

# Programmation de la solution de Glover en deux dimensions pour évaluer la recharge artificielle des aquifères

Elyasse El MRABET<sup>1</sup>, Bouabid El MANSOURI<sup>1</sup>, Malika KILI<sup>1</sup>, Abdelaziz MRIDEKH<sup>1</sup>, Fouad LAHLOU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Géosciences des Ressources Naturelles, Equipe d'Hydroinformatique, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Campus Maamora, BP.133, 1400 Kénitra, Maroc, E-mail : Elyasse\_elmrabet@yahoo.com

<sup>2</sup> Département de Physique, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Campus Maamora, BP.133, 1400 Kénitra, Maroc, E-mail : lahloufouad@hotmail.com

**RÉSUMÉ.** – Pour estimer l'importance du monticule hydraulique formé sous un dispositif d'infiltration lors d'une opération de recharge artificielle, une série de modèles analytiques ont été développés [Baumann, 1952 ; Glover, 1960 ; Hantush, 1967 ; Hunt, 1971 ; Rao et Sarma, 1981], et autres. Dans ce travail, la solution apportée par le modèle de Glover a été programmée et analysée pour le cas d'un bassin d'infiltration rectangulaire avec une injection continue. Nous avons développé un code numérique en langage C++ capable de décrire la réponse de la nappe phréatique vis-à-vis d'une opération de recharge artificielle. Trois solutions analytiques ont été utilisées et comparées à des données expérimentales de Bianchi *et al.* [1975]. Les solutions supposent un aquifère homogène, isotrope, non confiné avec recharge constante, surface piézométrique de la nappe phréatique initialement horizontale. La hauteur du monticule générée par la recharge doit être également faible par rapport à l'épaisseur initiale saturée de l'aquifère. Les résultats des simulations à l'aide de ce code numérique montrent que la solution de Glover donne des estimations raisonnables en comparaison avec les données expérimentales de Bianchi *et al.* [1975] et celles du modèle de Hantush. Ce modèle peut donc être utilisé pour une analyse préliminaire dans la gestion des bassins d'infiltration des eaux de surface. Cette solution a été utilisée pour réaliser des simulations de recharge artificielle de la nappe de Charf Al Akab au NW du Maroc. Il faut cependant souligner que, malgré les estimations raisonnables données par la solution analytique de Glover, celle-ci reste limitée et souffre de beaucoup d'hypothèses comme l'homogénéité du sol, un taux d'infiltration constant et un milieu isotrope, ce qui n'est pas toujours le cas en réalité ; d'où le recours aujourd'hui à l'utilisation des modèles numériques qui semblent plus adaptés à des situations réelles souvent complexes.

Mots-clés : Recharge artificielle des nappes, programmation, solution de Glover, bassin d'infiltration

## Programming of 2D Glover solution for Evaluation of aquifer artificial recharge

**ABSTRACT.** – To estimate the importance of the hydraulic mound formed under an infiltration basin during an operation of artificial recharge, a several analytical models were developed [Baumann, 1952; Glover, 1960; Hantush, 1967; Hunt, 1971; Rao and Sarma, 1981], and others. In this work, the solution from Glover model was programmed and analyzed for the case of a rectangular infiltration basin with continuous injection. We have developed a numerical code in c++ language that can describe the response of the aquifer to an operation of artificial recharge. Three analytical solutions were used and compared with experimental data from Bianchi *et al.* [1975]. The used solutions assume a homogeneous aquifer, isotropic, unconfined with constant recharge rate and piezometric surface of the water table initially horizontal. The height of the mound generated by the recharge must also be small compared to the initial thickness of the saturated aquifer. The result of simulation using this code show that Glover analytical solution gives reasonable estimates in comparison with the experimental data of Bianchi *et al.* [1975] and those of the Hantush model. The solution of Glover model can be used for a preliminary analysis in the management of infiltration basins surface water. This solution was used to perform simulations of artificial groundwater recharge of Charf Al Ahab NW of Morocco. It must be emphasized that, despite reasonable estimates given by the analytical solution of Glover, it is limited and suffers from a lot of assumptions as the homogeneity of the soil, a constant rate of infiltration and an isotropic medium, which is not always the case in reality; hence the use today of numerical models that seem more suited to the often complex situations in the porous medium.

Key-words: Groundwater artificial recharge, programming, Glover solution, infiltration basin

## I. INTRODUCTION

L'eau est un facteur clé du développement durable qui est devenu une priorité et un thème de recherche important dans la politique des pays. La crise persistante de l'eau causée par la baisse de la pluviométrie dans les zones arides et semi-arides et la dégradation des écosystèmes qui s'en

suit, impose l'orientation vers la gestion rationnelle des ressources hydriques.

