

Modélisation en régime permanent des écoulements souterrains de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher (Nord-Est algérien)

Mohamed Réda MENANI

Institut de l'Hydraulique. *Université de Batna (Algérie)*

Résumé - La plaine d'El Madher est un bassin sédimentaire à remplissage alluvionnaire mio-plio-quadernaire qui est le siège d'un écoulement souterrain. Elle est située à environ 15 Kms au Nord-Est de la ville de Batna dont elle constitue un des champs de captage.

La caractérisation de cet aquifère a permis notamment de déterminer les conditions aux limites du système et les conditions internes (zones de transmissivités et prélèvements). Après un test de cohérence concluant sur cette base de données, la modélisation des écoulements souterrains en régime permanent par la méthode des différences finies a permis d'aboutir au calage de la piézométrie de référence de la nappe et à l'approche de l'expression de son bilan hydrodynamique moyen annuel.

Mots clés - El Madher - Algérie - Aquifère - Caractérisation - Modélisation - Calage - Bilan hydrodynamique.

Modeling of underground flows on steady state of the El Madher alluvial aquifer (North-East of Algeria)

Abstract - The El Madher plain is a sedimentary basin with a mio-plio-quadernary alluvial filling. It's located at 15 Kms to the North-East of Batna city (North-East of Algeria) and constitutes one of its pumping areas.

The characterization of this alluvial aquifer has permitted to determine the whole limit conditions and the interior ones (transmissivity zones and the water retails extracted). After a conclusive test on the imposed data, the modeling of the underground flows on steady state by using the finite differences method led to a good concordance between calculated piezometric curves and the real ones, and also the approach of the expression of the annual average hydrodynamic balance.

Key word - El Madher - Algeria - Aquifer - Characterisation - Modeling - Coincidence - Hydrodynamic balance.

1 - INTRODUCTION

La plaine d'El Madher est située en zone semi-aride entre les latitudes 35° et 35,5° Nord, à environ 15 Kms au Nord-Est de la ville de Batna et à 450 Kms au Sud-Est d'Alger. Elle est tributaire d'une pluviométrie faible de l'ordre de 350 mm/an en moyenne. Le recouvrement mio-plio-quaternaire est le siège d'un écoulement souterrain et constitue un des champs de captage destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Batna et des localités d'El Madher, Djerma et Fesdis (Fig. 1 et 4).

La caractérisation de ce système aquifère sous ses différents aspects : géologiques, morphologiques et hydrodynamiques a permis de constituer la base de données du modèle.

La modélisation des écoulements souterrains de cet aquifère a été effectuée à l'aide du logiciel PERM mis au point par l'EGA (Equipe de géologie appliquée, Laboratoire de géologie des ensembles sédimentaires- Univ. Nancy) dont les caractéristiques sont décrites par ANTENI (1986). Ce logiciel qui traite les milieux continus en système mono-couche et en régime permanent, est organisé en 5 sous-programmes articulés autour d'un menu, avec un mode conversationnel qui le rend d'un accès très aisé.

La simulation qui se limite à un domaine bidimensionnel a été traitée par la méthode de résolution des différences finies. La méthode itérative de Franckel Young dite de surrelaxation (F. Ghassemi, 1974) a été utilisée. Elle a nécessité la discrétisation du domaine par un maillage carré de 250 m de côté et à imposer l'ensemble des conditions internes et aux limites aux noeuds des mailles leur correspondant géographiquement. Les transmissivités qui permettent de conserver l'influence de la troisième dimension ont été imposées par zones.

Après un test de cohérence concluant sur les conditions imposées, les étapes successives de

simulation limitées essentiellement à une définition précise des contours des zones de transmissivités différentes ont permis d'aboutir à un calage significatif de la piézométrie de référence. Au terme de ce calage, le modèle a permis d'exprimer une approche du bilan hydrodynamique moyen annuel de l'aquifère mio-plio-quaternaire de la plaine d'El Madher.

2 - CARACTERISATION DU SYSTEME

L'aquifère alluvionnaire est composé par des matériaux détritiques attribués au Mio-Plio-Quaternaire qui ont des épaisseurs considérables au centre du bassin (plus de 250 m). Il couvre une superficie d'environ 90 Km² et il est exploité par plus de 220 puits. Cet aquifère est le siège d'un écoulement souterrain généralisé orienté globalement du Sud vers le Nord de la plaine, avec des profondeurs du niveau statique variant entre 15 et 20 m en moyenne.

La nature des formations qui constituent le substratum de cet aquifère est différente selon les endroits. A l'Est et au centre de la plaine, le substratum est constitué par une formation à dominante marneuse très épaisse du Cénomanién (300 m en moyenne) dont l'imperméabilité limite la drainance entre l'aquifère du recouvrement et ceux des calcaires aptiens et des grès barrémiens.

A l'Ouest par contre, les alluvions reposent directement sur ces formations carbonatées et gréseuses qui permettent sa recharge.

Du point de vue morphologique, les coupes des sondages réalisés dans la plaine montrent que les sédiments détritiques sont organisés en séquences sédimentaires qui favorisent l'existence de niveaux préférentiels d'écoulement (niveaux grossiers) séparés par des niveaux d'argiles sablo-graveleuses qui facilitent les échanges verticaux. Au centre du bassin par contre, les dépôts sont organisés en cycles sédimentaires distincts qui se distinguent par

l'apparition de niveaux marneux du Miocène inférieur imperméables qui réduisent la drainance. Cette organisation confère à l'aquifère un caractère captif au centre, semi-libre dans la zone intermédiaire et libre avec débit retardé aux marges du bassin. Les mesures piézométriques comparatives confortent ces résultats.

Plusieurs campagnes piézométriques étalées entre 1989 et 1990 ainsi que des mesures ponctuelles effectuées en 1996 ont permis de suggérer la piézométrie à l'étiage (Août 1989) comme piézométrie de référence caractérisant le régime permanent (MENANI, 1991).

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère ont été établies à partir de l'interprétation de 18 pompages d'essai répartis selon un réseau couvrant l'ensemble de la plaine. La synthèse de ces résultats a permis l'établissement de la carte des zones de transmissivités imposées (Fig. 3).

Les conditions aux limites du système (Fig. 1) sont d'une part externes et s'appliquent aux confins du domaine et d'autre part, internes et se manifestent sous la forme de débits d'échanges verticaux (prélèvements).

La bordure de la plaine avec le Djebel Bou Arif au Sud de Fesdis est constituée par des marnes du Cénomaniens qui en font une limite imperméable, qui s'interrompt toutefois aux débouchés des différents Oueds où les écoulements en inféro-flux constituent un mode d'alimentation de l'aquifère.

Par contre, la bordure du Djebel Bou Arif au Nord de Fesdis et celle des Monts de Batna sont des limites d'alimentation au niveau des calcaires aptiens et des grès barrémiens, à la faveur essentiellement d'un système de fracturation très complexe.

Les sorties aux limites du système sont limitées essentiellement à l'exutoire du bassin coïncé

entre le Djebel Taфраout et Koudiat Tfouda, par drainage de l'Oued El Madher.

Les conditions internes au domaine sont ceux liés aux prélèvements par pompages destinés à différents usages et estimés à un débit moyen de 90 l/s.

3 - METHODE DE RESOLUTION

3. 1 - Mise en équation

Pour un milieu hétérogène quelconque, l'équation résultante de l'écoulement souterrain à régime permanent obéissant à la loi de Darcy s'écrit sous la forme suivante :

$$\delta/\delta x [K_x(x,y,z)\delta H/\delta x] + \delta/\delta y [K_y(x,y,z)\delta H/\delta y] + \delta/\delta z [K_z(x,y,z)\delta H/\delta z] + Q(x,y,z)/dxdydz = 0 \quad (1)$$

- K_x , K_y et K_z : perméabilités selon les axes x , y et z en m/s;

- H : potentiel en m;

- $Q(x, y, z)$: débit d'échange de la nappe avec l'extérieur selon les trois axes (m^3/s)

Dans le cas des grandes nappes de faible puissance relative, et en intégrant la transmissivité de l'aquifère, l'équation se réduit à un espace bidimensionnel où l'expression devient la suivante:

$$\delta/\delta x [T_x(x,y)\delta H/\delta x] + \delta/\delta y [T_y(x,y)\delta H/\delta y] + Q(x,y)/dxdy = 0 \quad (2)$$

L'approche classique pour la résolution de cette équation, qui consiste en la détermination du potentiel en tout point d'un domaine fermé, repose sur une discrétisation du domaine et au remplacement de l'équation originelle par une équation approchée qui lie entre elles, les valeurs caractéristiques de l'écoulement (transmissivité, potentiel et débit).

S'agissant d'un maillage carré, la méthode adoptée est celle des différences finies qui repose ici sur la méthode de MAC LAURIN.

Pour un cas général, où l'écoulement est permanent dans un milieu bidimensionnel, hétérogène et isotrope, avec un débit d'échange avec l'extérieur et pour un maillage rectangulaire régulier, l'équation résultante aux différences finies s'écrit sous la forme suivante :

$$\alpha T_{OA} (H_A - H_O)/dx^2 + \beta T_{OB} (H_B - H_O)/dx^2 + \lambda T_{OC} (H_C - H_O)/dy^2 + \omega T_{OD} (H_D - H_O)/dy^2 + \varepsilon Q(x,y)/dxdy = 0 \quad (3)$$

avec : A, B, C et D les noeuds de mailles voisines dont le centre est le noeud O; et : α , β , λ , ω et ε les coefficients des conditions aux limites du domaine.

Connaissant les conditions aux limites du domaine et la transmissivité du milieu, cette formule intégrée au logiciel permet de déterminer le potentiel en tout point du domaine.

3. 2 - Méthode de résolution

Parmi les méthodes itératives (Entre autres: méthode de JACOBI et méthode de GAUSS-SEIDEL) qui consistent à calculer par approximations successives une solution vérifiant en tout point l'équation aux différences finies à partir d'une solution initiale de potentiel, celle de FRANCKEL YOUNG (surrelaxation) permet une convergence rapide vers la stabilité de la solution selon la relation :

$$H_i \text{ corrigé} = H_i \text{ calculé à l'instant } t * W + (1 - W) H_i \text{ calculé à l'itération } (t - 1)$$

Plusieurs méthodes de calcul ou d'estimation du coefficient de surrelaxation W optimum, qui est obligatoirement compris entre 1 et 2, sont intégrées au logiciel (Méthode théorique, méthode de MOLER, méthode de RAYLEIGH).

4 - MODELISATION

4. 1 - Caractéristiques du modèle

La définition du contour de la nappe a nécessité une étape de cartographie préliminaire. Pour une meilleure précision, le maillage adopté

est un maillage carré de 250 m de côté. Défini sur 83 colonnes et 55 lignes, le domaine à modéliser s'établit sur 1319 mailles pour une superficie d'environ 83,5 Km². En raison de l'absence de points de mesures piézométriques juste au Sud du Djebel Taфраout, la superficie du domaine à modéliser est réduite de 16,5 Km² par rapport à la superficie réelle de l'aquifère (environ 100 Km², pour une superficie du bassin versant hydrologique de l'ordre de 210 Km²); la ligne de courant la plus proche de cette bordure a été prise comme limite du domaine (Fig.1).

Les conditions de NEUMANN (débits) n'étant pas définies quantitativement dans le cas présent, seules les conditions de DIRICHLET (potentiels) ont été imposées par noeud tout le long du contour. Ces potentiels aux limites de la nappe tiennent compte de toutes les excitations, notamment les apports souterrains par les bordures, pour permettre de considérer qu'ils constituent une base de travail acceptable.

Les conditions internes de prélèvement par pompages et les zones de transmissivités différentes obtenues par analyses des données des pompages d'essai ont été également imposées dans le modèle aux noeuds des mailles et dans les zones leur correspondant géographiquement.

4. 2 - Calage du modèle

A travers le calage de la piézométrie de référence, c'est en fait l'approche de l'expression du bilan des débits de la nappe mio-plio-quaternaire qui est recherchée.

Le calage du modèle a nécessité plusieurs passages successifs que l'on peut regrouper en deux grandes phases:

- une première phase axée sur un test de cohérence des données imposées (potentiels aux limites, zones de transmissivités différentes et débits prélevés);

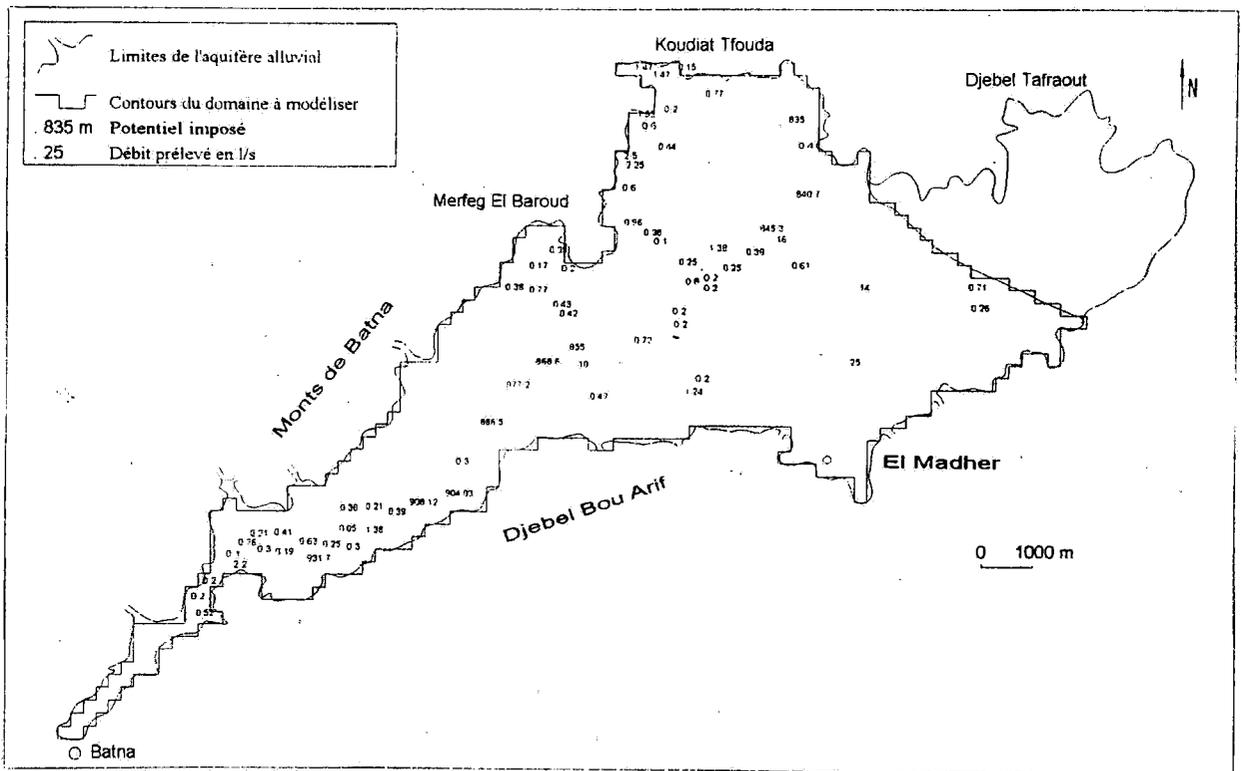


Fig. 1 - Présentation du contour du domaine à modéliser et des conditions internes
Presentation of area contour to modelised and inner conditions

- une deuxième, axée sur la répartition des zones de transmissivités différentes et sur l'affinement de leurs contours.

Le tableau 1 donne les principaux résultats des deux grandes phases de simulation.

Au terme du calage définitif, la solution retenue (Fig.2) s'avère concordante avec la référence, concernant notamment :

Le calage de la piézométrie

La superposition des piézométries calculées et de référence (Fig. 2) montre qu'en dehors de quelques points particuliers (dôme piézométrique lié au décrochement dextre d'El Madher par exemple) on peut observer :

- d'une part, dans la partie avale de la nappe, où une équidistance de 5 m entre les isopièzes a été adoptée, l'écart maximum observé est inférieur à 1m, ce qui représente 0,5% par rapport à la piézométrie totale (environ 170m de dénivelée);

- d'autre part dans la partie amont de la nappe et près de la bordure d'El Madher, le resserrement des isopièzes a conditionné la représentation sur carte par une équidistance de 25m. L'écart maximum observé y est partout inférieur à 5m, soit environ 3 % de la piézométrie totale.

La notion même de piézométrie moyenne et les incertitudes liées aux relevés topographiques et par conséquent piézométriques, permettent de considérer que le calage piézométrique est concordant. Cette approche est admise par de nombreux auteurs (BONNET, 1982, EMSSELLEM, 1971, UNGEMACH, 1974).

Tableau 1 - Principales phases de la simulation
Principal phases of the simulation

	Hypothèses de la simulation	Résultats et observations
PHASE 1 Test de Cohérence	- Conditions de potentiels aux limites - T homogène = $4.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	- Similitude de forme avec la piézométrie de référence
	- Même valeur de transmissivité - Potentiels intérieurs imposés	- Meilleure similitude de forme
	- T fond = $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ - Zone de T = $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ - Potentiels et débits intérieurs imposés	- Meilleure approche de la piézométrie de référence - Cohérence des données imposées (Fig. 5)
PHASE 2 Calage	- Pot. intérieurs et débits prélevés idem.	
	- T fond = $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ - T zone 1 = $1.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ - T zone 2 = $4.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	- Bilan global de l'ordre de $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ - Calage partie aval de la nappe sauf bordure d'El Madher
	- Pot. intérieurs et débits prélevés idem. - T fond = $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	- Calage moitié Nord y compris près de la bordure d'El Madher
	- T zone 1 et T zone 2 idem - T zone 1 et T zone 2 idem - T zone 3 = $8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	
	- Pot. intérieurs et débits prélevés idem. - T fond = $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ - T zone 1, T zone 2 et T zone 3 idem. - T zone 4 = $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	- Bilan global de l'ordre de 830 l/s - Calage définitif (Fig. 2)
	- Test de vérification sur erreur de troncature (précision 10^{-5} et 10^{-6})	- Aucune différence avec la solution retenue

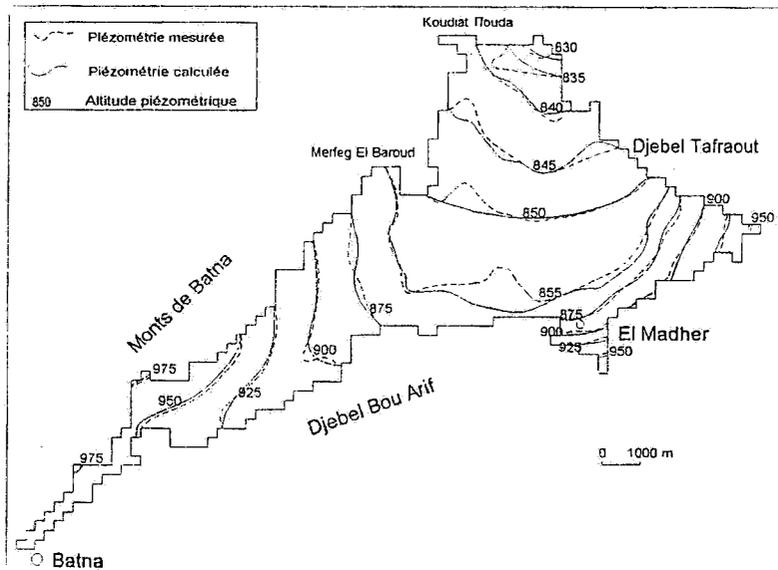


Fig. 2 - Calage de la piézométrie de référence
Adjustment of the reference piezometry

La répartition des zones de transmissivités

La délimitation des zones de transmissivités différentes constitue un des principaux objectifs de la modélisation car elle permet l'orientation des sondages d'exploitation vers les endroits les plus favorables.

Au terme du calage définitif de la piézométrie, la répartition imposée (Fig.3) est en nette concordance avec celle obtenue par analyse des pom-pages d'essai (Menani, 1991) et la carte en iso-hypses du toit du substratum du recouvrement mio-plio-quaternaire (CGG, 1969).

C'est d'ailleurs uniquement sur la base de cette dernière qu'un champ de captage destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Batna (EPEBA, 1988) a été concentré dans cette zone en 1970 (4 sondages pour un débit global d'exploitation actuel de 65 l/s).

On notera également que par rapport à la carte des transmissivités obtenue par analyse des données des pompages d'essai, deux zones supplémentaires ont été imposées. La première de valeur moyenne $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, légèrement supérieure à celle du fond, est située dans la partie amont de l'aquifère (Fesdis) et couvre une zone d'alluvions perméables de l'Oued El Madher. La seconde de valeur moyenne $8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ couvre la bordure d'El Madher.

5 - BILAN DE LA NAPPE

Au terme du calage définitif au moyen de la simulation en régime permanent, le modèle a permis le calcul du bilan hydrodynamique de la nappe alluviale d'El Madher.

En année moyenne, ce sont environ 900 l/s de débit fictif continu qui s'échangent aux limites de l'aquifère.

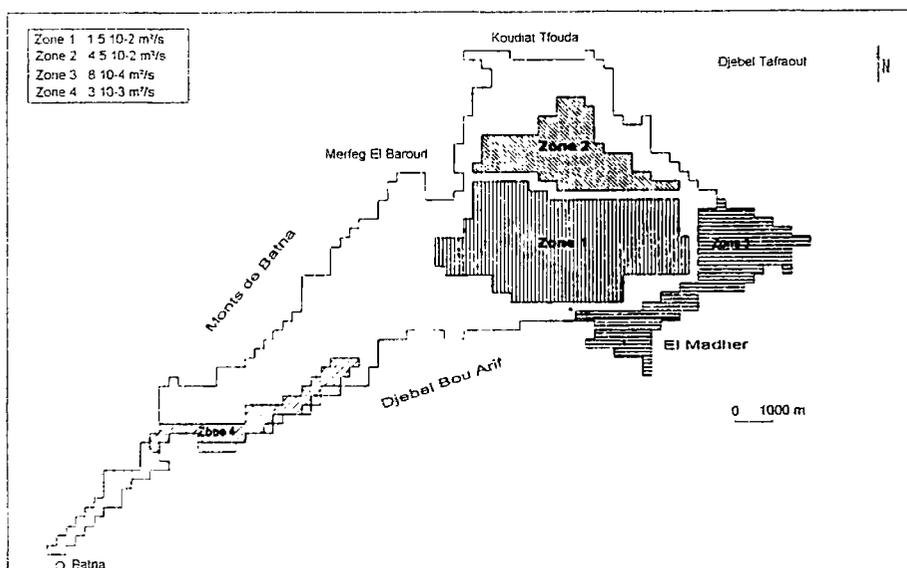


Fig. 3 - Carte des zones de transmissivités imposées
Map zones of imposed transmissivities

Le tableau 2 et la figure 4 en montrent les principaux traits.

5. 1 - Les termes du bilan

5. 1.1 - Les entrées

Les apports aux limites résultent essentiellement de deux processus, que le modèle, à défaut de données mesurées sur le terrain, définit par valeurs communes :

- l'infiltration en bas de pente dans le réservoir des eaux pluviales qui ruissellent sur le bassin versant;
- l'écoulement en inféro-flux dans le glaciais polygénique bordant les reliefs jusqu'au déversement dans le réservoir.

Les apports se concentrent essentiellement sur la bordure des Monts de Batna et sur celle du Djebel Bou Arif avec des débits respectifs moyens de l'ordre de 445 l/s et 350 l/s. L'apport souterrain fractural du décrochement dextre d'El Madher est estimé à 87 l/s à Mechtat Arour.

5. 1.2 - Les sorties

Le drainage vers l'extérieur du domaine

L'absence de jaugeages différentiels dans le lit de Oued El Madher n'a pu permettre une différenciation quantitative entre les écoulements souterrains et les écoulements de surface.

Ces écoulements sont localisés le long de Oued El Madher avec un débit global d'environ 500 l/s réparti entre :

- le drainage de Oued El Madher amont : 112 l/s;
- le drainage par Merdja Mazouala : 390 l/s;

A l'exutoire du bassin versant, la nappe connaît une baisse progressive de sa profondeur

jusqu'à résurgence à la Merdja Mazouala. A cet endroit les potentialités en eau de surface sont considérables mais malheureusement l'absence de jaugeages ne permet pas de quantifier ce débit à l'exutoire de la nappe pour le comparer avec le résultat du modèle.

On notera cependant que le bilan hydrologique du bassin versant d'El Madher (MENANI, 1991), basé sur la formule empirique de TURC d'estimation de l'évapotranspiration potentielle (Turc, 1961), a fait ressortir une disponibilité en eau de surface concentrée essentiellement à l'exutoire du bassin de l'ordre de 3,3 millions de m³/an, soit un débit fictif continu pour une année moyenne de l'ordre de 104 l/s.

Corrélativement au résultat du modèle, cette potentialité en eau de surface constitue environ 1/4 du drainage global (souterrain et de surface) à Merdja Mazouala.

Au drainage, s'ajoutent des échanges avec l'extérieur du domaine, tout le long de la limite aval de la nappe, avec un débit de l'ordre de 75 l/s.

Les prélèvements par pompage

Le débit global prélevé de la nappe est de l'ordre de 90 l/s. Il correspond aux sorties par pompes destinées à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation. Cependant, en raison des réinfiltrations dans la nappe le long des réseaux d'irrigation et des pertes certaines le long des réseaux d'alimentation en eau potable, on peut considérer cette valeur comme surestimée.

Les pertes aux limites

Elles se concentrent au Sud de la limite du Djebel Bou Arif avec un débit de l'ordre de 214 l/s. Cette limite à perte jouxte à l'Est le secteur de Gseyá.

Tableau 2 - Bilan de la nappe d'El Madher
Balance of El Madher nap

ENTREES			SORTIES		
Nature	Dénomination	Débit (l/s)	Nature	Dénomination	Débit (l/s)
Apports par le Djebel Bou Arif	Chabet Benabes-Maafia	116	Drainages	Oued El Madher amont	112
	// Oued Bou Akkane	89		Merdja Mazouala	390
	// El Khelfa	82		Ecoulement de trouée	75
	// Ali Garra-Tioutine	63			
Apports par les Monts de Batna	// Touarga	80	Prélèvements	Sondages AEP	65
	// Bou Ilef- Bou Akkaz	110		Puits-irrigation	26
	// Tazebent-Gseya	65			
	// Belkhez	118			
	// Sidi Khayar-Mzzeri	58			
Percolation des eaux superficielles (Oued El Madher)	Mechta Arour	87	Pertes aux limites	Bordure de Fesdis	214
Total Entrées		882	Total Sorties		882

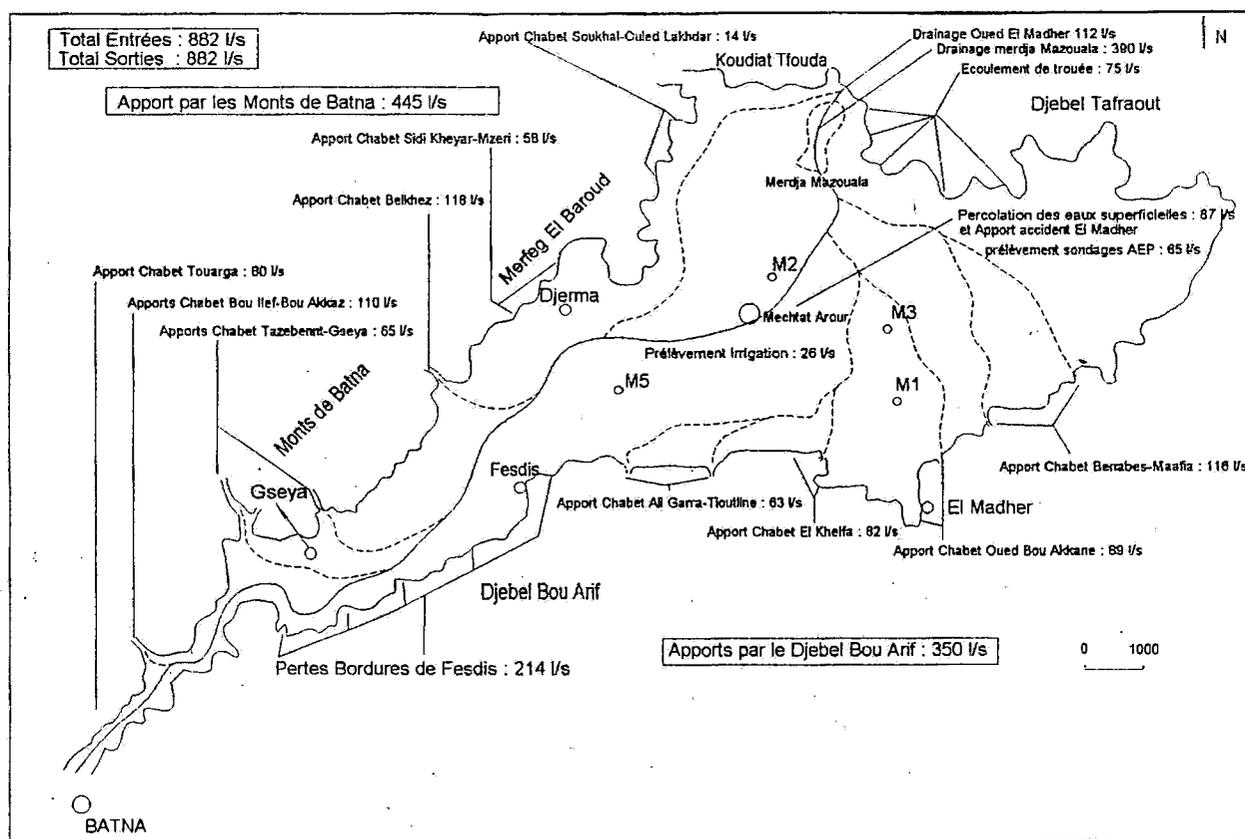


Fig. 4 - Représentation du bilan hydrodynamique de la nappe
Representation of hydrodynamic balance nap

6 - DISCUSSION DES RESULTATS ET CONCLUSION

Le bilan hydrodynamique de la nappe étant considéré dès le départ comme un des résultats de la modélisation, il était important d'opérer au préalable une caractérisation détaillée du milieu physique afin que l'espace modélisé puisse refléter le mieux possible la réalité.

