

# Caractérisation et modélisation d'une nappe en zone aride à semi-aride dans la région méditerranéenne

N. GAALOUL<sup>1</sup>, M. BOULBABA<sup>1</sup>, M. GRIRA<sup>2</sup>, S. NAJET<sup>3</sup>

(1) Chercheur à l'Institut National des Recherches en Génie Rural Eau et Forêts (I.N.R.G.R.E.F)

(2) CRDA DE GABES

(3) Faculté de sciences de Tunis

## Abstract

A new approach to water resources, which is based on a multi-criteria decision aid methodology, is presented. The method couples a hydrologic and hydrodynamic groundwater flow simulation model with the decision aid one. Mathematical models are developed to solve flow computations in surface and groundwater by the functions of production, transfer and the Darcy equations. Thesis models differ by the chosen method of computation and discretization. Water cycle simulation inside a given basin with connected reservoirs allows to modelize groundwater table, discharge flow and evaluate the aquifer recharging. Groundwater modeling in aquifers is done with an implicit finite difference approach. These methods have been applied, with existing code, to modelize El Hicha region in the South of Tunisia, using recent hydrological and hydrogeological data (1963-2001). The calibration of the mathematical model is carried out under a permanent regime by changing the equivalent hydraulic conductivity. Simulation of groundwater table of 2001 proves to be reliable.

## 1. Généralités

L'un des plus grands problèmes dans de nombreuses applications hydrologiques est la détermination de l'écoulement d'un cours d'eau à partir de données physiques et des caractéristiques du bassin. Une maîtrise de ces problèmes passe obligatoirement par une étude de modélisation globale quantitative et qualitative, et de façon combinée, des écoulements souterrains saturés et non saturés tout en utilisant des outils informatiques permettant une meilleure représentation du problème physique réel (Gaaloul, 1992).

La modélisation mathématique des écoulements sur un bassin hydrologique a déjà fait l'objet de nombreuses recherches tant en Tunisie qu'à l'étranger. Dans la littérature hydrologique, de nombreux modèles (autant de modèles que d'hydrologues) existent pour déterminer la réponse d'un bassin versant à la précipitation. Beaucoup de qualificatifs sont disponibles pour les caractériser, on trouve les modèles empiriques globaux (Clarke, 1994), les modèles conceptuels globaux (Gaaloul, 1992 ; Loumagne *et al.*, 1996), les modèles conceptuels semi-spatialisés (Kite, 1995), les modèles physiques spatialisés (De Marsily, 1994 ; Vauclin *et al.*, 1979) et les modèles phsico-conceptuels semi-spatialisés (Ambroise, 1999).

## 2. Matériel et Méthodes

Le modèle hydrologique schématise le bassin par 3 réservoirs, permettant d'identifier une fonction de production réalisée par le réservoir superficiel et une fonction de transfert par les 2 réservoirs inférieurs du modèle :

Le premier réservoir (réservoir U) représente l'effet de rétention de l'eau et de la reprise par l'évapotranspiration. Les apports au réservoir superficiel sont constitués par la pluie. La

vidange du réservoir superficiel est réalisée par : EvapoTranspiration Réelle et vidange de l'excédent.

Le deuxième réservoir (réservoir intermédiaire H) représente la zone non saturée. Il est alimenté en eau par le réservoir superficiel et vidangé par deux exutoires :

- percolation dans le réservoir souterrain G suivant une loi linéaire (vidange exponentielle),
- écoulement à l'extérieur sous forme de ruissellement suivant une loi non linéaire.

Le troisième réservoir (réservoir souterrain G) représente l'aquifère. Il est alimenté en eau par le réservoir intermédiaire H. Il est vidangé par deux exutoires :

- par écoulement vers l'extérieur sous forme de débit, suivant une loi de vidange exponentielle,
- par drainance dans le réservoir souterrain lent suivant une vidange exponentielle.

Le modèle est ajusté par une procédure semi-automatique. Le calage se déroule en plusieurs étapes : l'outil fournit un jeu de paramètres réalistes et décide quels paramètres il accepte de faire varier, et dans quelles limites, pour améliorer le critère d'ajustement qu'il a choisi. A l'issue d'un certain nombre d'essais, le modèle fournit une simulation et un jeu de paramètres qui donnent une valeur du critère d'ajustement choisi.

Les modèles mathématiques d'hydrodynamique consistent à rechercher directement les solutions numériques de l'équation différentielle. Cette résolution se fait en remplaçant l'équation différentielle par un système d'équations aux différences finies, obtenues en écrivant l'équation initiale en un certain nombre de points du domaine en tenant compte des caractéristiques de l'aquifère dans le volume élémentaire entourant le point considéré.

En régime permanent, les différentes techniques de résolution de l'équation de diffusivité telles que les méthodes de Jacobi, de Gauss-Seidel et de sur-relaxation.

En régime transitoire, les différents schémas de discrétisation dans le temps de l'équation de diffusivité ne donnent pas toujours des résultats identiques et satisfaisants. L'obtention de résultats précis et stables exige de la part du modéliste une très grande prudence lors du choix des schémas à utiliser :

- le schéma totalement explicite est très rapide et facile à programmer,
- le schéma totalement implicite effectue des simulations avec des pas de temps longs,
- le schéma de Crank-Nicholson, aboutit souvent à des solutions oscillantes.

La Modélisation d'Aquifères par un maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements a été effectué par la méthode des différences finies. Le calcul des charges se fait avec un schéma à différences finies avec une discrétisation implicite, en établissant l'équation d'équilibre des débits entre la maille de calcul C et les 6 mailles voisines (nord, sud, est, ouest, haut et bas). La résolution se fait de manière itérative avec cependant la possibilité d'utiliser un coefficient de sur-relaxation ou de sous-relaxation.

Ces outils de modélisation sont testés au Sud Tunisien dans la région de Gabès. La nappe de la région d'El Hicha s'étend sur l'ensemble de la plaine côtière localisée au nord de Gabès. Elle est logée dans les sédiments sablo-argileux, plioquaternaire sur une épaisseur de 20 à 60 m. Au nord de Ghannouch-Methouia, elle est localement en communication verticale avec la nappe de la Djeffara qui se trouve logée dans les sables pontiens. L'alimentation de cette nappe se fait par la remontée en charge de l'eau de la Djeffara, par l'infiltration directe des eaux météoriques et par les ruissellements des eaux des crues d'oued El Akarit et Demna.

### **3. Résultats**

#### **3.1 Création de la base des Données et construction du modèle**

La pluviosité moyenne interannuelle sur la période de 1963-2001 à El Hicha est de 177 mm, avec un maximum de 430 mm en 1976 et un minimum de 69 mm en 1971.

La température moyenne est de 20°C à la station de Gabès sur une période de 1976-2001.

La zone est caractérisée par des vents le plus souvent violents. Les vents dominants sont le plus souvent du nord-ouest en hiver et du sud-est en été.

L'évapotranspiration a été calculé à partir du programme CROPWAT selon la méthode de Penman - Monteith. (Cropwat, 1992 ; FAO, 1992). L'évaporation moyenne interannuelle sur la période de 1976-2001 à la station de Gabès est de 1952 mm, avec un maximum de 2296 mm en 1976 et un minimum de 1579 mm en 1999.

Les courbes topographiques de la station d'El Hicha varient de 8 à 10 NGT.

Le maillage est formé, par 18 lignes numérotées de 1 à 18 et 34 colonnes allant de 1 à 34, soit 612 mailles. Le modèle comporte 395 mailles utiles et 217 mailles hors domaine. Dans ce modèle, sur une couche de travail, ont été imposées :

- 43 mailles à potentiel imposé,
- 4 mailles à débit imposé, représentant les débits de pompage.

Les conditions aux limites se justifient ainsi : En limite nord-est du modèle, les potentiels imposés dans les mailles suivant l'oued El Akarrit.

En limite ouest du modèle, les potentiels imposés sont ceux constatés en bordure de rivage le long de l'oued El Akarrit. En limite sud-est du modèle, les potentiels imposés sont ceux constatés avec le fossé d'assainissement.

Une maille est irriguée s'il y a intersection de l'un de ses côtés avec la conduite d'irrigation.

La dose d'irrigation moyenne annuelle est d'environ 50 mm. La zone d'alimentation par irrigation occupe une superficie de 30 ha, soit un apport de 0,5 l/s.

Une maille est drainée s'il y a intersection de l'un de ses côtés avec un drain ou un collecteur.

Le potentiel imposé au niveau des mailles traversées par un drain est égale à la cote topographique du drain par rapport à un niveau de référence.

Les débits de drainage sont classés comme suit :

- mailles de vidange à fort débit ( $Q_v > 1$  l/s/ha), soit un apport de -0,2 l/s sur 0,3 ha,
- mailles de vidange à débit moyen ( $0,5 < Q_v < 0,75$  l/s/ha), soit un apport de -0,3 l/s sur 0,4 ha,
- maille de vidange à faible débit ( $Q_v < 0,5$  l/s), soit un apport de -0,25 l/s sur 0,5 ha.

Les valeurs de perméabilité obtenues à partir des pompages d'essai sont peu nombreuses.

Pour simplifier le problème, on a schématisé la carte de perméabilité sous forme de zones.

Les valeurs de la charge sont utilisées pour la détermination de la transmissivité.

La zone de la recharge efficace qui occupe une superficie de 31,5 ha répartie sur les zones d'affleurement, fait un apport de 0,4 l/s.

Les fluctuations piézométriques enregistrées dans la région d'El Hicha durant la période de 1980 à 2001 oscillent entre 0 à 50 m. Le niveau piézométrique le plus proche de la surface s'étend vers la mer méditerranéenne. En dehors de cette zone, le niveau piézométrique descend progressivement, en se dirigeant vers le sud.

#### **3.2 Calage du système aquifère en régime permanent**

Les résultats du calage du modèle hydrologique, montrent qu'en année moyenne sur une période de 26 ans (1976-2001), la lame d'eau moyenne qui alimente la nappe de la région d'El Hicha est de 40 mm/an, soit 17% du flux total.

Pour le modèle hydrodynamique, On considère que le système aquifère se trouve dans un état d'équilibre en 2001. Comme hypothèse de travail, on assimilera cet état à un régime permanent et le calage du modèle va s'effectuer par restitution de la piézométrie 2001.

Les paramètres fixes du calage sont :

- la recharge efficace du système d'aquifère (Rech. Eff. = 40 mm/an),
- l'alimentation par irrigation (Alim. = 50 mm/an),
- la vidange de la nappe par les réseaux d'assainissement et drainage (Vidange = 0,6 l/s/ha),
- les prélèvements des puits (Prélèv. = 1 l/s/ha),
- le potentiel initial imposé sur toutes les bordures du modèle ( $H_i$ ),
- la distribution initiale des zones de perméabilité ( $K_i$ ).

On a essayé de reproduire la piézométrie de la nappe phréatique en commençant par jouer sur les valeurs des perméabilités : le résultat était négatif, on n'arrivait pas à modifier le gradient hydraulique. La forme générale de la surface piézométrique avec une crête au nord entre les limites ouest et nord-est à potentiels imposés implique que la nappe n'est pas seulement alimentée par l'amont, quelle que soit la perméabilité des terrains. Le calage consiste à attribuer à ces paramètres, par estimation dans les zones où elles ne sont pas connues, des valeurs numériques particulières correspondant au cas réel envisagé pour mieux reproduire la piézométrie réelle. Le bilan du flux en régime permanent du système aquifère de la région d'El Hicha est résumé par l'équation suivante :  $\Sigma$  Débits entrants –  $\Sigma$  Débits sortants = 0,05 l/s

#### 4. Conclusions

Lors de l'utilisation d'un modèle mathématique pour simuler le comportement de nappes régionales, en zone aride ou semi-aride, il est indispensable de tenir compte de façon précise des caractéristiques propres de ces nappes :

- respecter le plus possible, par une approche 3D, la géométrie de l'aquifère,
- évaluer les paramètres sur base d'un nombre suffisant d'essais et mesures,
- introduire des conditions initiales cohérentes et des conditions aux frontières,
- réaliser les simulations en mode transitoire.

Préalablement à ces recommandations, qui influencent fortement le degré de fiabilité du modèle, il est nécessaire de réaliser une collecte de données aussi exhaustive que possible. Ensuite, en découle le choix des paramètres, la phase de calibration et les résultats prévisionnels du modèle.

D'autre part, il faut être vigilant par rapport à des phénomènes induits, tels que les tassements, diminution de porosité et de perméabilité... et en tenir compte dans les modélisations.

#### Références

- Ambroise B.,1999. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : 2 – Modélisation systémique et dynamique. *Rev. Sci. Eau*, 12 (1), 123-153.
- Clarke R.T.,1994. *Statistical modelling in hydrology*. Wiley, Chichester, 426 p.
- Cropwat.,1992. Un logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigation. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, 46, 133 p.
- DE Marsily G.,1994. Quelques réflexions sur l'utilisation des modèles en hydrologie. *Rev. Sci. Eau*, 7 (3), 219-234
- Fao, 1992. Application de données climatiques à la planification et à la gestion efficace de l'irrigation. Manuel de formation. 154-158.
- Gaaloul, N.,1992. Modélisation mathématique du système aquifère multicouche Application: Bassin Nord - Aquitain (Oligocène-Eocène). *Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I* en Sciences et Techniques de l'Eau, 283 p.
- Kite G.W., 1995. The SLURP model. In « computer Models of Watershed Hydrology », V.P.Singh (ed.), Water Ressource Publications, Colorado, 521-562.

- Loumagne C., Chkir N., Normand M., Ottlé C., Vidal-majar D., 1996. Introduction of the soil / vegetation / atmosphere continuum in a conceptual rain-fall/runoff model. *Hydrol. Sci.*, 41 (6), 889-902.
- Mougou, R., 1999. Base des données climatologiques de la station de Cherfech. Laboratoire bioclimatologique – INRGREF.
- Vauclin M., Khanji D., Vachaud G., 1979. Experimental and numerical study of a transient two-dimensional unsaturated-saturated water table recharge problem. *Water Resour. Res.*, 15, 1089-1101.