La méthode de la recharge artificielle des aquifères est l'une des techniques qui permet d'apporter des solutions à la problématique de la baisse des réserves d'eau souterraine. Cette méthode a été l'objet de plusieurs travaux académiques qui ont traité les différentes techniques, les

avantages et la limite de cette méthode [Brown et Signor, 1974 ; Bouwer, 1996 et 2002 ; El Mansouri et Sadiki, 2008]. L'augmentation du taux de recharge des nappes phréatiques à partir des ressources en eau de surface peut contribuer également à la baisse des superficies inondées et la limitation de stagnation des eaux en surface responsable de plusieurs maladies, surtout en zones chaudes. D'autres avantages accompagnent cette technique tels la régulation du prélèvement d'eau souterraine à un débit supérieur au débit d'étiage des nappes, la restauration d'une nappe surexploitée, l'épuration des eaux des rivières, la gestion des problèmes d'affaissement des terrains, le stockage des eaux souterraines, ainsi que la limitation des avancés des biseaux salés dans les aquifères côtiers surexploités. L'avenir de la recharge artificielle des eaux souterraines semble prometteur, le stockage souterrain est devenu une alternative importante pour surmonter à court et à long terme la différence entre l'offre et la demande en eau.

La méthode de la recharge artificielle a été expérimentée et utilisée dans plusieurs pays. Le Maroc est l'un de ces pays qui a appliqué cette méthode pour augmenter les réserves en eau souterraines de la nappe de Charf Al Akab [Amrogi et Hazan, 1965 ; El Mansouri et Sadiki, 2008; Sadiki, 2014]. D'autres nappes du pays ont également bénéficié de cette technique telle que la nappe de Haouz [JICA, MATEE, ABHT, 2007 ; Rkiouak, 2012], la nappe de Souss et la nappe de Berrechid. Un programme a été élaboré par le Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (MEMEE) pour l'étude de faisabilité de la recharge artificielle des nappes du pays et a pu cartographier les sites potentiels de recharge pour chaque bassin hydrogéologique. La méthode de cartographie a utilisé des fonctionnalités

du système d'information géographique pour calculer des indices relatives à l'aptitude de la recharge artificielles des aquifères concernés [MATEE-DRPE, 2007].

La gestion des ressources en eaux souterraines fait appel de plus en plus à des modèles mathématiques et numériques dans une optique d'aide à la décision et de planification en fonction des contraintes. L'objet de ce travail est l'évaluation de la solution de Glover en deux dimensions, comme moyen de gestion et de prédiction du comportement de la nappe phréatique face à une opération de recharge artificielle. L'élaboration d'un code numérique en langage C++ permet également l'étude du comportement de cette solution face aux variations des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité et coefficient d'emmagasinement), de la géométrie du bassin, du temps et du taux de recharge, pour le cas d'un bassin rectangulaire avec une injection continue.

## II. EQUATION D'ECOULEMENT

Dans la littérature, beaucoup de solutions analytiques qui décrivent la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine ont été élaborées. Ces solutions sont utilisées pour prédire le taux de croissance et la forme du monticule résultant d'une opération de recharge artificielle (Figure 1), même si les hypothèses utilisées sont restrictives pour de nombreux problèmes sur le terrain. En effet, les solutions analytiques sont souvent utilisées pour une analyse préliminaire pour évaluer l'impact de la recharge sur le niveau piézométrique de la nappe du site étudié.

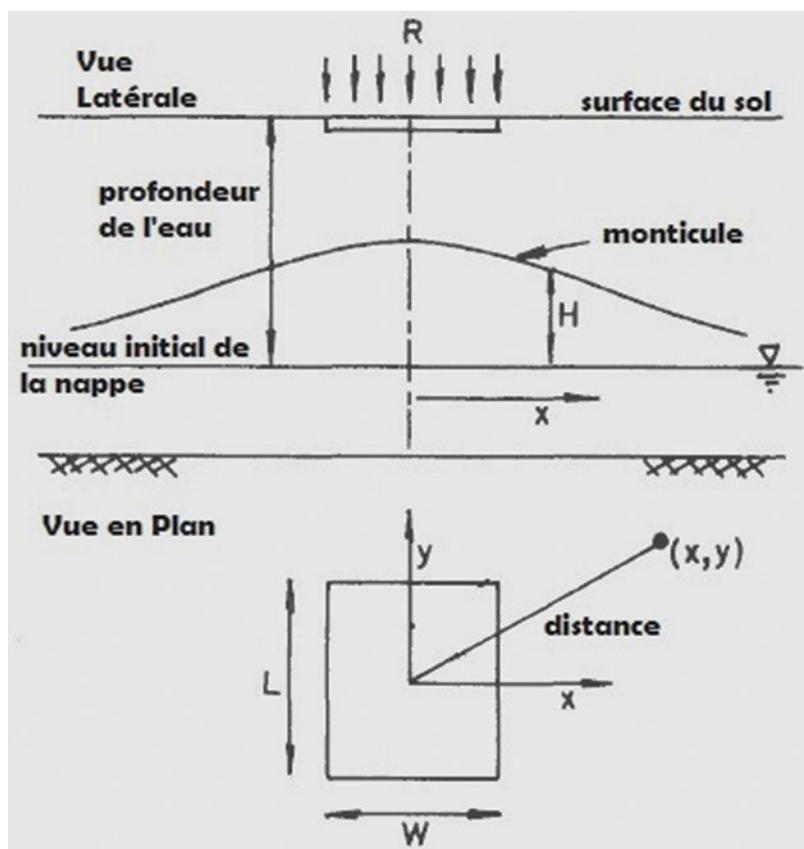


Figure 1 : Recharge artificielle d'une nappe à partir d'un bassin d'infiltration rectangulaire [Molden et al, 1984].

