4 - 8	Perméable
4 (Forte)	Conglomérat, grès et marne rouge Calcaire massif fissuré Grès fin et marne, calcaire très fissuré	8 - 12	Très perméable

Tableau n°2 : Différentes classes en fonction de pouvoir infiltrant.

LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'établissement de la carte thématique de ce paramètre repose sur la digitalisation, à partir de la carte topographique, de tous les cours d'eau et leur classement en fonction de leur densité de drainage. La classification adoptée permet de distinguer quatre (04) classes suivant la densité de drainage I_d :

- $I_d > 2$ (très forte) : L'écoulement et le drainage sont très forts. Cette classe concerne les zones montagneuses.
- $2 > I_d > 1.5$ (forte) : L'écoulement et le drainage sont moyens, cette classe se concentre dans les piedmonts et les zones de reliefs de moindre importance par rapport à la classe précédente.
- $1.5 > I_d > 1$ (moyenne) : L'écoulement et le drainage commencent à faiblir, la vitesse devient de plus

en plus faible. Cette classe se trouve dans les zones de faible pente (plaine).

- *Id < 1 (moyenne à faible)* : L'écoulement et le drainage sont très faibles, parfois presque nuls, cette classe concerne les zones de plaine ou de dépression. C'est la zone la plus favorable à l'infiltration.

LE SOL

A partir de l'étude agro-pédologique, quatre (04) classes de sols ont été observées dans notre zone d'étude : les sols minéraux bruts, les sols peu évolués, les sols halomorphes et les sols hydromorphes. Le tableau n°3 résume la classification établie :

Tableau n°3 : Différents types de sols de la plaine d' El Outaya

Classe	Sous classe	Groupe	Superficie (ha)	%
sols minéraux bruts. (forte à moyenne)	non climatiques	d'apport alluvial	894	2.68
sols peu évolués (moyenne)		d'érosion	1625	4.87
		d'apport alluvial	2800	8.40
			325	0.97
			1775	5.33
sols halomorphes (faible)	sols à structure non dégradée	sols salins	7725	23.19
	sols à structure dégradée	sols salins à alcalins	12200	36.63
Hydromorphes (Très faible)	Structure très dégradée	Très salins	1225	3.63

LA PENTE

La réalisation de la carte thématique de ce facteur a nécessité l'établissement d'un modèle numérique de terrain. L'examen des valeurs de pentes sur ce MNT a permis de déterminer quatre (04) classes :

- *Classe I : $\alpha > 10\%$ (très forte)* : Les valeurs de cette classe représentent les zones montagneuses qui entourent toute la plaine d'El Outaya (Dj. Maghraoua, Dj. Foum Zgag, Dj. Boughezal), où le ruissellement serait très important, impliquant une infiltration minimale.

- *Classe II : $5 < \alpha < 10\%$ (forte)* : Cette classe correspond aux zones de piedmonts. Le ruissellement perdrait de son ampleur et c'est l'infiltration qui commencerait à avoir lieu, bien que le facteur longueur de pente soit réduit. Cette bande comprend la région de Branis et le flanc nord de Djebel Boughezal.

- *Classe III : $1 < \alpha < 5\%$ (faible à moyenne)* : C'est la classe des hautes plaines ; elle comprend les deux périmètres agricoles Koudiat Djedid et M'Keinet récemment aménagés et qui ont des pentes allant de 1.5 à 3.5%. Cette zone montre des pentes relativement faibles, où l'infiltration prend de l'importance contrairement au ruissellement qui perd son énergie.

- *Classe IV : $\alpha < 1\%$ (très faible)* : C'est la classe des basses plaines. Elle occupe le centre de la carte et la plus grande partie de la zone d'étude. Les pentes y sont très faibles, d'où le nom de « El Outaya » signifiant le plat.

