

**MODELE TRANSITOIRE DE LA NAPPE DES ALLUVIONS DE  
LA PLAINE D'HENNAYA (Tlemcen, NW – Algérie)**

**TRANSITORY MODEL OF THE ALLUVIUM AQUIFER OF  
HENNAYA PLAINE (Tlemcen , NW –Algeria)**

**Baba Hamed Kamila.** Département des Sciences de la Terre et de l'Agronomie, Faculté des Sciences, Université Abou. Bekr Belkaïd, 13 000, Tlemcen, Algérie. [kambabahamed@yahoo.fr](mailto:kambabahamed@yahoo.fr)

**Bouanani Abderrazak.** Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences de L'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaïd, 13 000, Tlemcen, Algérie. [a\\_bouananidz@yahoo.fr](mailto:a_bouananidz@yahoo.fr)

**Terfous Abdelali.** INSA de Strasbourg, France, Email : [aterfous@yahoo.fr](mailto:aterfous@yahoo.fr)

**Bekkouche Abdelmalek.** Département du Génie Civil, Faculté des Sciences de L'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaïd, 13 000, Tlemcen, Algérie.

**RESUME**

Les ressources souterraines de la nappe des alluvions de la plaine d'Hennaya (NW- Algérien) connaissent une exploitation intensive qui engendre une baisse importante du niveau piézométrique et des débits des sources à l'exutoire. Il conviendrait donc, de les gérer au mieux afin de préserver le milieu naturel. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé pour la première fois, une modélisation du système aquifère qui nous a permis principalement :

- l'identification de la géométrie et de la structure du réservoir en se basant sur les coupes stratigraphiques des différents sondages.
- le calage d'un modèle par la méthode des différences finies en régime transitoire et la réalisation de nouvelles cartes de perméabilité et de coefficient d'emménagement.
- La réalisation de quelques scénarios d'exploitation pour tester l'effet de la surexploitation et de la sécheresse sur la nappe.

**Mots clés :** Modèle mathématique, régime transitoire, plaine d'Hennaya, Algérie

## **ABSTRACT**

The groundwater resources of the alluvium aquifer of Hennaya Plaine (NW- Algeria), know an intensive exploitation wich generate decreasing of the piezometric level and flow of the springs in the outlet. It agreed to manage it optimally to preserve the natural environment. For this, we have realised the first hydrodynamic model of the aquifer of the Hennaya plaine, wich permit:

- the identification of the geometry of the reservoir using the stratigraphic results of the geological drillings.
- The setting of the transitory model by finit difference methode permits to identify the hydrodynamics parameters of the aquifer. We have realised new mapes of the permeability (hydraulic conductivity) and storage coefficient.
- The simulation of diferents scenary of exploitaton, to test the effect of the drought and overexploitation.

**Key words** : mathematical model, transitory regime, Hennaya plaine, Algeria

## **INTRODUCTION**

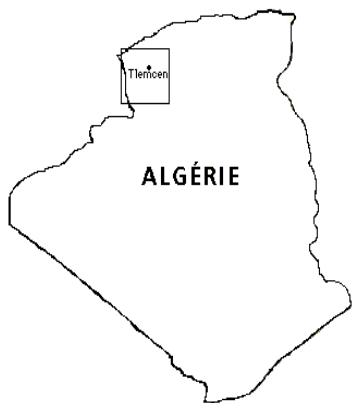
La région d'Hennaya connaît une activité agricole importante principalement en irrigué (maraîchage et arboriculture) qui utilise les eaux souterraines contenues dans les alluvions et les grés qui forment la plaine d'Hennaya. L'exploitation intensive et aléatoire, ajoutée à la sécheresse qu'a connue l'ouest algérien ces dernières décennies, a engendré une baisse du niveau piézométrique et des débits des sources à l'exutoire de la nappe. Aussi, nous avons pensé qu'il est temps de réaliser un modèle mathématique de la nappe d'Hennaya, qui constituerait sans doute, un outil incontournable pour une gestion plus rationnelle de cet important aquifère.