La plupart de ces solutions découlent directement de la résolution de l'équation aux dérivées partielles de Boussinesq linéarisée qui régit les écoulements d'eau dans le cas d'une nappe phréatique en deux dimensions pour un aquifère homogène et isotrope. Elle est donnée par :

$$T \left( \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \right) + R = S \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

où  $T$  indique la transmissivité de l'aquifère ( $L^2/T$ ),  $R$  le taux de recharge [ $L/T$ ],  $S$  le coefficient d'emménagement [-],  $H$  la charge hydraulique [ $L$ ],  $t$  le temps [ $T$ ], et  $x$  et  $y$  les coordonnées cartésiennes [ $L$ ].

Les solutions analytiques sont données en fonction des conditions aux limites et de la forme du bassin, pour un problème linéaire de la recharge artificielle.

### III. SOLUTIONS ANALYTIQUES

#### III.1. Solutions de Glover

Glover [1960] fut le premier à obtenir une solution pour le problème de la recharge artificielle à partir de l'équation différentielle partielle qui gouverne l'écoulement de l'eau souterraine. Cette solution suppose un aquifère homogène, isotrope, non confiné avec recharge constante et la nappe phréatique initialement horizontale. Pour que la solution de Glover soit valide, la hauteur du monticule générée par la recharge doit être faible par rapport à l'épaisseur initiale saturée de l'aquifère.

Cette solution est donnée pour le cas d'un bassin rectangulaire avec une injection continue :

$$H = \frac{R}{4S} \int_0^t (erf(u_2) - erf(u_1))(erf(u_4) - erf(u_3)) d\tau \quad (2)$$

$$u_1 = \frac{x-L/2}{d}, \quad u_2 = \frac{x+L/2}{d}, \quad u_3 = \frac{y-W/2}{d}, \quad u_4 = \frac{y+W/2}{d}$$

avec :  $d = \sqrt{4v(t-\tau)}$

où  $H$  est la hauteur du monticule [ $L$ ],  $W$  la largeur du bassin [ $L$ ],  $L$  la longueur du bassin [ $L$ ],  $x$  et  $y$  les coordonnées cartésiennes [ $L$ ],  $t$  le temps [ $T$ ],  $erf(u)$  la fonction « erreur » et  $v = (T/S)$  est la diffusivité hydraulique de l'aquifère [ $L^2 T^{-1}$ ].

Les conditions initiales et aux limites sont les suivantes :

$$H(x, y, 0) = 0, \quad (3)$$

$$H(\infty, y, t) = 0, \quad (4)$$

$$H(x, \infty, t) = 0, \quad (5)$$

Ces conditions indiquent que la surface piézométrique initiale est horizontale et que la hauteur du monticule à une distance infinie du centre du bassin est égale à zéro à tout moment.

Molden *et al.* [1984] propose une autre solution en modifiant celle de Glover (Eq. 2) :

$$H = \frac{Rt}{4S} \int_0^1 \left( erf \frac{V_2}{\sqrt{\tau}} - erf \frac{V_1}{\sqrt{\tau}} \right) \left( erf \frac{V_4}{\sqrt{\tau}} - erf \frac{V_3}{\sqrt{\tau}} \right) d\tau \quad (6)$$

avec :

$$V_1 = \frac{x-W/2}{4T/St}, \quad V_2 = \frac{x+W/2}{4T/St}, \quad V_3 = \frac{y-L/2}{4T/St}, \quad V_4 = \frac{y+W/2}{4T/St}$$

#### III.2. Solution de Hantush

Parmi les solutions analytiques pour prédire le développement du monticule de recharge dans les eaux souterraines, il y a aussi celle présentée par Hantush [1967]. Ce dernier a résolu l'équation différentielle qui régit l'écoulement des eaux souterraines en coordonnées cartésiennes par la méthode de la transformée de Laplace pour un bassin rectangulaire. Il a utilisé un état initial d'une nappe horizontale et des conditions aux limites de zéro pente du profil de monticule au centre du bassin et à l'infini. Les solutions sont applicables si la montée de la nappe phréatique par rapport à la profondeur initiale de saturation ne dépasse pas 50%. La solution donnée par Hantush [1967] est la suivante :

$$H^2 - h_i^2 = \left( \frac{R}{2k} \right) \cdot (vt) \cdot \left\{ F((P_1), (P_3)) + F((P_1), (P_4)) \right. \\ \left. + F((P_2), (P_3)) + F((P_2), (P_4)) \right\} \quad (7)$$

avec  $P_1 = \left( \frac{L/2+x}{\sqrt{4tv}} \right)$   $P_2 = \left( \frac{L/2-x}{\sqrt{4tv}} \right)$   $P_3 = \left( \frac{w/2+y}{\sqrt{4tv}} \right)$   
 $P_4 = \left( \frac{w/2-y}{\sqrt{4tv}} \right)$