L'étape de caractérisation a nécessité la mise en oeuvre d'importants travaux de reconnaissance et de synthèse liés à des aspects variés qui influent sur le comportement du système aquifère:

- détermination de la morphologie et de la géométrie de l'aquifère sur la base des données géologiques et géophysiques;
- détermination de la nature géologique des limites de l'aquifère (perméables et imperméables);
- détermination des potentiels aux limites qui sont imposés aux noeuds des mailles du réseau discrétisé qui leur correspondent géographiquement;
- délimitation des zones de transmissivités différentes sur la base des résultats de pompages d'essai;

- détermination de la typologie de l'écoulement sur la base de 4 campagnes de mesures piézométriques établies sur 220 puits et l'établissement d'une piézométrie de référence caractérisant le régime permanent;

- estimation des débits prélevés de la nappe par enquête agronomique basée sur les besoins en eau des cultures, et par consultation du fichier de gestion des ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable;

- établissement d'un bilan hydrique sur la base des données climatiques de la région, avec mise en évidence d'un grand déficit.

Les 3 premières simulations effectuées sur la base de ces données imposées ont permis d'aboutir à une répartition des potentiels similaire à celle de la référence (fig.5); permettant ainsi de supposer dans un premier stade la validité du modèle. Les autres phases de simulation jusqu'à la solution définitive ont été axées uniquement sur l'affinement des contours des zones de transmissivités.

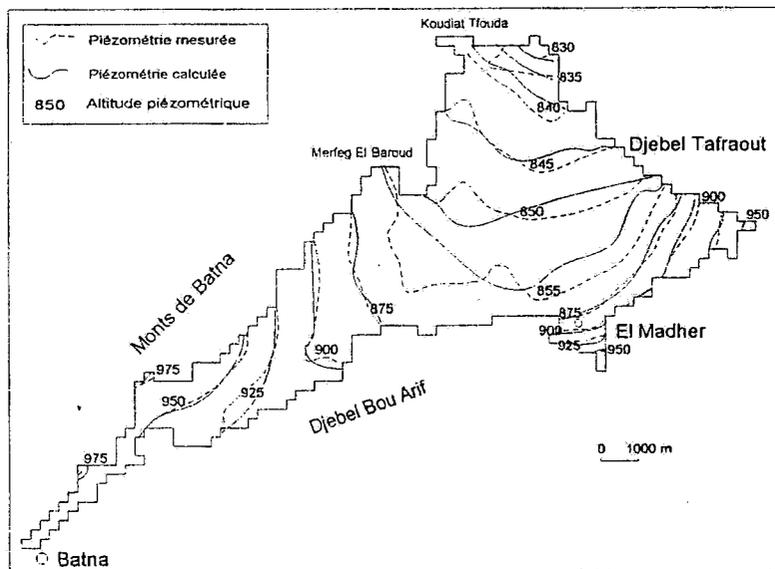


Fig. 5 - Piézométrie calculée relative au test de cohérence des données imposées
Computed piezometry relative at the coherence test of imposed data

Ce processus de calage, à travers l'introduction de nouvelles données non mesurées, atténue de la validité du modèle dans la mesure où leur correspondance à la réalité est entachée d'une incertitude. En effet, l'imposition de nouvelles zones de transmissivité ou l'affinement de leurs contours, en tenant compte par exemple de la variation du gradient hydraulique, ou encore de simples observations de terrain relatives à la perméabilité du milieu non étayées par des mesures, peut induire à l'erreur car les paramètres influents sur la transmissivité peuvent être multiples.

Afin de vérifier la validité du modèle, un test a été effectué sur les quatre sondages du champ de captage avec l'imposition de débits nettement

supérieurs à ceux prélevés, dans l'objectif de corréler l'état piézométrique calculé avec les mesures des niveaux dynamiques stabilisés, faites lors des pompages d'essai. On notera que seules les mesures effectuées au piézomètre accompagnant le sondage M1 ont été prises en compte; les mesures faites à même les sondages de captage étant entachées de pertes de charge considérables.

Le résultat du test (tabl. 3) montre qu'à débits d'exploitation doublés (Fig.6), l'écart maximum observé par rapport à la piézométrie calculée au terme du calage définitif est de 1 m.

Pour des débits d'exploitation de 25 et 40 l/s au sondage M1, les niveaux dynamiques mesurés

Tableau 3 - Données imposées pour le test de validation
Imposed data for Validation test

Débits actuels (l/s)	Débits imposés (l/s)	Bilan des débits (l/s)
M1 = 25	M1 = 50	débits positifs =
M2 = 16	M2 = 32	1147
M3 = 14	M3 = 28	débits négatifs =
M5 = 10	M5 = 20	1146

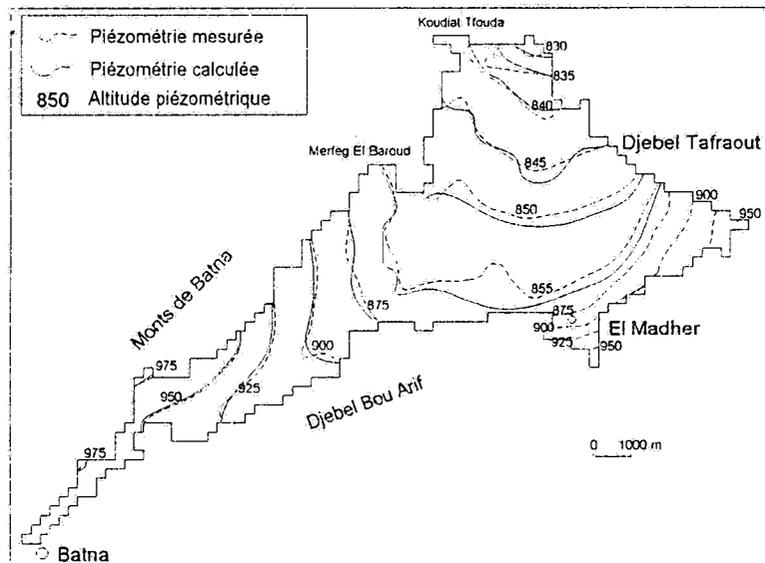


Fig. 6 - Piézométrie calculée relative au test de validation
Computed piezometry relative at the validation test

au piézomètre étaient stabilisés à des profondeurs respectives de 1,70m et 2,62m, soit un écart d'environ 0,9 m.

A ce point de contrôle, le résultat du test est en accord avec les mesures de terrain.

L'absence d'autres données mesurées, telles que les jaugeages de débit aux limites du bassin ou les résultats de pompages d'essai supplémentaires, limite considérablement la validation. En effet, un contrôle en un point du modèle ne peut être généralisé à l'ensemble.

Les contraintes classiques rencontrées par les modélisateurs en hydrogéologie et afférentes aux unités d'action et de temps (MASSILY, 1994) sont d'autant plus à craindre pour le cas de la plaine d'El Madher.

La règle d'action est posée ici en terme de changement de la nature d'écoulement. En effet, dans quelle mesure l'apport souterrain d'essence fractural dont bénéficie l'aquifère alluvial à partir du décrochement dextre d'El Madher, et qui se traduit par un dôme piézométrique très important, obéit-il au régime laminaire sur lequel repose l'ensemble du processus?

La règle temps est ici plus contraignante car les régimes hydrologiques en zones semi-arides sont caractérisés par de grandes irrégularités saisonnières et annuelles qui influent directement sur le régime d'écoulement souterrain en modifiant sa stationnarité. Le modèle ne représente par conséquent qu'un état particulier du système, à partir duquel une prédiction serait hasardeuse (KONIKOW ET BREDEHOEFT, 1992).

Toutefois, il permet une approche globale du bilan hydrodynamique pour une année hydrologique moyenne, dont les résultats sont confortés partiellement, comme c'est le cas à l'exutoire du bassin, près du Djebel Taфраout, où un sondage réalisé au courant de l'année 1996

a donné de bons résultats lors des pompages d'essai (à un débit de 40l/s, le niveau dynamique s'était stabilisé à une profondeur de 38m), confirmant l'excellence du réservoir à cet endroit.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTEMI, E. 1986. Réalisation d'un logiciel mathématique des écoulements souterrains. - *D.E.S., Nancy*, 118 p.
- B.N.E.D.E.R. (1983). Projet de développement rural intégré de la Wilaya de Batna, 1ère Partie, Volume 1, Etudes de base, Tome 1, Etude climatique et hydrologique. *Ministère de l'Agriculture, Alger*, 1983, 84 p.
- BONNET, M. 1982. Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie. *Thèse d'Etat, INPL, Univ. Nancy*, 1978, 438 p.
- C.G.G. 1969. Prospection géophysique des Chotts Gadaine et Saboun et de la plaine d'El Madher. 8 Avril - 14 Août 1969. *Travaux publics, Direction Départementale de Batna*, 36 p.
- EMSELLEM, Y. 1971. Construction de modèles mathématiques en hydrogéologie. *Centre d'informatique géologique, ENSMP, Rapport LHM/R70/7*, 125 p.
- E.P.E.BA. 1988. Production. Rapport interne, *Entreprise de production des eaux de Batna*.
- GHASSEMI, F. 1974. Etudes méthodologiques de la simulation des nappes aquifères par modèles mathématiques. *Thèse d'Etat, Univ. Strasbourg*, octobre 1974, 319 p.
- MARSILY, G. 1994. Quelques réflexions sur l'utilisation des modèles en hydrologie. *J. of Water Sc.* 7/3, 219-234.
- MENANI, M. R. 1991. Etude hydrogéologique de la plaine d'El Madher (Algérie orientale): géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère mio-plio-quaternaire. *Thèse Doct. Univ. Nancy 1, Labo. G. E. S.*, 409 p.

- TURC, L. 1961.** Evaluation des besoins en eau en irrigation. Evapotranspiration potentielle. *Ann. Agron., laboratoire des sols, CNRA Versailles*, 1961, 12, (1), pp. 13-49.
- UNGEMACH, P. 1974.** Simulation des nappes d'eaux souterraines, outils, méthodes, problèmes. Application aux modèles de ressources, d'aménagement et de pollution. *Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Physiques, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, 350 p.
- KONOKOW, L. F., BREDEHOEFT, J. D. 1992.** Groundwater models cannot be validated. *Adv. in Water Resour.* 15, 75-83.