## **PRESENTATION DU SITE**

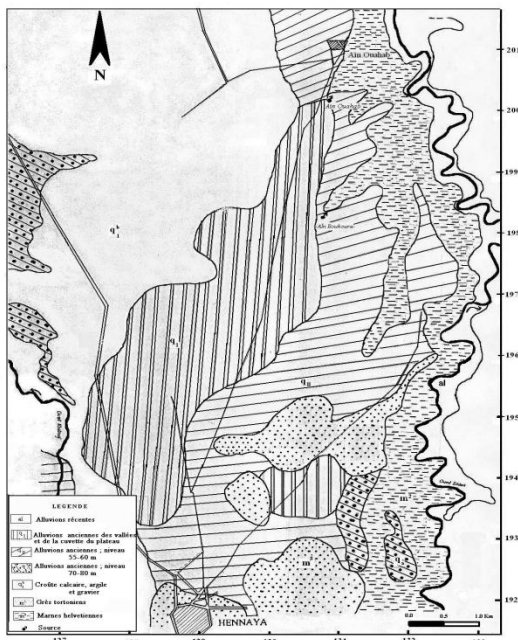
La plaine d'Hennaya couvre une surface de 28 Km<sup>2</sup>. Elle se situe au Nord de la commune d'Hennaya à une distance de 9.25 Km au Nord de la ville de Tlemcen (Fig. 1). Elle est limitée par l'Oued Isser au Nord, par les terrains karstiques du Jurassique supérieur des Monts de Tlemcen au Sud, par l'oued Sikkak à l'Est et l'oued Khalouf à l'Ouest.

Le réservoir aquifère correspond à une cuvette remplie de dépôts d'âge Mio-plio-quadernaire (Fig. 2). Les dépôts sont constitués de grés tortoniens, de conglomérats, de travertins et de graviers argileux. Les marnes helvétiques présentent le substratum de l'aquifère (Hayane, 1983).

Située à environ 270 m d'altitude, la région d'Hennaya présente un climat caractérisé par un hiver pluvieux et un été chaud et sec. Cette région jouit d'un climat semi-aride à hiver tempéré.



**Fig.1:** Carte de position de la plaine d'Hennaya



**Fig. 2 :** Carte géologique de la plaine d'Hennaya. (Tirée de la carte géologique de Claire, 1973)

La moyenne interannuelle des précipitations (1980/ 2003) est de 316 mm. La distribution figure 3, des précipitations annuelles en classes équivalentes des observations enregistrées, indique que plus de 50 % (12 années hydrologiques) sont comprises entre 300 et 400 mm. La pluviométrie annuelle des années 1980/81 et 2001/02 est supérieure à 400 mm. Celle de l'année 1982/83 est en dessous de 200 mm, les autres années sont comprises entre 200 et 300 mm.

				2002/03
				2000/01
				1998/99
				1997/98
	1999/00	1995/96		
	1996/97	1993/94		
	1994/95	1991/92		
	1992/93	1990/91		
	1987/88	1989/90		
	1984/85	1988/89		
	1983/84	1986/87	2001/02	
1982/83	1981/82	1985/86	1980/81	
200	300	400	500	P (mm)

**Fig. 3** Distribution des classes équivalentes des pluviométries annuelles (1980-2003) à la station de Zenata.

## **HYDROGEOLOGIE**

### **Géométrie de l'aquifère**

La stratigraphie de plusieurs puits importants dans la plaine montre que les grès du Tortonien sont rencontrés dans les puits situés au Sud à une dizaine de mètre de profondeur, alors que vers le Nord, cette couche disparaît ; par contre la couche des marnes de l'Helvétien qui est absente dans la stratigraphie des puits du Sud de la plaine, se trouve plus au Nord tout juste au-dessus des conglomérats. Il en découle qu'au centre de la plaine, les marnes qui constituent le substratum de l'aquifère s'approfondissent alors que sur les bordures Ouest et Est remontent vers la surface. L'épaisseur des conglomérats décroît du Sud vers le Nord.

Les coupes géologiques transversales (figure 4) établies à partir de logs de sondages, représentent en détail la géométrie et les modalités de mise en place de la plaine.

Les principaux résultats obtenus à l'issue de ces reconnaissances, viennent confirmer les résultats obtenus par Hayane (1983). Les coupes des forages montrent une variabilité verticale des formations de la plaine. Au Sud, l'aquifère est constitué de grès et des lentilles des conglomérats qui sont surmontés par les dépôts d'argiles et d'argiles caillouteuses. Plus au Nord, les travertins viennent se déposer sur les conglomérats, et ces derniers sont en contact avec les marnes helvétiques. Sur les bords Est et Ouest de la plaine, le substratum remonte vers la surface.