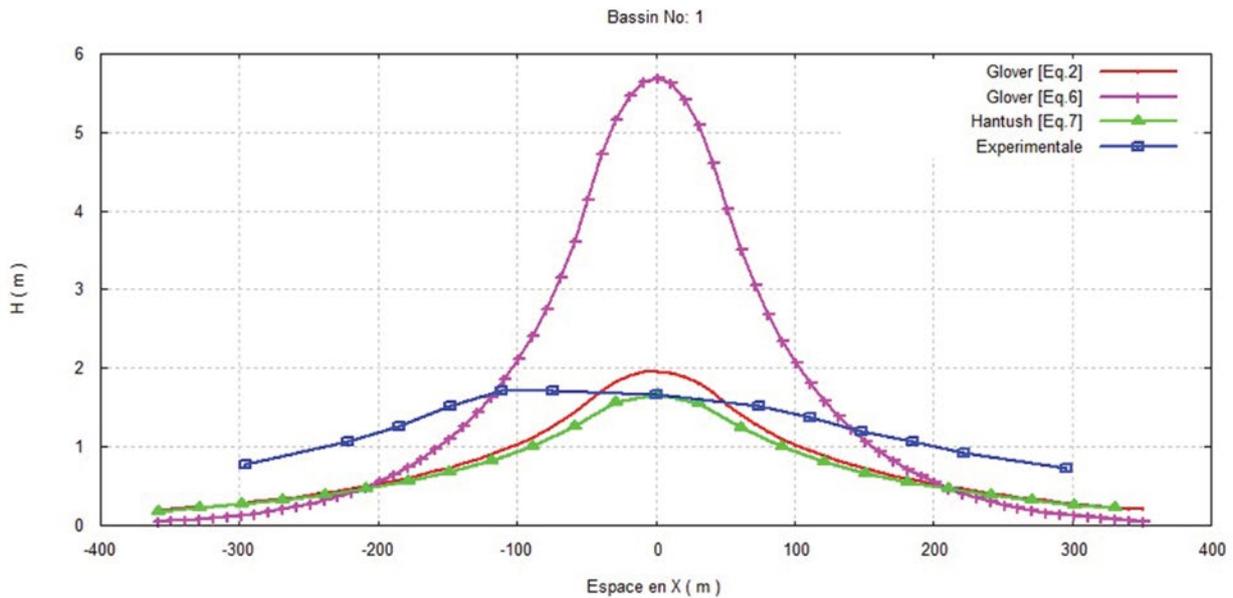
et  $F(\alpha, \beta) = \int_0^1 erf \left( \frac{\alpha}{\sqrt{\tau}} \right) erf \left( \frac{\beta}{\sqrt{\tau}} \right) d\tau \quad (8)$

où  $h_i$  représente la hauteur initiale [ $L$ ],  $k$  la conductivité hydraulique [ $L/T$ ],  $v = k.b/S$  la diffusivité hydraulique de l'aquifère [ $L^2 T^{-1}$ ] et  $b$  l'épaisseur moyenne de l'aquifère [ $L$ ].

### IV. SIMULATIONS ET RESULTATS

Les trois solutions ont été programmées en langage C++. Une comparaison a été effectuée entre les deux solutions de Glover (Eq. 2) et (Eq. 6) et celle de Hantush (Eq. 7) en une dimension, avec des données expérimentales (Figure 2). Ainsi plusieurs simulations ont été effectuées en faisant varier à chaque fois un des paramètres de la solution de Glover (Eq. 2).

Une première simulation a été faite sur la base des données expérimentales de l'étude menée par Bianchi *et al.* [1975] sur un bassin d'infiltration localisé dans l'Ouest du



**Figure 2 :** Comparaison des solutions de Glover (Eq. 2) et (Eq. 6), Hantush (Eq. 7) avec les données expérimentales de Bianchi et al. [1975].

comté de Fresno en Californie, U. S. avec les valeurs suivantes (Figure 2).

$R = 0.0975 \text{ m/j}$ ,  $k = 31.7 \text{ m/j}$ ,  $S = 0.089$ ,  $t = 30.916 \text{ j}$ ,  
 $L = 89.916 \text{ m}$ ,  $W = 89.916 \text{ m}$ ,  $b = 4.8768 \text{ m}$  et  $T = k.b = 154.6 \text{ m}^2/\text{j}$ .

