

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا لزراعة الحراش - الجزائر العاصمة

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH –ALGER



**Thèse**

En Vue De L'obtention Du Diplôme De Doctorat En Sciences Agronomiques

Département: Génie Rural

**THEME**

***Modélisation de la nappe quaternaire de Biskra -  
Estimation de la recharge et de la décharge***

Présenté par : M.KHOMRI Zine-Eddine

Soutenu le : 09/05/2023

**Membres du Jury :**

Président : Mr. SEMAR Ahcène

Professeur, ENSA Alger

Promoteur: Mr. CHABACA Mohamed Nacer

Professeur, ENSA Alger

**Examineurs :**

Mr. HARTANI Tarik

Professeur, CU. Tipaza

Mr. SAKAA Bachir

Directeur de recherche, CRSTRA. Biskra

## TABLE DES MATIERES

Résumé	
Abstract	
الملخص	
Liste des figures .....	i
Liste des Tableaux .....	iii
Liste des Abréviations .....	iv
I- Introduction générale.....	1
<b><i>Première Partie : Etat de l'art et Présentation générale de la zone d'étude</i></b>	
<b><i>Chapitre Premier : Etat de l'art</i></b>	
1- Etat de l'art.....	7
1.1- Recharge des nappes .....	7
1.1.1- Recharge directe par précipitations.....	8
1.1.2- Echange rivière-nappe .....	8
1.1.3- Recharge localisée .....	9
1.2- Méthodes existantes :.....	10
1.2.1- Méthodes de Mesures Niveau du Sol .....	11
1.2.2-Méthodes de mesure au niveau de la nappe.....	13
1.2.3-Modélisation hydrogéologique.....	15
1.3- Recharge et modélisation.....	19
1.3.1- Le modèle EPICgrid.....	19
1.3.2- Le modèle WetSpas.....	20

## **Chapitre Deuxième : Présentation générale de la zone d'étude**

2-	Présentation de la région.....	22
2.1-	Contexte géographique.....	22
2.2-	Le réseau hydrographique.....	23
2.3-	Pédologie.....	25
2.4-	Aspect socio-économique.....	26
2.4.1-	Contexte Agricole.....	26
2.4.2-	Contexte Industriel.....	26
2.4.3-	Le tourisme.....	27
2.5-	Contexte climatique.....	27
2.5.1-	Précipitations.....	27
2.5.2-	Température.....	28
2.5.3-	L'ensoleillement.....	28
2.5.4-	Le vent.....	28
2.6-	Contexte géologique.....	29
2.6.1-	Description litho-stratigraphique.....	30
a-	Cénozoïque : Quaternaire et Tertiaire (Pliocène, Miocène, Eocène) .....	30
b-	Mesozoïque :	
•	Crétacé Supérieur (Maestrichtien, Campanien, Santonien Coniacien, Turonien) et Cénomanién.....	31
•	Crétacé Inférieur (Albien, Aptien et Barrémien) .....	32
2.7-	Contexte hydrogéologique.....	33
2.7.1-	Nappe phréatique .....	35
2.7.2-	Nappe des sables du mio-pliocène.....	36
2.7.3-	Nappe des calcaires.....	38
2.7.4-	Nappe des calcaires du turonien (ct).....	40
2.7.5-	Nappe du Continental Intercalaire (CI) .....	40
2.7.6-	Nombre de points d'eau.....	41

## **Deuxième Partie : Méthodologie**

### ***Chapitre Troisième : Méthodologie***

1- Introduction.....	45
2- Description de la zone d'étude.....	45
3- Méthodologie globale de la recherche.....	47
3.1- Modèle WetSpas.....	52
3.1.1- Bilan hydrique par cellule.....	52
3.1.2- Estimation de la recharge.....	52
3.1.3- Données d'entrée et de sortie du modèle.....	56
3.1.4- Données et logiciels utilisés.....	57
3.1.5- Tables de préparation / consultation des tables de paramètres.....	61
3.1.6- Logiciels utilisés.....	63
3.2- Validation du modèle.....	64
3.2.1- Corrélation de Pearson.....	64
3.2.2- Modèle MODFLOW.....	64
3.2.3- Carte de l'indice de susceptibilité (SI).....	67

## **Troisième Partie: Résultats Et Discussion**

### ***Chapitre Quatrième : Modèle WetSpas***

1- Données spatiales pour l'entrée de modèle.....	71
1.1- Carte des sols .....	71
1.2- Carte d'altimétrie .....	72
1.3- Pente.....	72
1.4- Classification de l'utilisation des terres.....	74
2- Données climatiques pour l'entrée du modèle.....	76
2.1- Précipitation .....	76
2.2- Température .....	79
2.3- Évapotranspiration .....	80
2.4- Vitesse du vent.....	82
2.5- Profondeur des eaux souterraines.....	83
3- Données sorties de modèle.....	85
3.1- Composantes du bilan hydrique .....	85