### **Hydrodynamique**

Pour l'ensemble de la plaine, des campagnes piézométriques ont été effectuées aux mois de Décembre 2002, Mars, Mai, Juin, Septembre et Novembre 2003.

Des cartes piézométriques en période de hautes, moyennes et basses eaux ont été réalisées permettant de caractériser plus précisément les directions d'écoulement et leurs sens.

Les moyennes eaux, état intermédiaire (Fig. 5) entre la période de basses eaux et la période de hautes eaux, correspondent à une période où les niveaux peuvent être considérés comme relativement stables. Cet état a été choisi comme état de référence pour la modélisation ultérieure. Les gradients hydrauliques varient de 0,025 au Sud de la nappe et entre 0,09 et 0,06 au centre et au Nord.

Les battements maxima de la nappe (Fig. 6) varient entre 0.05 et 1.52 m entre l'état en basses eaux et l'état en hautes eaux. Les battements sont plus faibles (<0.6 m) au centre et au Nord de la nappe et plus importants (>1.5 m) au Sud-ouest. Cette variation de battement peut s'expliquer par la variation du gradient hydraulique, qui est plus important au Sud qu'au Nord.

Les essais de pompage réalisés dans les conglomérats donnent des valeurs des coefficients de transmissivité entre  $1.98 \cdot 10^{-4}$  et  $3.39 \cdot 10^{-3}$ . Cette transmissivité est bonne alors que celle des grès tortoniens est plus faible. Ces valeurs restent ponctuelles car les hétérogénéités verticales et horizontales ne manquent pas. La répartition de T et S, dans le plan, est en réalité elliptique.

**MODELISATION**

L'aquifère de la plaine d'Hennaya a été étudié dans sa globalité, il peut être considéré comme monocouche pour le modèle. Les limites du domaine (Fig. 4) sont constituées par :

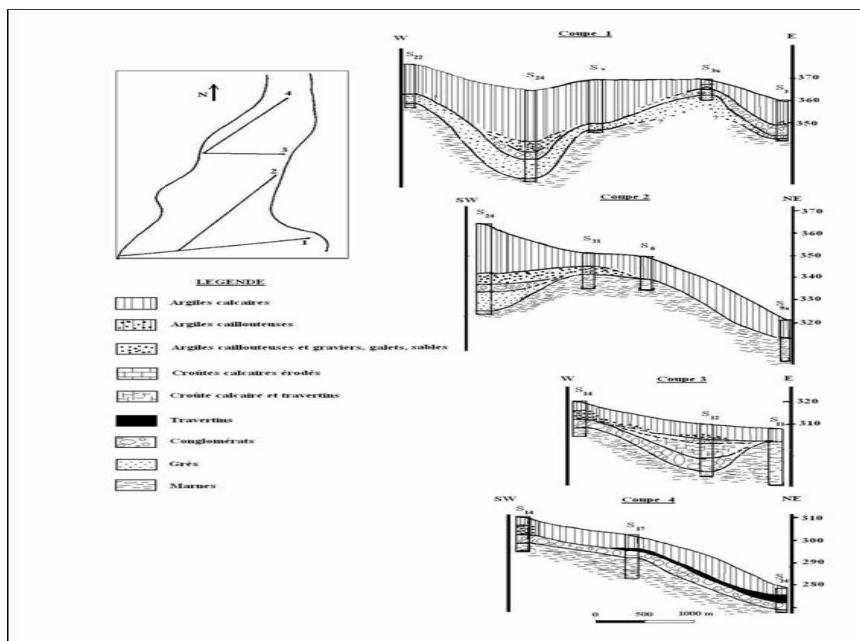
- les dolomies de Tlemcen dans la partie amont de la nappe.
- les marnes helvétiques dans les deux côtés Est et Ouest.

Le domaine étudié a été discrétisé en éléments carrés de 250 m de côté et les conditions aux limites suivantes ont été imposées (fig. 7).