Le temps de simulation varie en fonction de l'espace, de la transmissivité ainsi que de la longueur et la largeur du bassin d'infiltration. La visualisation des résultats est effectuée à l'aide du logiciel graphique Gnuplot.

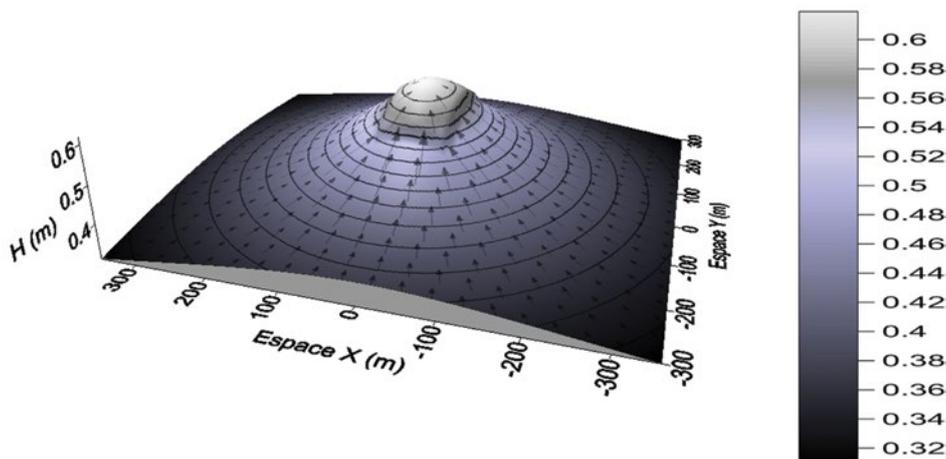
La simulation présentée dans la figure 2 montre que la solution de Hantush (Eq. 7) donne la meilleure estimation de l'évolution réelle du monticule où les hauteurs calculées du monticule sont très proches des valeurs expérimentales. La solution initiale de Glover (Eq. 2) surestime légèrement les valeurs expérimentales, mais reste raisonnable. Par contre la solution de Glover modifiée par Molden *et al.* (Eq. 6), est loin de reproduire les résultats expérimentaux.

**IV.1. Application à un cas marocain : Nappe de Charf Al Akab**

Le site est situé à 17 Km au sud-ouest de la ville de Tanger (Nord du Maroc). C'est un petit bassin à nappe fermée sans exutoire, de faciès sablo-gréseaux. La nappe bénéficie depuis 1958 de la technique de la recharge artificielle. Les données retenues pour la simulation de cette recharge en utilisant la solution de Glover (Eq. 2) sont comme suit:

$L = 177 \text{ m}$ ,  $W = 100 \text{ m}$ ,  $S = 0.016$ ,  $T = 2246,4 \text{ m}^2/\text{j}$ ,  
 $R = 0.11 \text{ m/j}$ ,  $t = 59 \text{ jours}$ .

Le résultat nous donne une idée sur le degré de croissance du monticule, ainsi que sur la forme de cette évolution à partir d'un état initial de valeur nulle qui représente le niveau piézométrique initial dans la nappe avant l'opération de la recharge artificielle. La simulation de la recharge du bassin de Charf Al Akab (Figure 3) montre une remontée



**Figure 3 :** Simulation de la recharge artificielle de la nappe Charf Al Akab (Tanger-Nord du Maroc) à l'aide de la solution de Glover (Eq. 2) en 2D.

du niveau d'eau de 0,619 mètre au centre du bassin d'infiltration après 59 jours de recharge continue. C'est une valeur qui est faible en raison d'une transmissivité importante de la zone de recharge ( $T = 2246,4 \text{ m}^2/\text{j}$ ). La forme du monticule est influencée par la très faible valeur du coefficient d'emmagasinement ( $S = 0.016 \%$ ).

#### IV.2. Etude de la sensibilité des paramètres de la solution de Glover

La forme et la hauteur du monticule d'eau souterraine dépend de la taille et de la forme du bassin d'infiltration, du taux d'infiltration et des propriétés hydrauliques du milieu.

#### IV.3. Etude de l'influence de la géométrie du bassin de recharge

La recharge artificielle des aquifères se fait, entre autres, par le biais des bassins quand les conditions hydrogéologiques le permettent. En utilisant les données suivantes :  $R = 0.11 \text{ m/jour}$ ,  $T = 2\,000 \text{ m}^2/\text{jour}$ ,  $S = 0.1$ ,  $t = 59 \text{ jours}$ ,  $L$  et  $W$  sont variables. Nous avons obtenu les résultats montrés dans la Figure 5.