1- EVALUATION DES COTES

Afin d'estimer les cotes des différents paramètres de façon homogène, une échelle des cotes a été élaborée sur la base des plages de variation des paramètres. Nous obtenons ainsi l'échelle suivante :

Classe	Très forte	Forte	Forte à moyenne	Moyenne	Moyenne à faible	Faible	Très faible
Cote	10	8	6.5	5	3.5	2	1

La catégorisation des paramètres suivant cette échelle nous permet d'obtenir les cotes de chaque classe ; ceci pour tous les paramètres indépendamment les uns des autres.

Le tableau n°4 récapitule les valeurs obtenues pour tous les paramètres :

Paramètre	Description de la classe	Domaine de l'effet	côte de l'effet
Couvert végétal et Occupation des sols	moyen	Végétation dispersée	5
	Faible à moyen	Parcours saharien	3.5
	Faible	Parcours épars	2
	Très faible	Construction,	1
Lithologie	fort	$8 \leq I_F < 12$ mm	8
	moyen	$4 \leq I_F < 8$ mm	5
	moyen à faible	$1 \leq I_F < 4$ mm	3.5
	Faible	$0 \leq I_F < 1$ mm	2
Réseau hydrographique	Fort	$I_D > 2$ km/km ²	1
	Fort à moyen	$2 > I_D > 1.5$ km/km ²	2
	Moyen à faible	$1.5 > I_D > 0.5$ km/km ²	3.5
	très faible	$I_D < 0.5$ km/km ²	5
Sol	Fort à moyen	Minéraux bruts	6.5
	Moyen	Peu évolués	5
	faible	Halomorphes	2
	très faible	hydromorphes	1
Pente	Très fort	$\alpha > 10\%$	1
	Fort à moyen	$10 > \alpha > 5\%$	2
	moyen	$5 > \alpha > 1\%$	3.5
	Très faible	$\alpha < 1\%$	5

Tableau n°4 : Catégorisation des paramètres affectant la recharge potentielle dans la plaine

2- DETERMINATION DES POIDS

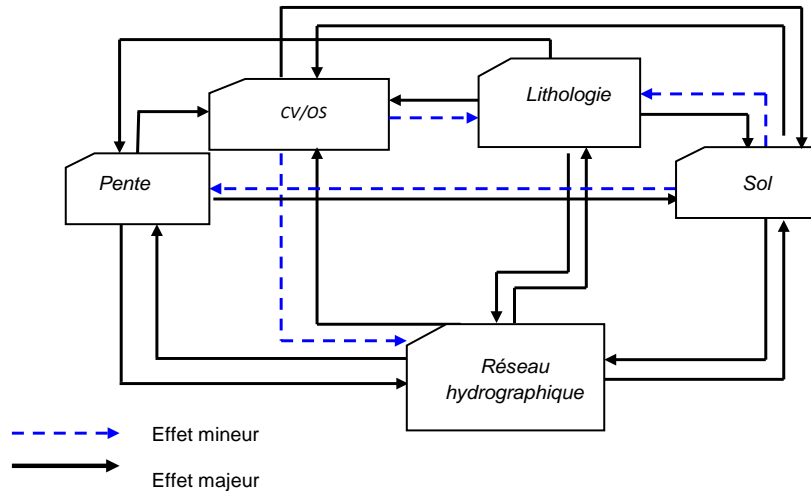
Pour déterminer la pertinence de chaque paramètre vis-à-vis de l'infiltration, une analyse des effets relationnels inter-paramètres a été effectuée.

- la lithologie conditionne le type de couvert végétal et d'occupation du sol. En effet, pour chaque type de lithologie, un genre et une densité de couvert végétal se définissent. Par ailleurs, Le couvert végétal a un rôle fixateur des terrains en place, il réduit l'ampleur de l'érosion et de glissement. *La lithologie* aura donc un effet majeur (1) et *le couvert végétal* un effet mineur (0.5)
- Tous les sols dégradés sont presque dénudés, en raison de la salinité et l'état des terrains. D'autre part, les racines et feuillages des plantes jouent un rôle important dans l'amélioration de la terre végétale et la capacité d'infiltration. Il existe donc un effet majeur (1) des deux parts.
- La *végétation* existante se concentre dans les plaines, les lits d'oueds et les zones de dépression, auxquels correspondent des *pent*es faibles à très faibles. Par contre celles des hauteurs où les pentes sont de plus en plus fortes (>10%) sont pratiquement désertiques. *La pente* joue un rôle important dans le ruissellement et l'alimentation, donc elle influe *le couvert végétal* continuellement.
- Tous les types de cultures se concentrent soit sur les rives ou à l'approche d'un oued ou thalweg ou bien à l'exutoire du bassin versant pour permettre un meilleur arrosage et un renouvellement de la terre végétale. En conséquence, *le couvert végétal* est fonction *du réseau hydrographique* et conditionné par ce dernier. Mais, il faut signaler que le couvert végétal freine le ruissellement, de ce fait un effet mineur est à relever aussi.
- Les *cours d'eau* présentent une forme « imposée » en grande partie par *la lithologie* des terrains qu'ils traversent. L'effet majeur est donc assez évident. D'autre part, la lithologie doit beaucoup au réseau hydrographique pour son alimentation en particules fines et son remaniement. En conséquence, un effet majeur existe de part et d'autre.
- En superposant la carte du *réseau hydrographique* et celle de *la pente*, nous remarquons que plus la pente est forte plus la densité des cours d'eau est grande et les affluents sont resserrés. Dans les zones de plaines les cours d'eau sont plus espacés et de très faible densité. Il y a donc un effet majeur de la part de la pente.
- La nature pédologique et la texture du sol sont continuellement modifiées et remaniées par le réseau hydrographique soit par le transport ou par les phénomènes d'érosion et de corrosion. Un effet majeur est donc exercé par le réseau hydrographique
- Les pentes les plus fortes s'aperçoivent dans les terrains durs, comme les montagnes calcaires-dolomitiques ou salifères du Trias. Par contre les plus faibles se trouvent dans les terrains récents

friables. Ceci implique un effet majeur de la lithologie sur la pente

- La pédologie a pour origine l'érosion des affleurements en surface i.e. la lithologie. La lithologie influe sur les constituants de la pédologie, entraînant donc un effet majeur.

Le schéma suivant présente les différents effets entre les paramètres :



En conséquence, le poids de chacun des facteurs est exprimé comme suit :

- Réseau hydrographique : 4 majeurs = $(4 \times 1) = 4$ pts
- Couvert végétal : 1 majeur + 2mineurs = $(1 \times 1) + (2 \times 0.5) = 2$ pts
- Pente : 3 majeurs = $3 \times 1 = 3$ pts
- Lithologie : 4 majeurs = $(4 \times 1) = 4$ pts
- Sol : 2 majeurs + 2 mineurs = $(2 \times 1) + (2 \times 0.5) = 3$ pts.

3- DETERMINATION DES INDICES D'INFILTRATION

Pour évaluer la contribution de chaque facteur dans la recharge potentielle, son poids et sa côte ont été intégrés tels que mentionné dans le tableau n°5.

Facteur	Description des classes	côte	poids	(Poids) x (côte)	Indice d'infiltration	Taux de contribution
Lithologie	fort	8	4	32	74	33%
	moyen	5		20		
	moyen à faible	3.5		14		
	faible	2		8		
Couvert végétal et occupation du sol	moyen	5	2	10	23	10%
	faible à moyen	3.5		7		
	Faible	2		4		
	Très faible	1		2		
Réseau hydrographique	Très Fort	1	4	4	46	21%
	Fort à moyen	2		8		
	Moyen à faible	3.5		14		
	très faible	5		20		
Pente	Très fort	1	3	3	34.5	16%
	Fort à moyen	2		6		
	moyen	3.5		10.5		
	Très faible	5		15		
Sol	Fort à moyen	6.5	3	19.5	43.5	20%
	Moyen	5		15		
	moyen à faible	2		6		
	très faible	1		3		
<i>Total</i>					221	

Tableau n°5 : Evaluation des indices d'infiltration et du taux de contribution des paramètres sur la recharge.

4- ETABLISSEMENT DE LA CARTE-SYNTHESE

L'établissement de la carte de recharge potentielle a été rendu possible grâce à **l'agrégation** de l'ensemble des cartes paramétriques élaborées et stockées sous forme de couches dessin et données dans le Système d'Informations Géographiques utilisé.

Cette carte révèle les zones majeures d'infiltration (fig.3). Ainsi, cinq (05) niveaux descriptifs ont été mis en évidence. La projection de ces niveaux sur l'échelle proposée par la FAO (1967), montre des classes de recharge à valeurs similaires qui vont de très faible à forte recharge potentielle, regroupées dans le tableau suivant :

Classe de recharge	Très forte	Forte	Moyenne à forte	Moyenne	Faible	Très faible
Taux Déterminée	-----	30-35%	20-30%	10-20%	5-10%	<3%
Taux Moyen	-----	32.5%	25%	15%	7.5%	1 %
FAO (1967)	45-50%	30-35%	-----	10-20%	5-10%	< 5%

Ces classes révèlent des valeurs optimistes quant à la recharge potentielle. La question à laquelle on devrait répondre est : comment peut-on calculer la quantité globale et zonale de la recharge ?

Pour calculer la quantité d'eau réellement infiltrée, un calcul simplifié est proposé par la FAO (1967) :

$$\text{Volume infiltré } (V_{inf}) = \text{volume précipité} \times \sum \text{taux de recharge} \times \% \text{ de la surface}$$

- Calcul de la surface totale :

A partir des valeurs des différentes surfaces lues directement sur la couche dessin (surface du polygone délimitant chaque classe), nous avons la surface totale :

Surface 1 : 284 km ² , représente 50 %	} ⇒ la surface totale = 568 km ²
Surface 2 : 73.84 km ² , représente 13 %	
Surface 3 : 96.56km ² , représente 17 %	
Surface 4 : 102km ² , représente 18 %	
Surface 5 : 11.36km ² , représente 2 %	

- Calcul du volume précipité :

$$\text{Volume précipité} = \text{précipitation moyenne} \times \text{surface totale}$$

$$P=129\text{mm} = 0.129 \text{ m} ; \text{Surface} = 5.68 \times 10^8 \text{ m}^2 ; \text{Volume précipité} = 7.32 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{an.}$$

- Calcul de la recharge :

$$V_{inf} = 7.32 \cdot 10^7 \times (0.5 \times 0.325 + 0.13 \times 0.25 + 0.17 \times 0.15 + 0.18 \times 0.075 + 0.02 \times 0.01).$$

$$V_{inf} = 1.71 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{an.}$$

La lame infiltrée serait alors **L_{inf} = 30 mm/ an.**

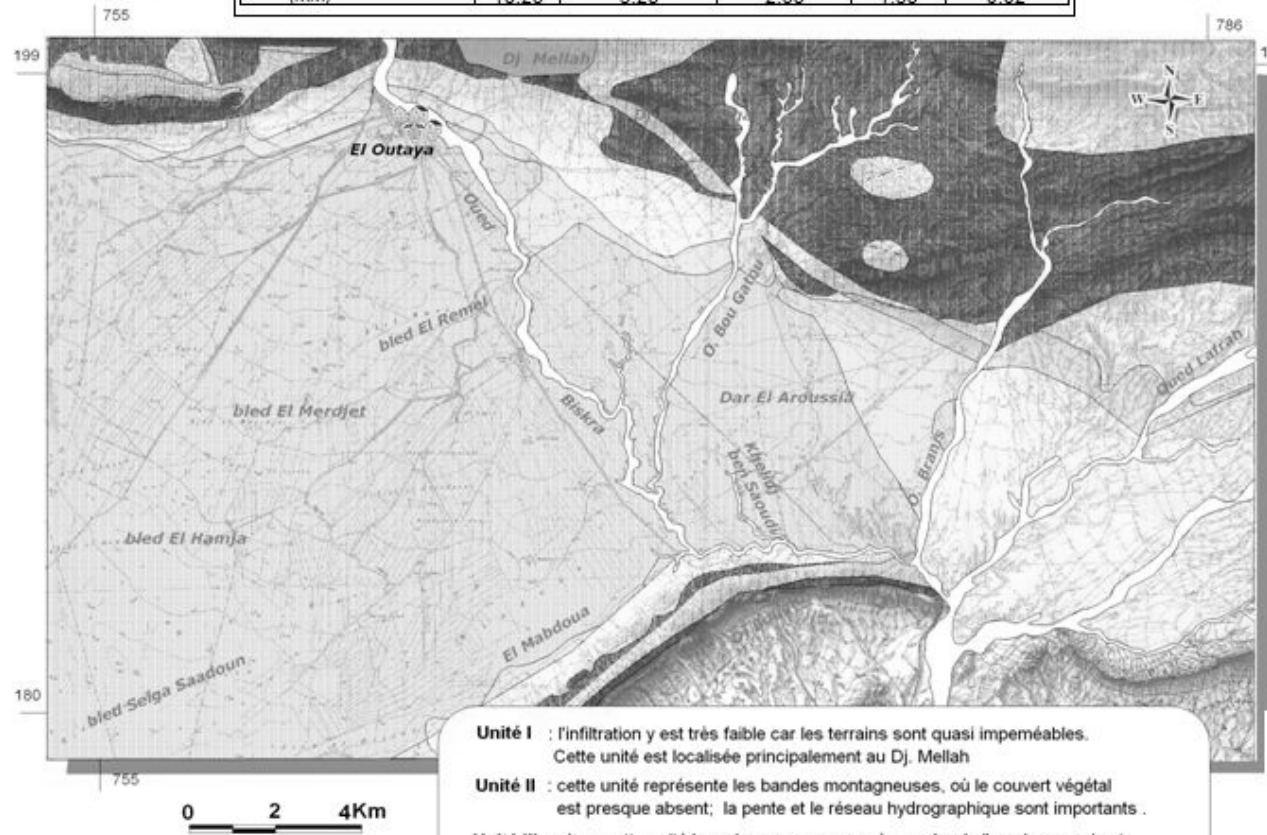
Ceci veut dire que **23.42 %** des précipitations s'infiltrent.

Cette infiltration ou quantité de recharge se répartit sur la zone d'étude comme suit : **16.25%** au niveau de la plaine ; **3.25%** dans les thalwegs et les oueds ; **2.55%** à travers les calcaires fissurés ; **1.35%** à travers les calcaires et dolomies moins fissurés ; **0.02%** s'infiltrent à travers djebel El Mellah et ces environs (Trias et Lias).

Classes de recharge	Forte	Forte à moyenne	Moyenne	Faible	Très faible
Surface (km ²)	284	73.84	96.56	102.24	11.36
% de surface	50	13	17	18	2
Volume infiltré (mm)	20.65	4.13	3.24	1.7	0.25
	16.25	3.25	2.55	1.35	0.02

THEME DE L'ETUDE :
ESTIMATION DE LA RECHARGE DANS
LA PLAINE D'EL OUTAYA

CARTE DE RECHARGE POTENTIELLE



Unité I : l'infiltration y est très faible car les terrains sont quasi impénétrables. Cette unité est localisée principalement au Dj. Mellah

Unité II : cette unité représente les bandes montagneuses, où le couvert végétal est presque absent; la pente et le réseau hydrographique sont importants.

Unité III : dans cette unité la recharge commence à prendre de l'ampleur, ceci est dû à la diminution de la pente et la densité de drainage.

Unités IV et V : Ces unités occupent la majeure partie de la zone d'étude où la nature lithologique des formations (alluvions, sables,...) ainsi que la pente (très faible) sont favorables à une bonne infiltration

LEGENDE

	Classes	Unités
	< 5 %	Très faible I
	5-10 %	Faible II
	10-20 %	Moyenne III
	20-30 %	Moyenne à forte IV
	> 30%	Forte V

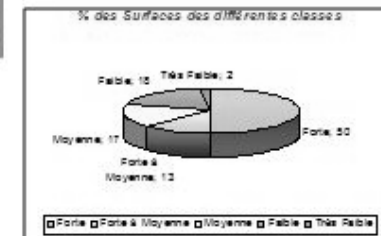


Fig.3 : Carte-synthèse de la recharge potentielle de la plaine d'El Outaya

5. CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont été comparés à ceux obtenus par d'autres méthodes appliquées dans la même zone d'étude, en l'occurrence la méthode du bilan hydrique effectuée au pas de temps journalier (Mimeche L. 1999). L'analyse qui a été effectuée sur une période de 10 ans (1988-1998) donne les résultats suivants : Précipitations = 142 mm et Ruissellement+Infiltration = 67.6mm. L'excédent (R+I) représente alors 48% des Précipitations. Par ailleurs, en se basant sur des analyses granulométriques effectuées dans la région d'étude, Hamidou M.A. (1974), a calculé un coefficient d'infiltration allant de 20% à 40% de la pluie moyenne annuelle ; l'infiltration minimale serait alors de 28.4 mm/an. Les résultats sont par conséquent, significatifs et comparables à ceux obtenus dans notre travail (30 mm/an).

Néanmoins, cette approche reste une proposition d'analyse spatiale qui devrait être confirmée par des mesures de terrain avant de pouvoir être utilisée dans le cadre de prises de décisions. Une validation plus rigoureuse impliquerait des mesures en différents points et une quantification de l'effet des paramètres. La validation pourrait aussi conduire à définir de nouveaux critères ou à en modifier les pondérations affectées.

BIBLIOGRAPHIQUE

- American Society of Civil Engineers ASCE (1996): Hydrology Handbook, Second edition. ASCE manuals and reports on engineering practice n°28.
- De Vries J.J. ; Simmer I. (2002) : Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 10, pp.5-17.
- Filippi C. ; Milville F. ; Thierry D. (1990) : Evaluation de la recharge naturelle des aquifères en climat Soudano-Sahélien par modélisation hydrologique globale: Application a dix sites au Burkina Faso. *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques*, 35, 1, 2/1990
- Gouskov N. (1962) : Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000 Biskra. Publ. Serv. Géol.Algérie 1964.
- Guendouz A. ; Moulla A.S. (2006) : Utilisation des techniques isotopiques à la détermination de la recharge et de l'évaporation à travers la zone non-saturée en zone aride. *Proc. International Congress on: « Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development (GIRE3D)*, 23-25/ 05/ 2006, Caddi Ayad Univ., Marrakech, Morocco.
- Kouadio E.K. & al. (2008) : Hydrogeology Prospecting in Crystalline and Metamorphic Area by Spatial Analysis of Productivity Potential. *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.22 No.3 (2008), pp.373-390.
- Laffitte R. (1939): Etude géologique de l'Aures. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie 2^{ème} Série, Stratigr. Descript. Régio., n°15, 451 p.
- Larbes A. (2005) : Etude sur modèle mathématique du système aquifère de la région de Biskra. (ANRH). Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraine dans le Sahara – CIRESS, 12-13 Déc. 2005, Ouargla, Algérie
- Musy A. ; Soutter, M. (1991) Physique du sol. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse, 335 p.
- Renard ; Kenneth G. (1985) : Water Resources of Small Water Impoundments in Dry Regions. In: Small Water Impoundments in Semiarid Regions. J.L. Thames (editor). University of New Mexico Press
- Rodier J.A. ; Ribstein P. (1988) : Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les petits bassins versants du Sahel couvrant de 1 à 10 km². Orstom, Montpellier. 133 p.
- Shaban A. & al. (2001) : Assessment of road instability along a typical mountainous road using GIS and aerial photos, Lebanon-eastern Mediterranean. *Bull. Eng. Geol. Env.* 60, pp. 93-101.
- Sophocleous M. (2004): Groundwater recharge and the water budgets of the Kansas High Plains and related aquifers. *Kansas Geological Survey Bulletin* 249. 102 p.