3.1.1-	Ruissellement.....	85
3.1.2-	Évapotranspiration.....	87
3.1.3-	Recharge .....	87
4-	Influence de l'occupation sol sur les composantes du bilan hydrique .....	92
5-	Influence de la texture du sol sur les composantes du bilan hydrique .....	95
6-	L'évaluation et calibration du modèle.....	96

### **Chapitre Cinquième : Indice de sensibilité**

I-	Carte du SI.....	99
1	Paramètres d'entrée .....	99
1-1	Recharge de l'aquifère .....	99
1-2	Utilisation des terres/couverture des terres .....	100
1-3	Profondeur de l'eau .....	100
1-4	Milieu aquifère .....	101
1-5	Pente.....	102
2.	Carte SI modifiée.....	103
3.	Validation de la carte SI .....	104
	Conclusion générale et perspectives.....	112
	Références bibliographiques.....	117

## Résumé

*La région de Ziban a connu une augmentation des superficies irriguées par rapport aux années précédentes, ce qui est dû à l'augmentation de la demande en eau, qui a entraîné un déficit en eau dans toute la wilaya. A cet effet, la gestion intégrée et rationnelle des ressources en eau est devenue un outil indispensable, afin d'assurer un développement durable. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation du bilan hydrique. Parmi celles-ci, le modèle WetSpass, qui a la capacité de simuler les recharges-décharges distribuées dans l'espace, le ruissellement de surface et l'évapotranspiration saisonnière. L'analyse des résultats de la simulation a montré que WetSpass fonctionne bien dans notre zone d'étude. Les moyennes mensuelles des précipitations de deux périodes humide et sèche sont respectivement de 9,55 mm et 8,22 mm réparties comme suit : 0,35 mm (3,66 %) de ruissellement de surface pour humide et 0,39 mm (4,77%) pour la période sèche, 2,36 mm (24,71%) d'évapotranspiration réelle pour humide et 4,74 mm (57,66 %) pour la période sèche, et 0,36 mm (3,77 %) de recharge pour humide et 0,01 mm (0,13%) pour la période sèche. Le reste c'est l'interception marquée de 6,48 mm (67,85%) pour la période humide et 3,08 mm (37,46%) pour la période sèche. Cette recharge correspond à 1,09 hm<sup>3</sup> pour la période humide et 0,03 hm<sup>3</sup> pour la période sèche. Les zones de décharge sont définies comme des zones où la recharge des eaux souterraines est nulle ou négative. L'étalonnage des résultats obtenus est une comparaison des niveaux statiques observés et simulés. Pour cela, une comparaison a été faite entre le niveau statique observé et les valeurs simulées obtenues par le modèle MODFLOW. La comparaison entre les niveaux d'eau souterraine simulés et observés a montré un bon accord car le R<sup>2</sup> et la RMSE sont égaux à 0,88 et 1,59 mm pendant la saison d'hiver, et 0,95 et 1,59 mm pendant la saison sèche, respectivement.*

*Pour la validation de notre carte de recharge, nous avons utilisé la présence de Nitrate dans la carte de l'indice de sensibilité. La comparaison entre les concentrations moyennes de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et les valeurs GR dans chaque région de recharge est évidente. Ce qui montre une tendance régulière à la hausse observée pour les indices moyens de nitrate et de recharge avec un fort coefficient de corrélation linéaire (R) égal à 0,80. Les résultats de cette recherche peuvent servir d'indicateur préliminaire pour analyser et faire le point sur la distribution de l'eau afin de réfléchir à des stratégies efficaces et appropriées pour la gestion durable des ressources en eau dans les régions arides.*

**Mots-clés:** Recharge; Décharge; Wetspass; Eau souterraine; Modflow; ArcGis; Quaternaire; Carte de SI; Biskra

## **Abstract**

The Ziban region has experienced an increase in irrigated areas compared to previous years, which is due to the increased demand for water, which has led to a water deficit throughout the wilaya. To this end, the integrated and rational management of water resources has become an essential tool to ensure sustainable development. There are several methods for assessing the water balance. Among them, the WetSpa model, which has the capacity to simulate spatially distributed recharge-discharge, surface runoff and seasonal evapotranspiration? Analysis of the simulation results showed that WetSpa works well in our study area, The monthly average rainfall for two periods wet and dry are 9.55 mm and 8.22 mm respectively distributed as follows: 0.35 mm (3.66%) surface runoff for wet and 0.39 mm (4.77%) for dry period, 2.36 mm (24.71%) actual evapotranspiration for wet and 4.74 mm (57.66%) for dry period. and 0.36 mm (3.77%) of recharge for wet and 0.01 mm (0.13%) for dry period. The rest is the interception marked in 6.48 mm (67.85%) for the wet period and 3.08 mm (37.46%) for the dry period. This recharges corresponding to 1.09 hm<sup>3</sup> for the wet period and 0.03 hm<sup>3</sup> for the dry period. The discharge areas are defined as areas where the groundwater recharge is zero or negative. The calibration of the obtained results is a comparison of the observed and simulated static levels. For this, a comparison was made between the observed static level and the simulated values obtained by the MODFLOW model. The comparison between simulated and observed groundwater levels showed good agreement when R<sup>2</sup> and RMSE are equal to 0.88 and 1.59 mm during the winter season, and 0.95 and 1.59 mm during the dry season, respectively.

For the validation of our recharge map, we used the presence of Nitrate in the sensitivity index map as a means of validation. The comparison between the average NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations and GR values in each recharge region is evident. This shows a steady upward trend observed for the average nitrate and recharge indices with a strong linear correlation coefficient (R) equal to 0.80. The results of this research can be used as a preliminary indicator to analyze and take stock of water distribution in order to think about effective and appropriate strategies for sustainable water resources management in arid regions.

**Keywords:** *Recharge; Discharge; Wetspass; Groundwater; Modflow; ArcGis; Quaternary; SI map; Biskra*

## المخلص

شهدت منطقة زيبان زيادة في المساحات المروية مقارنة بالسنوات السابقة ، ويرجع ذلك إلى زيادة الطلب على المياه، مما أدى إلى عجز مائي في جميع أنحاء الولاية . وتحقيق ال هذه الغاية ، أصبحت الإدارة المتكاملة والعقلانية لموارد المياه أداة لاغنى عنها لضمان التنمية المستدامة. هناك عدة طرق لتقييم توازن الماء. ومن بين هذه النماذج نموذج WetSpas، الذي يتمتع بالقدرة على محاكاة إعادة الشحن والتفريغ الموزعة مكانيًا، والجريان السطحي ، و التبخر والنتح الموسمي.

أظهر تحليل نتائج المحاكاة أن WetSpas يعمل بشكل جيد في منطقة دراستنا ، متوسط هطول الأمطار الشهري لفترتين رطب وجاف على التوالي 9.55 ملم و 8.22 ملم موزعة على النحو التالي : 0.35 ملم (3.66%) الجريان السطحي للرطب و 0.39 ملم ( 4.77% في فترة الجفاف، 2.36 ملم (24.71%) التبخر الفعلي للرطوبة و 4.74 ملم (57.66%) لفترة الجفاف. و 0.36 ملم (3.77%) لإعادة الشحن الرطب و 0.01 ملم (0.13%) لفترة الجفاف. والباقي 6.48 ملم (67.85%) للفترة الرطبة و 3.08 ملم (37.46%) لفترة الجفاف، و توازي إعادة الشحن 1.09 سم مكعب للفترة الرطبة و 0.03 سم مكعب لفترة الجفاف. يتم تعريف مناطق الصرف على أنها المناطق التي تكون فيها إعادة تغذية المياه الجوفية صفرية أو سالبة. معايرة النتائج التي تم الحصول عليها هي مقارنة بين المستويات الساكنة المرصودة و المحاكاة. لهذا ، تم إجراء مقارنة بين المستوى الثابت المرصود والقيم المحاكاة التي تم الحصول عليها بواسطة نموذج MODFLOW. أظهرت المقارنة بين مستويات المياه الجوفية المحاكاة والملاحظة توافقًا جيدًا عندما تساوي  $R^2$  و 0.88 RMSE و 1.59 ملم خلال فصل الشتاء ، و 0.95 و 1.59 ملم خلال موسم الجفاف ، على التوالي. للتحقق من خريطة التغذية الخاصة بنا، استخدمنا وجود النترات في خريطة مؤشر الحساسية كوسيلة للتحقق ، والتي تقدم نهجًا يعتمد على اقتران نموذج Wetspass ومؤشر الحساسية (SI) لتقييم قابلية تأثر المياه الجوفية. إن المقارنة بين متوسط تركيزات  $NO_3^-$  وقيم GR في كل منطقة إعادة شحن واضح. يُظهر هذا اتجاهًا تصاعديًا منتظمًا لوحظ لمتوسط مؤشرات النترات وإعادة الشحن مع معامل ارتباط خطي قوي (R) يساوي 0.80 . يمكن أن تكون نتائج هذا البحث بمثابة مؤشر أولي لتحليل و مراجعة مسار توزيع المياه وتطوير استراتيجيات تدخل فعالة ومناسبة للإدارة المستدامة لموارد المياه في الأراضي القاحلة والجافة والصحراء.

الكلمات الرئيسية: إعادة شحن؛ مياه جوفية ; Wetspass ; مودفلو ; ArcGis ; .بسكرة