Le premier paramètre que nous avons fait varier concerne les dimensions du bassin d'infiltration, à savoir sa longueur  $L$  et sa largeur  $W$ , pour une même surface d'infiltration, c-à-dire  $L \times W = 10\,000 \text{ m}^2$ . D'après les résultats de simulation présentés à la figure 4, on remarque que la forme du monticule est largement influencée par la géométrie du bassin, sans changement notable sur la hauteur de la remontée du niveau d'eau dans l'aquifère.

#### IV.4. Etude de l'influence des paramètres hydrodynamiques

La transmissivité ( $T$ ) et le coefficient d'emmagasinement ( $S$ ) contrôlent les écoulements et le stockage d'eau dans un aquifère. Des simulations ont été effectuées pour évaluer l'impact de ces paramètres sur l'évolution du monticule.

##### IV.4.1. Le coefficient d'emmagasinement ( $S$ )

Les données utilisées pour cette simulation :  $R = 0.11 \text{ (m/jour)}$ ,  $T = 2\,000 \text{ (m}^2/\text{jour)}$ ,  $S = 0.01 \text{ ou } 0.1$ ,  $t = 59 \text{ (jour)}$ ,  $L = 100 \text{ (m)}$ ,  $W = 100 \text{ (m)}$ .

Le coefficient d'emmagasinement quantifie le volume d'eau stocké dans le réservoir et éventuellement disponible à l'exploitation. On peut remarquer à travers la figure ci-dessous (Figure 5), que lorsque la valeur du coefficient d'emmagasinement passe de 0.1 à 0.01, le monticule prend moins de hauteur avec une petite déformation (compression) au niveau du dôme, due probablement aux propriétés de ce paramètre liées à la porosité de l'aquifère et à la pression dans la nappe.

##### IV.4.2. La Transmissivité

Les données de simulation:  $R = 0.11 \text{ (m/jour)}$ ,  $T = 20 \text{ ou } 2\,000 \text{ (m}^2/\text{jour)}$ ,  $S = 0.1$ ,  $t = 59 \text{ (jour)}$ ,  $L = 100 \text{ (m)}$ ,  $W = 100 \text{ (m)}$ .

La transmissivité est le produit de l'épaisseur de la zone saturée par le coefficient de perméabilité. Elle représente l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique. En plus de son importance dans la productivité d'un captage, ce paramètre a aussi une

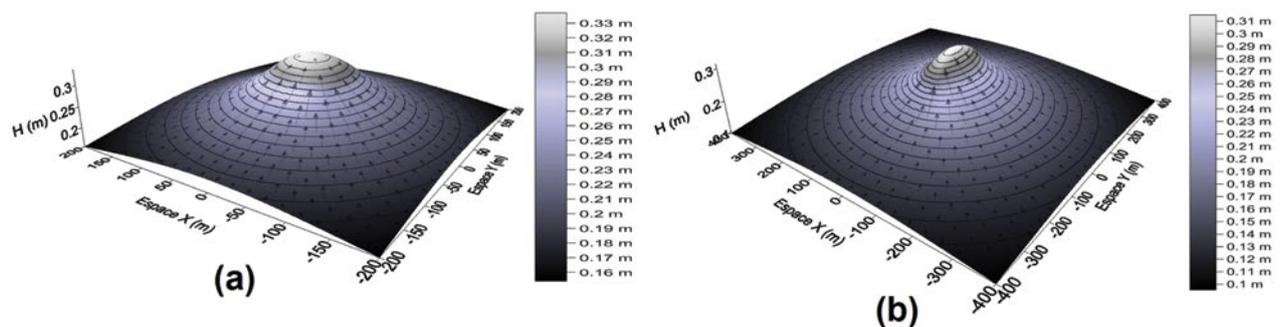


Figure 4 : Simulation de la variation des dimensions du bassin d'infiltration sur l'évolution du monticule générée par une recharge artificielle (a :  $L = 100 \text{ m}$  et  $W = 100 \text{ m}$  ; b :  $L = 200 \text{ m}$  et  $W = 50 \text{ m}$ ).

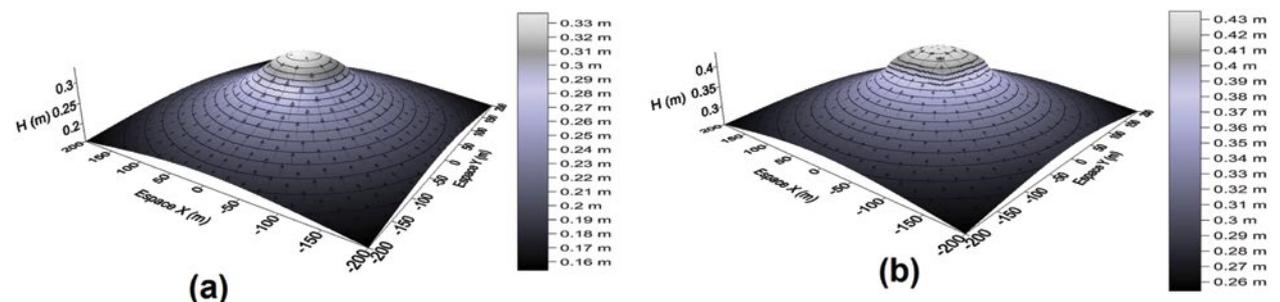


Figure 5 : Simulation de l'effet de la variation du coefficient d'emmagasinement sur l'évolution du monticule (a :  $S = 0.1$  ; b :  $S = 0.01$ ).