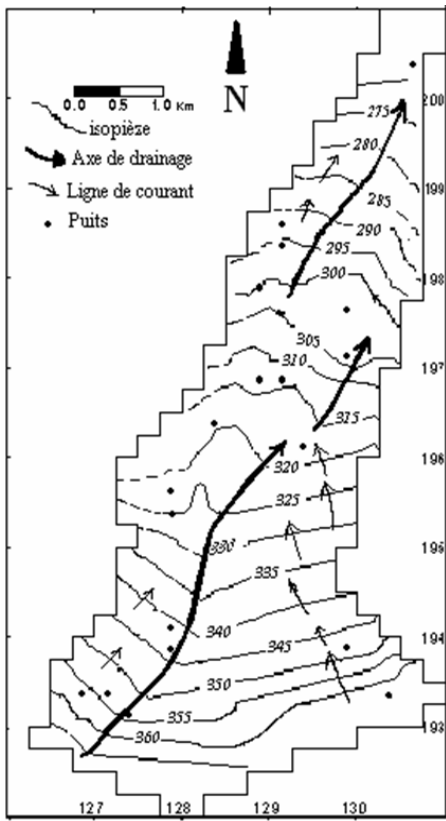
- Au Sud : limite à potentiel imposé permet de présenter les entrées de débit par l'amont.
- A l'Ouest et à l'est : limite à flux imposé nul (limites étanches).
- Au Nord-Ouest : les émergences Aïn Boukoura et Aïn Ouahab, exutoires naturels de la nappe sont des points à débit sortant.
- En aval, limite à potentiel imposé représente l'eau restante qui continue sa course vers le Nord où elle ressort sous forme de sources à débit plus faible.

Nous avons réalisé un calage en régime transitoire par l'ASM « Aquifer Simulation Model » (Kinzelbach et Al, 1988).

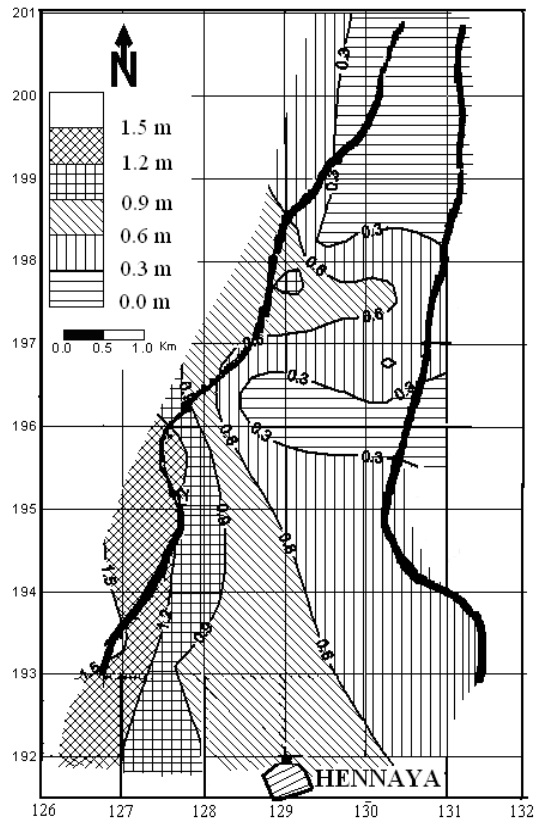
L'état de référence qui a servi au calage du modèle en régime transitoire est l'état piezométrique mesuré en mai 2003, correspondant à une période de moyennes eaux. Le débit de pompage a été considéré comme constant. Dans les mailles où se trouvent plus d'un puits, les débits imposés sont plus grands. Enfin, les apports de l'infiltration efficace, représentatifs de l'état initial de la nappe ont été imposés de 0 à  $8,72 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ . Ils varient d'un endroit à un autre selon la carte pédologique de la région. Ainsi défini, l'ensemble du modèle représente 323 mailles de calcul dont 24 à potentiels imposés.



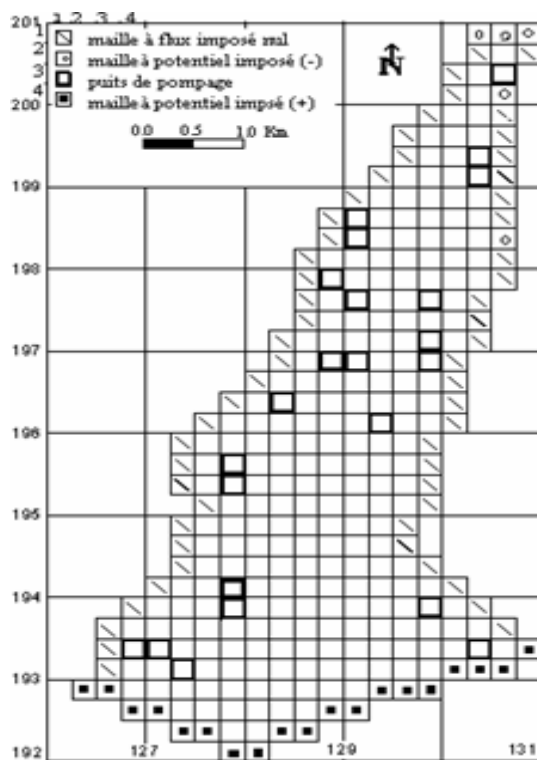
**Fig. 4** Coupes géologiques interprétatives à travers la plaine



**Fig. 5** Carte piézométrique en période de moyennes eaux (05/2003).



**Fig. 6** Carte des battements maximums de la nappe



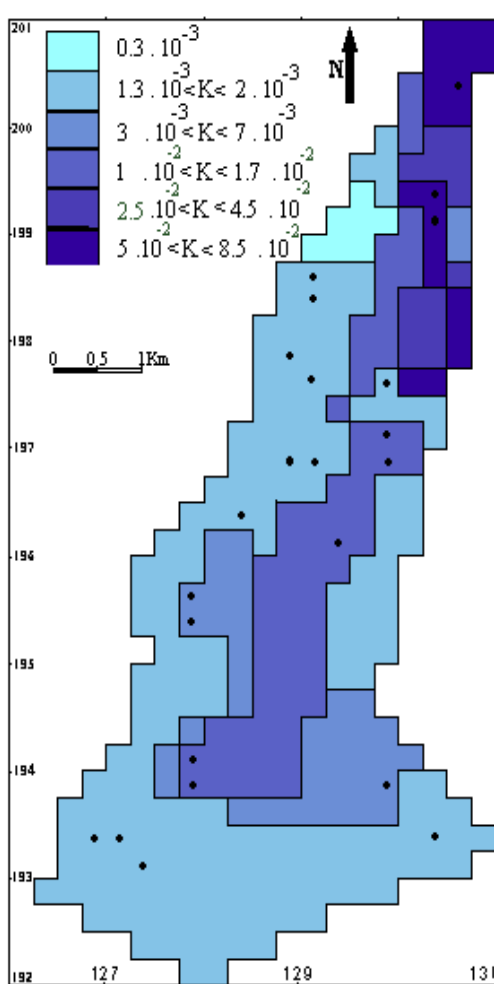
**Fig. 7** Maillage et conditions aux limites du domaine modélisé.

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**  
**CARTE DES PERMEABILITES**

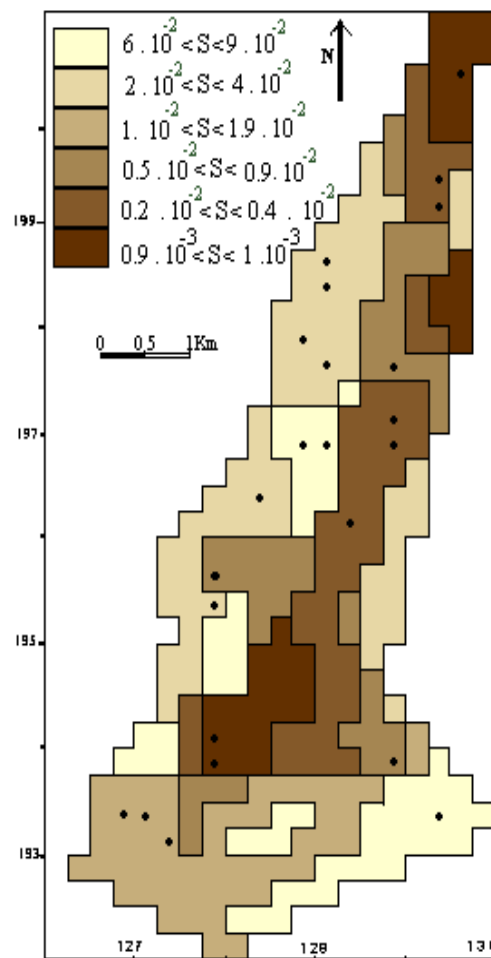
Nous avons adopté une zonation très découpée des perméabilités (Fig. 8). Pour tenir compte de l'hétérogénéité de l'aquifère, six plages de perméabilité comprise entre  $0.3 \cdot 10^{-3}$  et  $0.8 \cdot 10^{-1}$  m/s ont été définies. Il apparaît cependant, que les parties du Nord et du centre sont très perméables ( $0.2 \cdot 10^{-2}$  et  $0.8 \cdot 10^{-1}$  m/s). Les parties Sud et Est sont peu perméables ( $0.3 \cdot 10^{-3}$  et  $0.2 \cdot 10^{-2}$  m/s). Entre ces deux zones il y a une zone de moyenne perméabilité correspondant au chenal des conglomérats au centre de la plaine (Ivanov, 1969).

**CARTE DES COEFFICIENTS D'EMMAGASINEMENT**

Les valeurs du coefficient d'emménagement (figure 9), évoluent dans le même sens que celles des perméabilités.



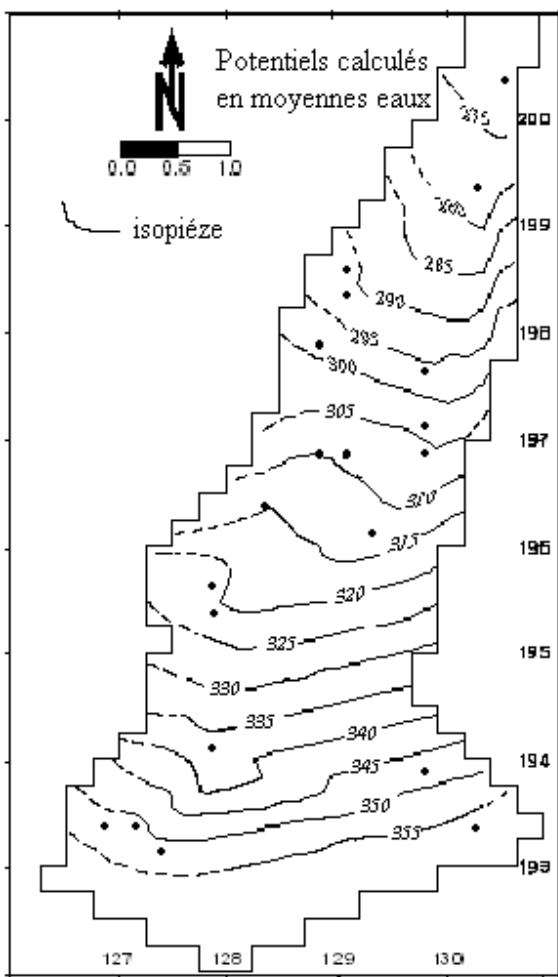
**Fig. 8 :** Carte des perméabilités (m/s) adoptées pour le calage du modèle



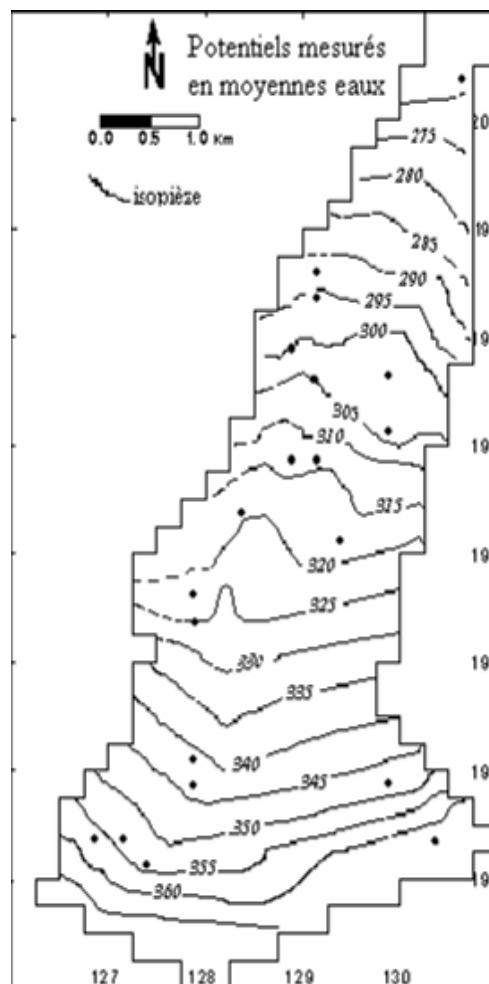
**Fig. 9 :** Carte des coefficients d'emménagement adoptés pour le calage du modèle

**POTENTIELS MESURES ET POTENTIELS CALCULES EN MOYENNES EAUX :**

Les cartes de potentiels mesurés (Fig. 10) et calculés (Fig. 11) pour l'état de moyennes eaux, montrent que les écarts entre les courbes observées et calculées sont acceptables en amont puisqu'ils ne sont que de quelques décimètres. En revanche, ils sont importants en aval où ils peuvent dépasser le mètre. Ceci est dû au manque d'informations sur les paramètres hydrodynamiques dans cette partie de la plaine. Nous pouvons constater que la piézométrie calculée est globalement en dessous de la piézométrie mesurée, mais les écarts restent relativement faibles. Néanmoins, il ne faut pas négliger ces écarts qui, rapportés à la surface globale du modèle, constituent un volume non négligeable des réserves en eaux.



**Fig. 10** Cartes des potentiels mesurés



**Fig. 11** Carte des potentiels calculés.



### **BILAN DE LA NAPPE**

L'étude du bilan de la nappe (tableau 1) donne des résultats plus ou moins satisfaisants quant à l'équilibre entrées-sorties.

**Tableau 1** Bilan global de la nappe après calage du modèle

Caractéristiques	Débits m <sup>3</sup> /s
Q horizontal	1,6.10 <sup>-7</sup>
Q de pompage	-0,064
Q des limites à potentiels imposés	0,113
Q d'infiltration	0,009
TOTAL	0,056

### **EXPLOITATION DU MODELE**

Nous avons réalisé quelques simulations hydrodynamiques afin de pouvoir estimer les potentialités en eaux souterraines de la nappe de la plaine d'Hennaya.

#### **Scénario I : Surexploitation**

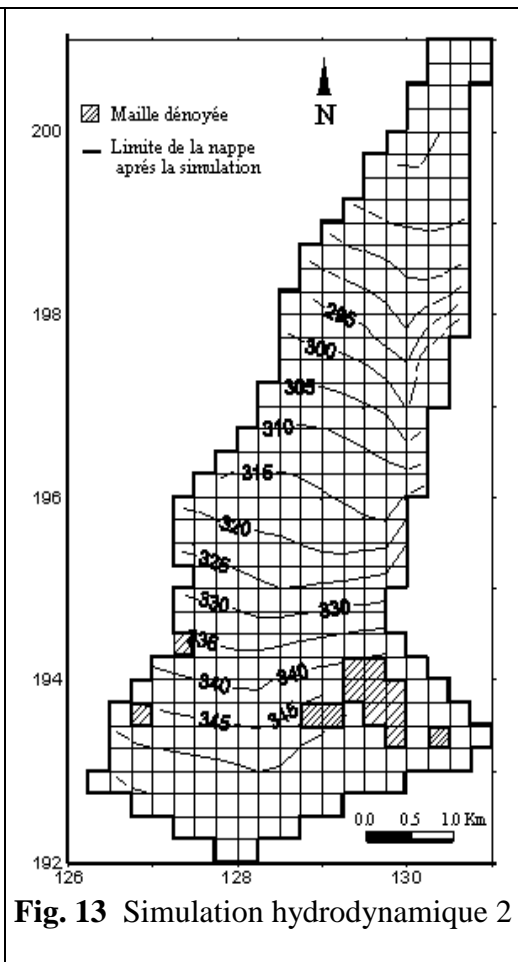
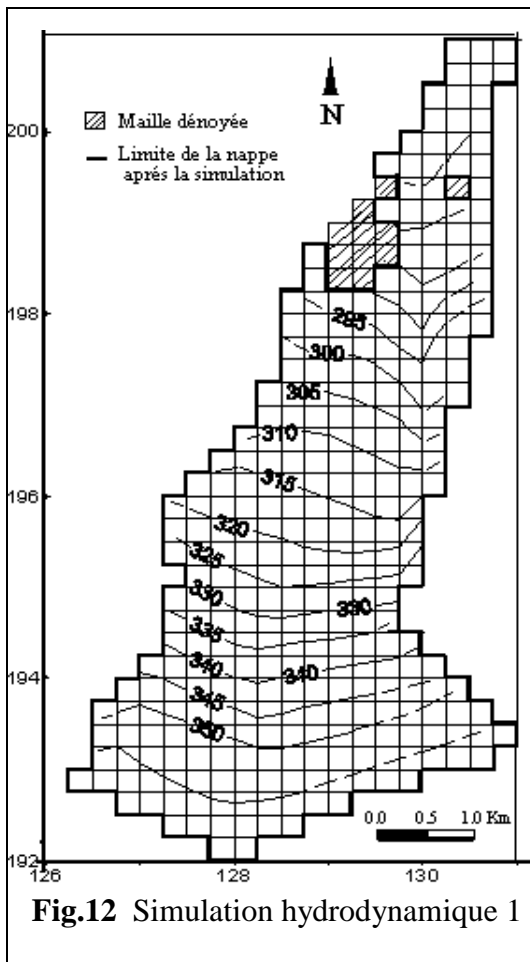
On prévoit une multiplication du nombre de puits dans la plaine, par conséquent une augmentation des débits des pompages, qu'on estime trois fois plus grands.

La carte piezométrique obtenue (figure 12), montre la même direction Sud-Nord. Néanmoins, il y a dénoyage au Nord-ouest de la nappe, à cause de la faible épaisseur de la couche des conglomérats. Aussi, la source de Aïn Boukoura, principal exutoire de la nappe tarirait.

#### **Scénario II : Sécheresse**

Nous avons diminué la recharge par les précipitations et le débit d'alimentation de la nappe par sa limite Sud.

La carte piézométrique obtenue (figure 13), montre que la nappe se dénoie au niveau des zones proches de la limite sud considérée comme une limite à potentiel imposé. Les mailles dénoyées se situent dans une zone où la pente et la variation du coefficient de perméabilité sont très importantes. Le bilan global (tableau 2) montre qu'il y a un déficit de  $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui nous amène à conclure que l'alimentation de la nappe se fait principalement par sa limite sud.



**Tableau 2** Bilan global de la nappe après la troisième simulation

Caractéristiques	Débits m <sup>3</sup> /s
Q horizontal	- 0.1
Q de pompage	- 0,06
Q des limites à potentiels imposés	- 0.123
Q d'infiltration	0,0084
<b>TOTAL</b>	<b>- 0.275</b>

## **CONCLUSION**

Malgré une variabilité spatiale des paramètres calculés, il existe une certaine organisation du réservoir alluvionnaire de la plaine d'Hennaya. Les valeurs des paramètres hydrodynamiques évoluent du Sud vers le Nord, contrairement au gradient hydraulique.

Une modélisation mathématique du système aquifère a été réalisée. La piézométrie en moyennes eaux est convenablement reconstituée. Le bilan d'eau montre que l'alimentation de la nappe est assurée essentiellement par les entrées de la limite Sud à partir des formations calcaréodolomitiques du Jurassique, puis par l'infiltration des eaux de pluie. Mais la recharge par les précipitations reste négligeable par rapport aux débits de pompage.

Les différentes simulations hydrodynamiques complètent les résultats obtenus sur l'hydrogéologie de la nappe et montrent que si le débit de pompage continue à se multiplier, une partie de la nappe sera sèche.

Ce modèle constitue un outil de gestion et de prévision pour l'exploitation future des ressources en eau. Nous pouvons dire à ce propos que les potentialités de la nappe d'Hennaya sont relativement faibles et le régime d'exploitation actuel est très élevé.

Dans ces conditions il apparaît judicieux d'élaborer un programme d'exploitation des eaux de la nappe, pour permettre aux usagers une utilisation rationnelle et durable. Car toute surexploitation, peut engendrer des modifications négatives des caractéristiques de la nappe.

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Claire A., 1973. Carte géologique de Tlemcen au 1/100 000. Direction Hydraulique de Tlemcen
- Hayane S. M., 1983. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Oran. pp. 73-157.
- Ivanov P., 1969. Carte géo-lithologique et géomorphologique de la plaine d'Hennaya. Ech 1/25.000. inédit, Direction Hydraulique de Tlemcen.
- Kinzelbach W., Rausch R., 1988. Aquifer Simulation Model. Heidelberg/Stuttgart. Allemagne Version 5.0 E.