grande influence dans une opération de recharge artificielle, et reste le paramètre le plus déterminant. Les simulations montrent qu’une faible valeur de la transmissivité (20 m<sup>2</sup>/jour) induit une forte augmentation au niveau de la hauteur du monticule (Figure 6). Ceci provient du fait qu’avec une telle transmissivité, les écoulements verticaux sont plus contrôlés par la perméabilité qui est très faible, et donc le monticule n’a pas le temps nécessaire pour s’étendre au voisinage du bassin d’infiltration.

**IV.5. Etude de l’influence du taux de recharge**

Le taux de recharge est le flux d’eau pénétrant dans le sol en surface. Il dépend des propriétés du sol, de sa teneur en eau et aussi de l’alimentation effective en eau. Ce taux combiné aux conditions hydrogéologiques est déterminant pour la réussite d’un projet de recharge artificielle. Les données retenues pour cette simulation sont :  $R = 0.11$  ou  $1$  (m/j),  $T = 2\ 500$  (m<sup>2</sup>/jour),  $S = 0.2$ ,  $t = 30$  (jour),  $L = 200$  (m),  $W = 200$  (m).

La figure 7 nous montre un résultat logique relatif à l’influence du taux de recharge sur l’évolution du monticule, puisque plus on a une grande valeur de ce paramètre, plus on a une évolution importante du monticule, mais sans changement de forme. En passant d’une valeur de 0.11 m/j à 1m/j (soit une augmentation de presque 9%), la hauteur du monticule a aussi évolué de presque 9%.

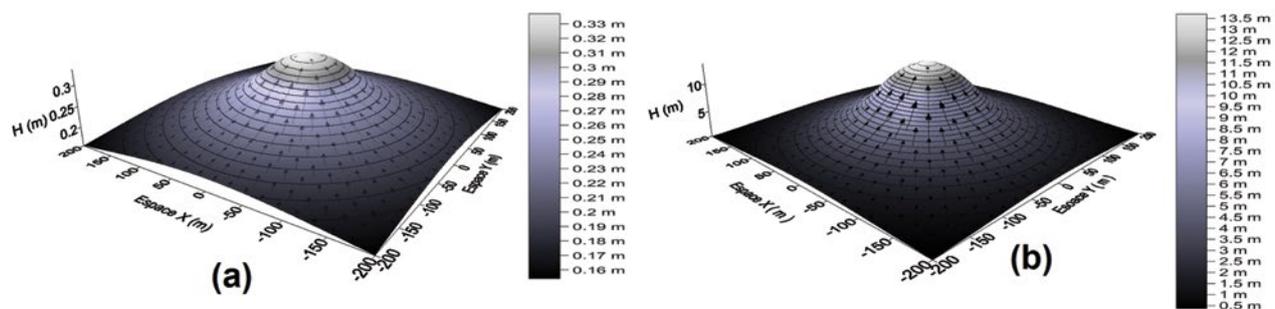
**V. CONCLUSION**

L’utilisation de la méthode de la recharge artificielle des aquifères est de plus en plus adoptée pour la régénération

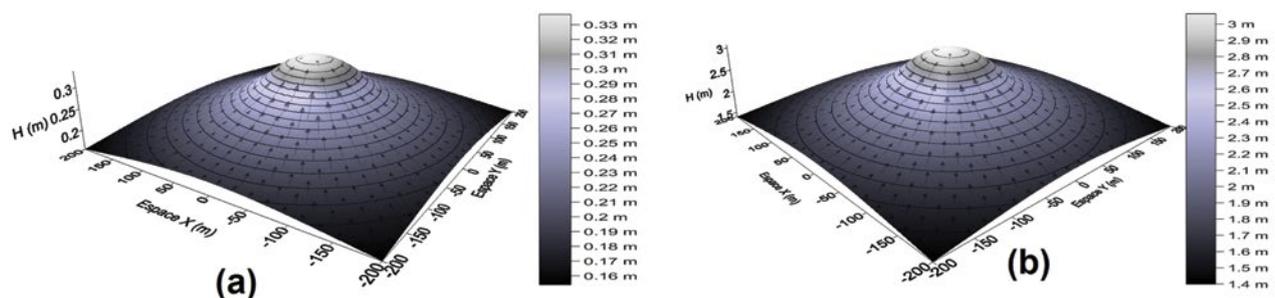
des réserves d’eau souterraine. Le besoin des outils informatiques pour la conception et la gestion des bassins d’infiltration est indispensable pour une meilleure mise en œuvre de cette technique.

Les résultats des simulations à l’aide du code numérique développé dans ce travail montrent que la solution de Glover (Eq. 2) donne des estimations raisonnables en comparaison avec les données expérimentales de Bianchi *et al.* [1975] et le modèle de Hantush, tandis que la solution de Glover modifié par Molden *et al.* [1984] surestime les valeurs réelles. Le modèle de Glover originelle (Eq. 2) peut donc être utilisé pour une analyse préliminaire dans la gestion et la conception des bassins d’infiltration des eaux de surface. Les résultats de nos simulations nous ont permis de mettre en évidence la réponse de la nappe vis-à-vis de l’effet de la géométrie du bassin, des paramètres hydrogéologiques tels que la transmissivité et le coefficient d’emmagasinement, du temps et du taux de recharge. Le code que nous avons élaboré en langage C++ nous a permis d’étudier le comportement et la sensibilité du modèle de Glover en deux dimensions face à différentes variations de ses paramètres.

Malgré les estimations raisonnables données par la solution analytique de Glover (Eq. 2), celle-ci reste limitée, comme d’autres solutions analytiques, et souffre de beaucoup d’hypothèses simplificatrices comme l’homogénéité du sol, un taux d’infiltration constant et un milieu isotrope, ce qui n’est pas toujours le cas en réalité ; d’où le recours à l’utilisation des modèles numériques qui sont plus adaptés à des situations complexes liées à la nature du milieu naturel.



**Figure 6 :** Simulation de l’effet de la variation de la transmissivité sur l’évolution du monticule (a :  $T = 2\ 000\ m^2/j$  ; b :  $T = 20\ m^2/j$ ).



**Figure 7 :** Simulation de l’effet de la variation du taux de recharge sur l’évolution du monticule (a :  $R = 0.11\ m/j$  ; b :  $R = 1\ m/j$ ).

## VI. REFERENCES

- AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE (JICA), MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (MATEE) ET AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU TENSIFT (ABHT) (2007) — Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz, Royaume du Maroc. Rapport intermédiaire
- AMBROGI R. HAZAN R. (1965) — Alimentation artificielle des nappes dans des grès fissurés, Tanger. Colloque sur l'hydrologie des roches fissurées, en Yougoslavie, ed. UNESCO
- BAUMANN P. (1952) — Groundwater Movement Controlled Through Spreading. *Transactions, ASCE*. **117** : 1024-1060
- BIANCHI W. C., HASKELL E. E., JR. (1975) — Field Observations of Transient Ground Water Mounds Produced by Artificial Recharge into an Unconfined Aquifer. *US. Dep. Agr., Agr. Res. Serv. Rapport ARS W-27*. 27 p
- BOUWER H. (2002) — Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*. **10** : 121-142
- BOUWER H. (1996) — Issues in Artificial Recharge. *Wat. Sci. Tech.* **33(10-11)** : 381-390
- BROWN R.F., SIGNOR D.C. (1974) — Artificial recharge- State of the art. *GroundWater*. **12(3)** : 152-160
- EL MANSOURI B., SADIKI H. (2008) — Modeling and aquifer artificial recharge: A tool for management and groundwater protection: A Moroccan case. *ISESCO Science and Technology Vision*. **4(5)** : 26-29
- GLOVER R. E. (1960) — Mathematical derivations as pertain to ground-water recharge. *U.S. Dep. of agriculture, western soil and water management research branch, Fort Collins, Colorado*
- HANTUSH M. D. (1967) — Growth and Decay of Groundwater-Mounds in Response to Uniform Percolation. *Water Resources Research*. **3(1)** : 227-234
- HUNT B. W. (1971) — Vertical Recharge of Unconfined Aquifers. *Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers*. **97(7)** : 1017-1030
- JICA, MATEE, ABHT. (2007) — Rapport intermédiaire. *Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz Royaume du Maroc*. 138 pages
- MINISTERE DE L'AMENAGEMENT, DU TERRITOIRE, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (MATEE), DIRECTION DE LA RECHERCHE, DE LA PLANIFICATION DE L'EAU (DRPE) (2007) — Rapport. *Etude de la recharge artificielle des nappes. Etude de base par Bassins hydrogéologique*
- MOLDEN D., SUNADA D. K., WARNER J. W. (1984) — Microcomputer model of Artificial Recharge Using Glover's Solution. *Ground Water*. **22(1)**
- RAO N. H., SARMA P. B. S. (1981) — Ground-water recharge from rectangular areas. *GroundWater*. **19(3)** : 270-274
- RKIOUAK S. (2012) — *Etude de recharge artificielle de la nappe du Haouz au niveau de l'oued Ghmat Fiche de projet de coopération dans le secteur de l'eau au Maroc*. AGIRE. 2012
- SADIKI H. (2014) — *Modélisation de la recharge artificielle de la nappe de Charf Al Akab. Thèse de Doctorat de l'Université (en cours)*. Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc