

**Apport des techniques géo-spatiales pour la caractérisation de la qualité des eaux souterraines des oasis de la vallée du Draa : cas de la nappe de Fezouata**

**Cherkaoui H.D., Moussadek R., Sahbi H.**

*in*

Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.).  
*Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 2]*

**Bari : CIHEAM**

**Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 56 Vol.II**

**2007**

pages 293-304

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=800198>

To cite this article / Pour citer cet article

Cherkaoui H.D., Moussadek R., Sahbi H. **Apport des techniques géo-spatiales pour la caractérisation de la qualité des eaux souterraines des oasis de la vallée du Draa : cas de la nappe de Fezouata.** In : Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.). *Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 2]*. Bari : CIHEAM, 2007. p. 293-304 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 56 Vol.II)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# APPORT DES TECHNIQUES GEO-SPATIALES POUR LA CARACTÉRISATION DE LA QUALITE DES EAUX SOUS-TERRAINES DES OASIS DE LA VALLÉE DU DRAA- CAS DE LA NAPPE DE FEZOUATA

H.D. Cherkaoui \*, R. Moussadek \*\*and H. Sahbi \*\*\*

\* Laboratory of the Hydrogeology and the Geology of the Engineer (Department of the Mineral Genius - Mohammedia School of Engineers - University Mohammed V, Rabat, Maroc

\*\* Department of the Environment and Conservation of the Natural Resources, INRA, BP6443, Madinat El Irfane , Rabat, Maroc (contact:moussadek@inra.org.ma)

\*\*\*Laboratory of Geophysics applied and Hydrogeology (L.G.H)  
- University Moulay Ismail de Meknès, Maroc

**SUMMARY-** The Middle Draa, narrow depression between the Saghro and the Sahara, constitute a discontinuous hydraulic surface entirely dependent on Draa whose very irregular mode was regularized by the Mansour Dahbi Dam. Since its operation, this dam could improve the availabilities out of water in the Middle Draa, following the mobilization of surface waters and consequently increase the surfaces annually cultivable, which modified the mode of the subjacent. Also, through this paper, we propose to show the contribution of the Geographical Information system in order to contribute to a brought up to date hydro-geologic synthesis of these ground waters particularly that of Fezouata and to define its principal potentialities.

**Key words:** Hydro-climatology, GIS, ground water, hydro-geology.

**RESUME** - Le Moyen Draa, étroite dépression entre le Saghro et le Sahara, constitue une aire hydraulique discontinue entièrement dépendante du Draa dont le régime très irrégulier a été régularisé par le barrage Mansour Eddahbi. Depuis son fonctionnement, cet ouvrage a pu améliorer les disponibilités en eaux dans le Moyen Draa, suite à la mobilisation des eaux superficielles et par conséquent augmenter les superficies annuellement cultivables, ce qui a modifié le régime des nappes phréatiques sous-jacentes. Aussi, à travers cette communication, se propose t-on d'établir une synthèse hydrogéologique actualisée de ces nappes particulièrement celle de Fezouata et de définir ses principales potentialités et ce, moyennant d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.).

**Mots-clés :** Hydro-climatologie, SIG, eaux souterraines, hydro-geologie

## PRESENTATION

Au centre du massif anti atlasique, le bassin du Draa s'étend sur une superficie de l'ordre de 100000Km<sup>2</sup>. Il se subdivise en trois unités homogènes : Le Haut Draa, le Moyen Draa ou la moyenne vallée du Draa et le Bas Draa. Le long du tronçon moyen du Draa, la vie humaine se distribue en un chapelet de six palmeraies jalonnant le Draa sur environ 200 Km. D'amont en aval, ces palmeraies portent les nominations de : Mezguita, Tinzouline, Ternata, Fezouata, Ktaoua et M'hamid.

A signaler que la région intéressée par cette étude hydrogéologique s'organise autour de la palmeraie de Fezouata (Commune de Zagora). Toutefois l'étude du cadre général, portera sur l'ensemble du Moyen Draa.

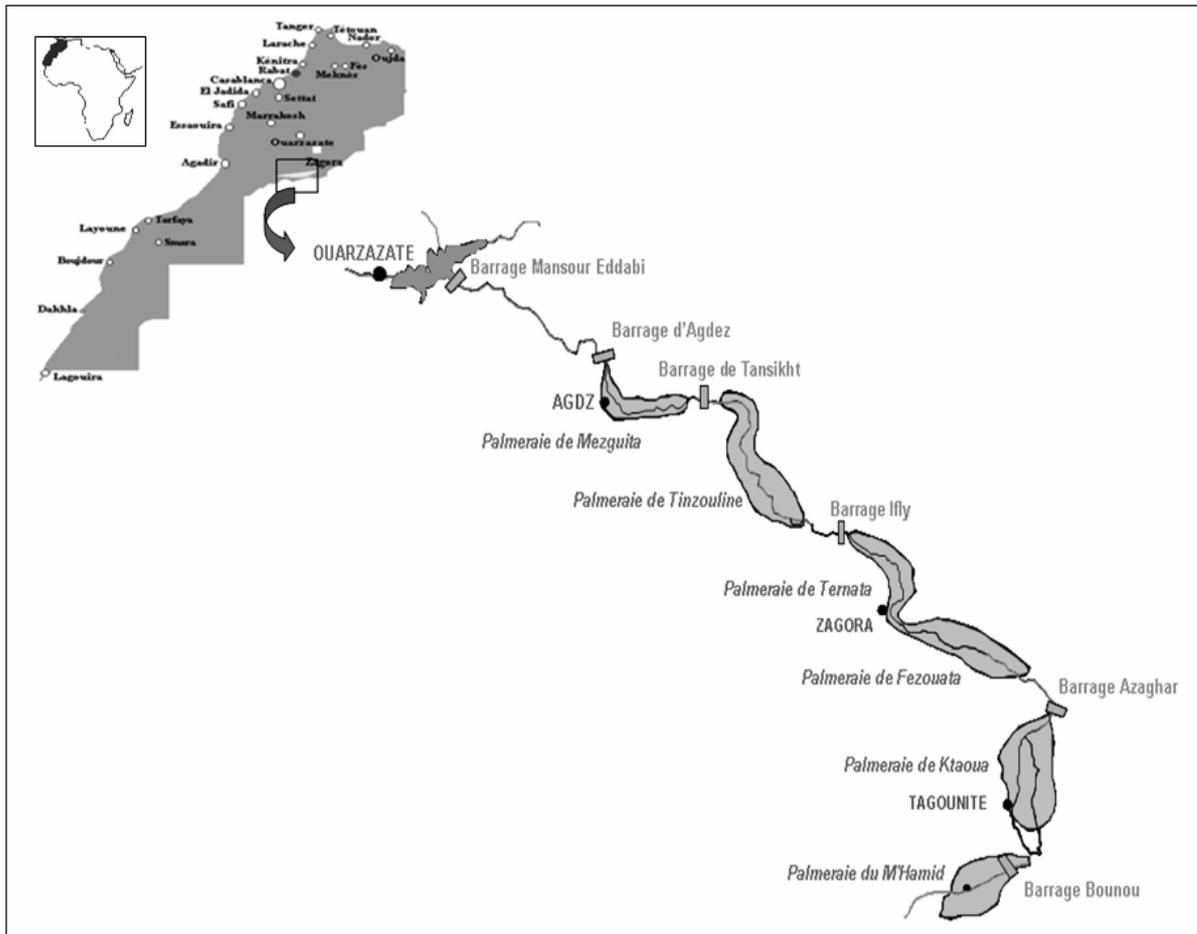


Fig. 1. Carte de situation de la palmeraie de Fezouata au sein du Moyen Draa

Cette zone du territoire marocain ainsi étudiée, dispose de données de base hydrogéologiques, géologiques et de surface nombreuses mais irrégulières et éparses. La première démarche de ce travail consistait d'abord à une organisation structurée des données (cartographiques et non cartographiques) disponibles et acquises au cours des différentes campagnes de mesure (géophysiques, géologiques et hydrogéologiques...etc). De telle organisation nous a mené à l'implantation d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.) dont l'exploitation nous a permis :

- La présentation de la zone d'étude dans un cadre régional et donc le Moyen Draa dans son ensemble ;
- La numérisation de nombreux documents existants, particulièrement la carte géologique de la palmeraie de Fezouata ;
- L'élaboration d'une synthèse hydrogéologique et hydro-chimique actualisée. De cette synthèse, il a été possible :
  - De dresser une nouvelle carte piézométrique de la nappe alluviale de Fezouata ;
  - De dresser une nouvelle carte d'isobathes des eaux souterraines de Fezouata ;
  - D'établir un bilan hydrogéologique actualisé de la nappe de Fezouata ;
  - D'établir un bilan des réserves régulatrice, permanente et delà, la réserve totale de la nappe de Fezouata ;
  - De dresser une nouvelle carte de répartition des résidus secs, au sein de la même nappe étudié.
  - De déterminer les différents faciès chimiques des eaux souterraines de la dite nappe, leur qualité ainsi que leur aptitude aussi bien à l'irrigation qu'à l'alimentation en eau potable des habitants de la palmeraie de Fezouata.

## **CADRE GENERAL DU MOYEN DRAA**

### **Hydro-geologie**

Dans son ensemble le Moyen Draa est caractérisé par :

- Un microclimat relativement humide au sein d'une zone climatique méditerranéenne désertique à la limite de l'aridité et de l'hyperaridité (Cherkaoui, 2001). Ce climat est marqué par une faible et irrégulière pluviométrie moyenne inter-annuelle (109.75 mm : Station Zagora ; Période : 1989/99), des températures élevées (21°C, Station : Asrir ; Période : 1989/99) dont les variations annuelles et quotidiennes sont accentuées et une forte évaporation dont le total annuel peut atteindre les 3m/an.
- Des disponibilités en eau très limitées aussi bien pour l'irrigation que pour l'alimentation des habitants en eau potable. Les apports d'eaux superficielles sont très limités et irréguliers et les ressources en eaux souterraines sont très limitées et salées particulièrement pour les nappes d'eau souterraines situées en aval de Zagora (Cherkaoui, 2001).
- L'accentuation des phénomènes d'ensablement et d'érosion. Les conditions de l'écoulement sont particulières : le régime hydrologique est très irrégulier et tributaire des conditions climatiques.
- Les disponibilités en aires cultivables très limitées. En effet, la couverture végétale et les sols se distinguent par leur pauvreté et leur faible évolution. Les formations végétales sont soit inexistantes soit sporadiques et tributaires des conditions locales de l'alimentation.

En plus de ces contraintes majeures, d'autres facteurs peuvent entraver le développement agricole ainsi que toute autre activité économique dans la région tel que le taux d'analphabétisme très élevé dans le milieu rural, l'enclavement de la zone ainsi que l'insuffisance des voies d'accès, ce qui accentue inévitablement l'exode vers les grandes villes et l'abandon des terres essentiellement en période de sécheresse.

### **Géologie**

Les formations géologiques constituant le Moyen Draa sont d'âges variés allant du Précambrien jusqu'au Quaternaire. Les horizons précambriens y affleurent en faveur de multiples massifs et boutonnières constitués essentiellement de terrains granitisés, magmatisés et métamorphisés. Sur ces termes, repose en discordance angulaire une couverture sédimentaire paléozoïque, elle-même recouverte de terrains mésozoïques, cénozoïques puis quaternaires. La figure ci-dessous, schématise la stratigraphie générale de la palmeraie de Fezouata.

### **Aménagement Hydro-agricole**

Afin de pallier à toutes ces contraintes citées en sus, et avec le lancement de la politique des grands barrages en 1967, la décision de l'aménagement du périmètre du Moyen Draa ainsi que la modernisation de son système d'irrigation fut prise par l'Etat. Cette modernisation résidait particulièrement dans la construction du grand barrage Mansour Eddahbi, édifié à l'aval immédiat de la confluence des oueds : Ouarzazate, Dades et N'ait Douchen, principaux affluents du haut bassin de l'oued Draa. Ce grand ouvrage, d'une capacité de 529 Mm<sup>3</sup> a permis en grande partie la régularisation du régime des cours d'eau du Moyen Draa et par conséquent l'irrigation des six palmeraies qui couvrent une superficie de 26 118 ha avec une dose de 250 Mm<sup>3</sup>/an, la protection de la moyenne vallée contre les inondations, la production de l'énergie électrique et l'alimentation en eau potable et industrielle de la ville de Ouarzazate.

A partir du bilan hydraulique annuel de la retenue du barrage, il ressort que 82,4% des apports à la retenue sont restitués au niveau du Moyen Draa. Le reste, soit 16,6% de ces apports est perdu par évaporation. Environ 63% des volumes restitués, sont destinés à la couverture des besoins en eau

d'irrigation. Le reste, mis à part les fuites à travers la digue, pourrait servir à l'alimentation en eau potable et industrielle de la ville de Ouarzazate (Etat de 1999). D'autre part, et à partir du graphique de la figure 3<sub>1</sub>, on constate que durant toute la période du fonctionnement du barrage Mansour Eddahbi et vu la capacité de sa retenue, se sont succédées :

- Des années normales avec un stock initial et apports suffisants pour programmer les 250Mm<sup>3</sup> destinés à l'irrigation du périmètre du Moyen Draa;
- Des années exceptionnelles pour lesquelles des turbinages exclusifs et des déversements se sont imposés;
- Des années de restriction, nécessitant la réduction du nombre des lâchers pour l'irrigation.

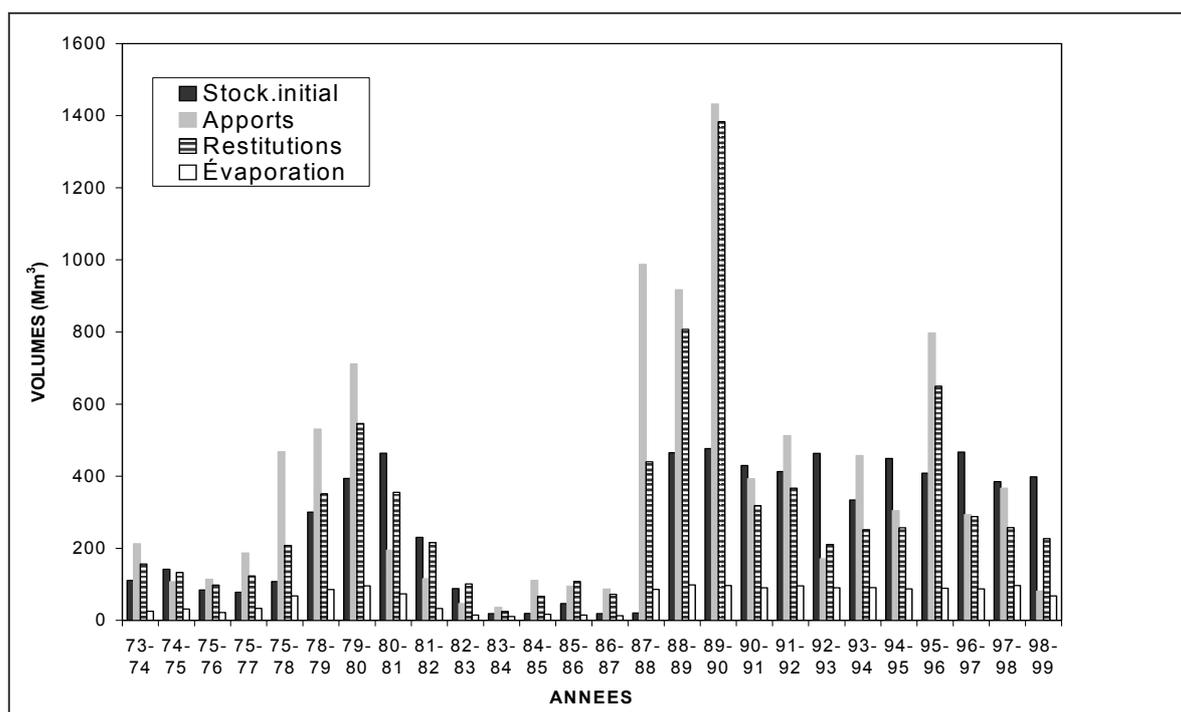


Fig.2: Bilan d'exploitation du barrage Mansour Eddahbi (Période : 1973 – 1999)

Source : D'après les données de la Direction Hydraulique de Souss Massa et Draa

En plus du grand barrage Mansour Eddahbi, le schéma hydraulique du périmètre du Moyen Draa est constitué par cinq autres petits barrages de dérivation situés en aval du grand ouvrage et qui sont d'amont en aval : Agdez, Tansikht, Ifly, Azaghar et Bounou (Figure 1). En effet, une fois libérée, la fraction des eaux régularisées par le barrage Mansour Eddahbi est reprise par les cinq barrages de dérivation puis redistribuée via des canaux principaux et des seguias. Ce réseau d'irrigation favorise les deux dernières palmeraies situées en aval contrairement à la règle traditionnelle qui favorise l'amont sur l'aval. A l'échelle temporelle, la fraction libérée par le barrage Mansour Eddahbi ou lâcher est tenté en diminuant ou en augmentant son débit selon l'hydraulicité de l'année.

## HYDROGEOLOGIE DE LA NAPPE DE FEZOUATA

### Lithologie et géométrie de la nappe

La nappe de Fezouata est une nappe alluviale libre couvrant une superficie de l'ordre de **110 Km<sup>2</sup>**. La forme générale de l'aquifère correspond à une cuvette à substratum schisteux imperméable, comblée par des dépôts alluvionnaires du Quaternaire moyen et récent qui supportent la palmeraie

de Fezouata et où circule la nappe. En amont et en aval de cet aquifère, des resserrements de nature quartzitique d'âge ordovicien, en forme de seuil et fous affleurent en surface. Ce qui permet de bien individualiser la nappe de celle qui la succède et de celle qui la précède. La puissance moyenne est de l'ordre de 13m.

Du bas vers le haut de la coupe type du remplissage alluvial quaternaire de cette nappe on peut distinguer :

- 5m de limon de couverture, de nature sableuse et de couleur marron.
- 13m de formations alluvionnaires grossières souvent conglomératiques.
- Bed rock schisteux.

Cette coupe peut varier sensiblement d'un point à l'autre de la cuvette, conséquence directe de la variation de la puissance ainsi que le degré de cimentation des niveaux indurés [ORMVA].

### Profondeur de la nappe (Fig. 3)

La profondeur du plan d'eau par rapport au sol ou le niveau piézométrique (NP) pour l'ensemble des forages et puits prospectés (Campagne de juillet 2000), varie entre 2 et 20 m.

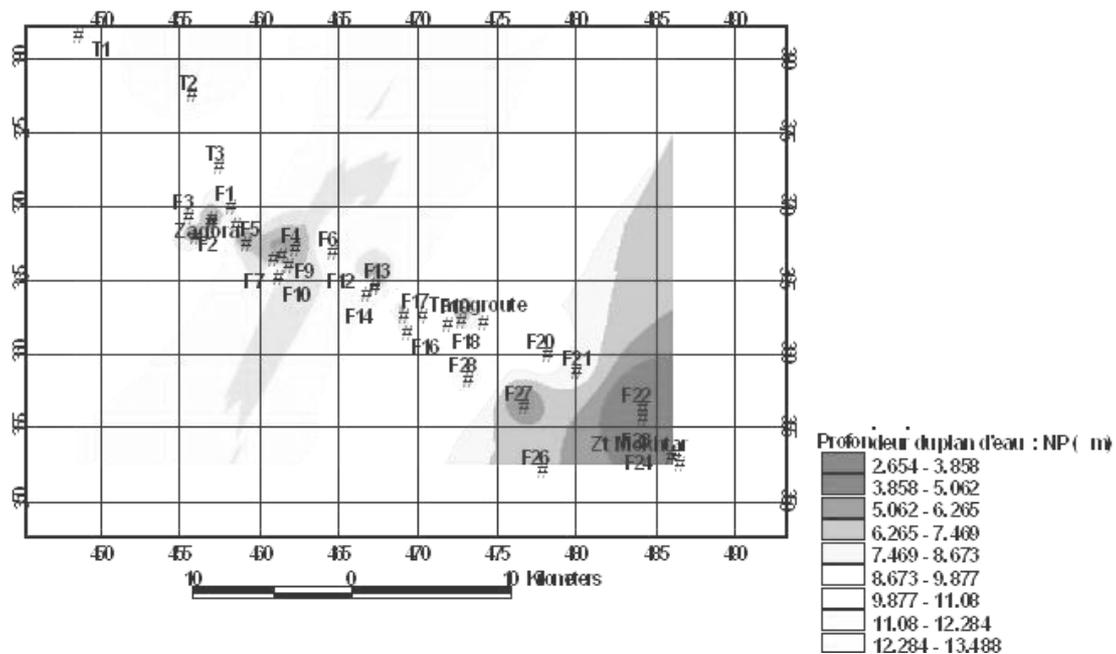


Fig. 3. Carte d'isobathes de la nappe de Fezouata - Etat de juillet 2000

A partir de la carte d'isobathes de la nappe de Fezouata (carte d'égalité de variations de la profondeur du plan d'eau par rapport au sol) ainsi que la prospection du terrain, on remarque que le niveau d'eau est proche de la surface du sol à proximité du seuil amont et aval qui se présentent sous forme d'étranglements, ce qui surélève le niveau piézométrique et se traduit par des zones d'émergence et de formation des croûtes salines. En plus de cette évolution longitudinale de la profondeur, on peut remarquer une évolution latérale marquée essentiellement par une augmentation de la profondeur sur les bordures où le niveau d'eau atteint les 18m en amont de la rive gauche de la nappe. Cette augmentation est en grande partie en relation avec le reg moyen qui surplombe l'étage récent de 5 à 6 m et les aires cultivées.

### Piézométrie de la nappe (Fig. 4)

A la lecture de la carte piézométrique (carte d'altitude du plan d'eau souterraine) dressée suite à la campagne de juillet 2000, il ressort que la nappe de Fezouata correspond à une nappe libre, cylindrique, à surface piézométrique régulière. Toutefois, elle est perturbée par endroits par des zones déprimées correspondant aux axes de drainage naturels. Ces axes se situent près du lit actuel du Draa sans s'y confondre ou sur d'anciens lits fossiles bien éloignés du lit actuel du Draa.

La direction générale de l'écoulement est NW-SE. A l'intérieur de cette nappe, le gradient hydraulique accroît au voisinage du seuil amont puis diminue au centre de la nappe pour augmenter ensuite au voisinage du foum aval. Sur la bordure droite de la nappe, en amont d'Asekjour (au voisinage du forage F28), des apports d'eau douce issus des sous écoulements des oueds Feija sont bien individualisés.

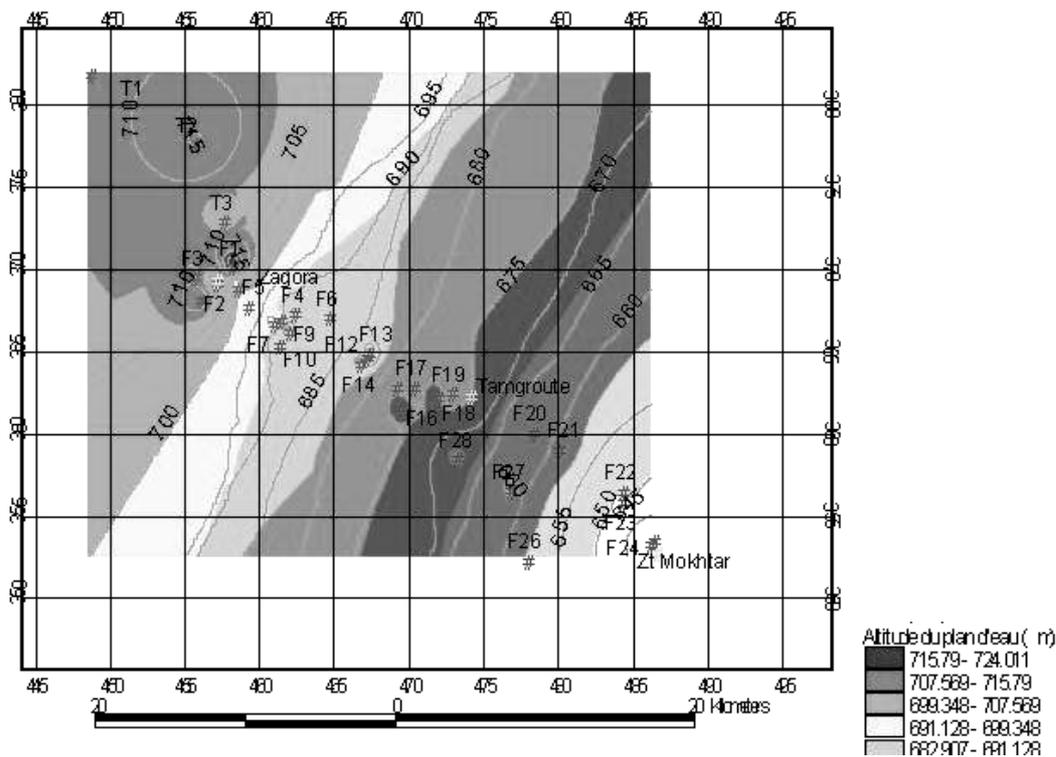


Fig. 4 : Carte d'altitude du plan d'eau en mètre (Nappe de Fezouata - Etat de juillet 2000)

### Paramètres hydrodynamiques :

Les différents paramètres hydrodynamiques retenus pour la nappe de Fezouata sont affichés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Paramètres hydrodynamiques de la nappe alluviale de Fezouata.

Paramètres	Valeur max.	Valeur moy.	Valeur min.
Perméabilité (K en m/s)	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$
Transmissivité (T en m <sup>2</sup> /s)	$9.2 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
Coefficient d'emmagasinement (S)	-	$5.0 \cdot 10^{-2}$	-
Gradient hydraulique (i ‰)	4.87	2.00	1.18

Du tableau 1, il ressort que les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont en faveur d'un écoulement en nappe libre. D'autre part, au sein de la cuvette de Fezouata, la perméabilité varie

horizontalement et verticalement. En effet, à la sortie de chaque seuil, se forment des cônes de déjection avec des éléments grossiers alternant avec des termes graveleux. Au-delà de cette zone, la sédimentation devient grossière jusqu'à la proximité du foug aval. A l'échelle verticale, l'hétérogénéité des alluvions entraîne une variation de la perméabilité en fonction de l'épaisseur de chaque étage et des dépôts qui le composent. Les coefficients de perméabilité les plus forts, sont attribués aux dépôts consolidés ou tassés du Quaternaire moyen (conglomérat ou alluvions très argileux). Les coefficients les plus faibles sont par contre attribués aux limons qui supportent les palmeraies.

Les valeurs du débit moyen sous – écoulé sont de l'ordre de 64 l/s à l'entrée de la palmeraie de Fezouata, dans le tiers inférieur de la nappe, cette valeur est de 54 l/s.

### Régime de la nappe :

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe en certains points de mesure a révélé que le régime de cette nappe est en grande partie tributaire des volumes lâchés par le barrage Mansour Ed Eddahbi. Ces volumes sont à leur tour dépendants de l'état hydrologique général de la période considérée (Stock initial de la retenue et apport au barrage...). A l'échelle saisonnière, les fluctuations piézométriques sont aussi liées au régime d'apport et donc aux périodes d'irrigation et particulièrement le nombre des lâchers ainsi que les doses lâchées pour cette fin. Au cours d'une année moyenne, les fluctuations de la nappe présentent un maximum en été au mois d'août et un minimum en automne au mois de septembre. Pour l'année 1999, l'amplitude des fluctuations est de l'ordre de 1m et ce pour l'ensemble des piézomètres prospectés.

### Bilan hydrogéologique de la nappe :

Dans l'aquifère à nappe libre de Fezouata, les différents termes du bilan hydrogéologique sont récapitulés sur le tableau ci-dessous :

Tableau 2. Bilan moyen de la nappe alluviale de Fezouata pour l'année 1998/99 (Données en Mm<sup>3</sup>)

Concepts	Entrées	Sorties
<b>Entrées</b>		
■ Infiltration efficace	0.55	
■ Infiltration des lâchers du barrage Mansour Ed Eddahbi	6.50	
■ Apport souterrain au droit des seuils		
■ Apport souterrain à partir des sous-écoulements des oueds feija	0.80	
	2.24	
<b>Total des entrées</b>	<b>10.09</b>	
<b>Sorties</b>		
■ Résurgences		2.07
■ Prélèvements		11.00
■ Perte à l'aval des foug		0.53
<b>Total des sorties</b>		<b>13.60</b>
<b>Solde : -3.51</b>		

Source : (Cherkaoui, 2001)

De ce tableau, il ressort que le bilan relatif à la nappe de Fezouata n'est pas équilibré, le solde traduisant la variation de la réserve en eau souterraine est de l'ordre de  $-3.51 \text{ Mm}^3$ .

Cette valeur négative, traduit un volume puisé à partir de la nappe qui dépasse les apports. Elle serait plus importante si l'on a pu calculer avec précision le volume d'eau évapotranspirée. D'autre part et malgré les nombreuses imprécisions qui se sont imposées lors de l'établissement de ce bilan, on peut globalement considérer que : la nappe de Fezouata est essentiellement alimentée par reinfiltation des eaux d'irrigation. En effet, ces eaux participent à 64% dans la recharge de la nappe étudiée. Par contre les apports issus des sous écoulements des oueds feija véhiculant des eaux douces sont faibles et demeurent insuffisants pour pallier la salinité des eaux souterraines de Fezouata. Ces apports participent à 22% dans la recharge de la nappe. De même, l'infiltration efficace, très faible ne parvient pas à atténuer même sensiblement la salinisation des eaux souterraines de la nappe étudiée.

### **Réserves en eaux sous terrains de la nappe :**

D'après les calculs et mesures effectués, la réserve régulatrice (RR) et réserve permanente (RP) de la nappe de Fezouata sont respectivement estimées à  $13.5$  et  $45.1 \text{ Mm}^3$  d'où une réserve totale de l'ordre de  $59.0 \text{ Mm}^3$ . La réserve régulatrice représente 23% de la réserve totale.

## **HYDROCHIMIE**

### **Analyse des données :**

Après la prospection du terrain, prélèvements des échantillons lors de la mission de juillet 2000 et analyse physico-chimique au laboratoire d'analyse de la D.R.H. d'Agadir, des eaux des différents piézomètres prospectés dans la palmeraie de Fezouata, les résultats obtenus doivent être vérifiés. Pour ce faire, la méthode la plus simple est le calcul de la balance ionique (BI). Afin de vérifier cette balance, il faut disposer sur chaque analyse de la mesure des huit éléments majeurs :  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ .

$$\text{BI} = 100 * (\sum r^+ - \sum r^-) / \sum r^+ + \sum r^- \text{ (valeurs exprimées en meq/l)}.$$

Sur 100% de ces analyses, soit 30 échantillons, aucune erreur dépassant 5% n'a été enregistrée. En plus, 40% de ces analyses ont donné de très bons résultats, le reste, soit 60%, présente des résultats moyens avec une marge d'erreur comprise entre 2% et 5%. Ces erreurs sont essentiellement dues aux dilutions successives qui se sont imposées lors des manipulations au laboratoire, vu les salinités élevées de la plupart des échantillons d'eau prélevés.

### **Interprétation**

Afin d'établir une synthèse représentative de la qualité des eaux souterraines de la nappe de Fezouata, les paramètres d'interprétation retenus sont les suivants : Les éléments majeurs, le résidu sec (RS), le potentiel hydrogène (pH), le titre hydrotimétrique (TH), la température (T), la conductivité électrique (CE) et le S.A.R.

#### *Les éléments majeurs*

A partir de ces éléments majeurs, il a été possible de déterminer la composition chimique des eaux de la nappe étudiée et par conséquent déterminer approximativement leurs faciès chimiques. Ainsi, au niveau des deux nappes étudiées ; les faciès rencontrés sont de type :

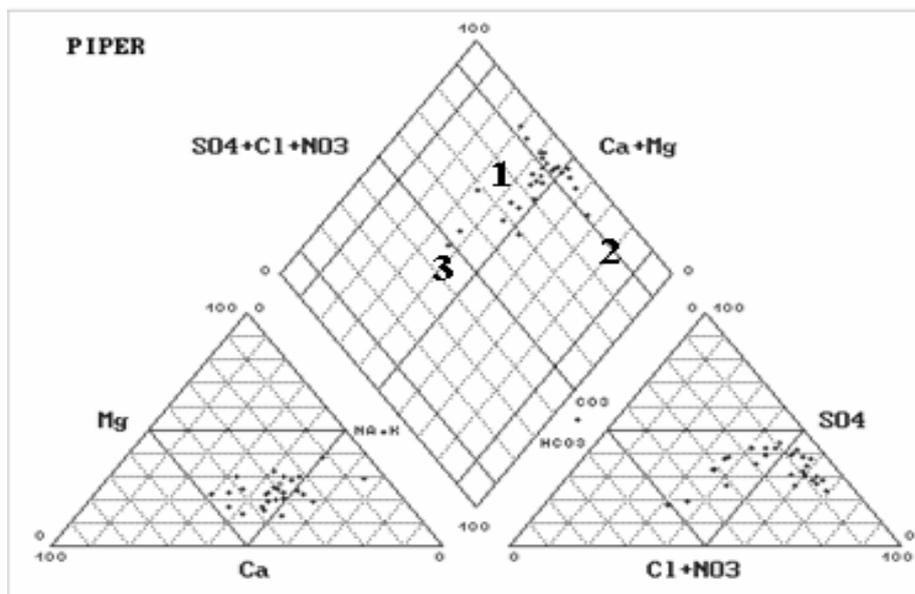


Fig. 5. Composition chimique des eaux souterraines de la nappe

- 1- FACIES CHLORURE ET SULFATE CALCIQUE ET MAGNESIEN
- 2- FACIES CHLORURE SODIQUE ET POTASSIQUE OU SULFATE SODIQUE
- 3- FACIES BICARBONATE CALCIQUE ET MAGNESIEN

L'origine de ces différents faciès est très variée. Ainsi, le faciès bicarbonaté calcique peut être lié à l'infiltration des eaux météoriques ou encore aux apports des sous-écoulements des oueds *fejjas* qui peuvent drainer localement les eaux des calcaires blancs de l'Amirien et plus rarement les formations carbonatées du Géorgien et de l'Adoudounien. Les faciès chloruré sodique et sulfaté, très fréquents dans cette nappe, sont généralement le résultat d'une concentration par dissolution. Ils sont caractérisés par une forte concentration en ions sodium et chlorures. Le faciès sulfaté que ce soit calcique ou magnésien, très reconnu dans l'ensemble de la moyenne vallée du Draa, peut avoir comme origine soit la dissolution soit la concentration par évaporation dans les zones d'affleurement ou de sub-affleurement des nappes. En effet, les ions  $SO_4$  peuvent avoir comme origine, la dissolution des schistes pyriteux ou encore des gypses diffus dans des alluvions essentiellement limoneux du Soltanien dont les dépôts ont une origine probable des argiles salifères triasiques du bassin de Ouarzazate.

L'abondance relative des ions de chlorures et de sulfates peut laisser admettre une percolation ponctuelle des eaux d'irrigation chargées d'engrais. En plus, l'augmentation du taux de nitrates dans certains points caractéristiques peut être liée à une pollution d'origine organique. D'autre part, à l'intérieur de la nappe, la teneur de chaque élément n'est pas constante. Avec des concentrations en ions  $Na^+$  et  $Cl^-$ , plus importantes à mesure que la salinité totale croit. En contre partie, la concentration en ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  n'est pas trop faible, ce qui a pour effet de contrecarrer dans le sol de la palmeraie de Fezouata, l'effet du sodium et donc d'atténuer le risque de sodicité que peut engendrer celui-ci, qui utile à faible dose, devient nocif lorsque sa teneur s'accroît.

#### Résidu sec

Suite aux résultats de la campagne de juillet 2000, les valeurs du sec enregistrées varient entre un minimum de l'ordre de 0,7g/l et un maximum de l'ordre de 9,3g/l. La moyenne des valeurs obtenues s'établit à 4g/l.

Au niveau de cette nappe, la salinité des eaux souterraines augmente de l'amont vers l'aval dans le sens de l'écoulement, ce qui permet d'avancer que ces eaux se minéralisent au fur et à mesure de leur progression. A partir de la prospection du terrain, il a été remarqué qu'au-dessus de la nappe, des zones incultes à efflorescences blanchâtres s'individualisent à l'approche du *foums* aval et des

zones basses où le niveau piézométrique est proche du sol. Ce qui laisse croire à une évolution verticale de la salinité en sens inverse de la profondeur des nappes étudiées. Or la confrontation : RS - profondeur totale atteinte par les piézomètres prospectés, a pu mettre en évidence une évolution verticale de la salinité dans le même sens que la profondeur des eaux. En effet, plus la profondeur des puits augmente jusqu'à atteindre le substratum schisteux plus la salinité augmente, ce-ci peut être expliqué par le faible lessivage et drainage vertical des eaux ainsi que les faibles échanges en profondeur qu'en surface. En effet, la nature imperméable du substratum et l'abondance des passées argileuses entravent le lessivage et le drainage des eaux, ainsi que leur renouvellement en profondeur.

### *LE pH*

Au niveau de la nappe de Fezouata, la valeur minimale du pH enregistrée, est de l'ordre de 6,91. La moyenne de l'ensemble des valeurs obtenues s'établit aux environs de 7,3 ; ce qui est en faveur d'un pH modérément basique. L'écart entre les valeurs extrêmes observées est inférieur à un. Au voisinage des seuils amont et *foums* aval de nature quartzitique, le pH diminue et acquière un caractère légèrement acide. Par contre, de part et d'autre de ces deux resserrlements, la basicité du pH peut être liée à l'abondance des ions sodiques et leur effet alcalinisant.

### *La température*

Dans le cadre de cette étude, des mesures in-situ de température de l'air et de l'eau souterraine en certains piézomètres au niveau de Fezouata ont été effectuées au mois de juillet. Il en ressort que : La température des eaux souterraines de la nappe de Fezouata varie entre 35°C et 24°C. La moyenne générale des valeurs obtenues est de 26,6°C au Fezouata, ce qui est inférieur à la température moyenne de l'air. A l'échelle verticale, les eaux circulant à faible profondeur ont des températures sensiblement plus élevées que celles circulant à des profondeurs plus grandes. Toutefois, cette constatation n'est pas généralisée pour l'ensemble de la nappe étudiée.

### *La conductivité électrique*

Au niveau de la nappe de Fezouata, la conductivité électrique varie entre un maximum de l'ordre de 12,12ms/cm et un minimum de 1,03ms/cm. La moyenne générale obtenue est de l'ordre de 5,56ms/cm. A l'intérieur de cette nappe, ces valeurs sont généralement croissantes de l'amont vers l'aval dans le sens de l'écoulement. En général, ce paramètre évolue en même sens que les résidus secs.

### *Le S.A.R.*

La valeur minimale du S.A.R. enregistrée est de l'ordre de 1,7 alors que le maximum enregistré est de l'ordre de 14,3. La moyenne des valeurs enregistrées est de l'ordre de 6,8.

A l'intérieur de la nappe, le S.A.R. croit de l'amont vers l'aval. Ce qui permet d'avancer que ces eaux se chargent en sodium au fur et à mesure de leur progression. D'autre part, et à partir des résultats du diagramme de Riverside, il ressort que la majorité des eaux des deux nappes appartient aux catégories présentant des dangers de salinisation et d'alcalinisation des sols. Avec par endroit un risque alcalin faible à moyen.

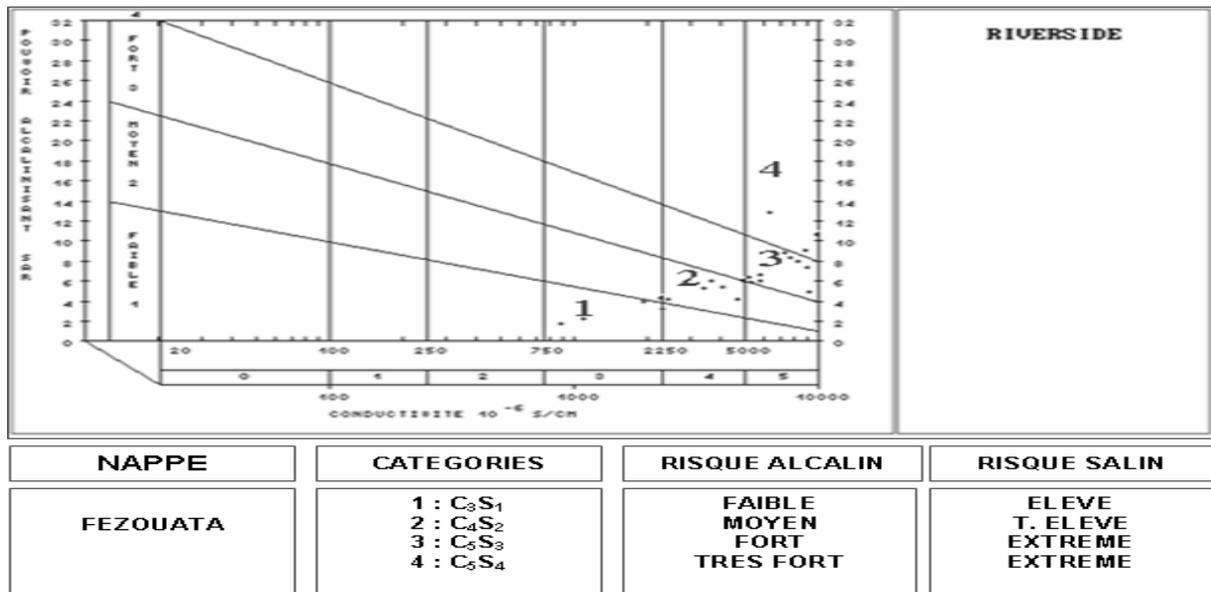


Fig. 6 : Composition chimique des eaux souterraines de la nappe de Fezouata

## CONCLUSION

Au terme de cet article on peut globalement constater que :

- L'utilisation du S.I.G. a permis l'archivage et la saisie des données hydrogéologiques, géologiques et environnementales associées, leur analyse spatiale et leur restitution cartographique.
- Une organisation structurée des données dans un S.I.G. favorise la comparaison de données acquises au cours de campagnes différentes, la réalisation de synthèses hydrogéologiques selon les besoins, et aide à la préparation des futures campagnes hydrogéologiques.

D'autre part, on peut admettre que :

- D'un point de vue hydro-climatologique : le climat méditerranéen désertique à la limite de l'aridité et de l'hyperaridité ainsi que les apports en eaux superficielles très limités font que l'irrigation est obligatoire pour toute culture dans l'ensemble de la vallée et les besoins en eau se font sentir durant toute l'année.
- D'un point de vue aménagement hydro-agricole : la mise en service du grand barrage Mansour Ed Eddahbi, a contribué à une manifeste amélioration des aires annuellement cultivables dans le périmètre du Moyen Draa et d'en assurer l'irrigation. Ce qui a pu réduire l'exode vers les grandes villes, particulièrement en période de sécheresse. L'objectif principal de l'édification de ce grand ouvrage était donc l'irrigation des palmeraies du Moyen Draa avec une dotation de 250 Mm<sup>3</sup>/an pour satisfaire les besoins en eau de 19000 ha seulement. Actuellement, le total des parcelles équipées et destinées à l'irrigation est estimé à 26 118 ha, d'où la nécessité d'augmenter cette dotation ou encore améliorer les techniques d'irrigation pratiquées dans ces régions, en incitant les usagers à adopter des techniques modernes et économiques de l'eau pour cette fin. D'autre part, et dans l'absence de périmètres de protection rapproché et éloigné bien délimités de cet ouvrage, la qualité des eaux de la retenue est inévitablement exposée à de graves risques de dégradation, surtout dans l'absence de station de traitement des eaux usées de la ville de Ouarzazate ainsi que la proximité de nombreux puits perdus dans les douars aux alentours de cette ville. Actuellement les eaux usées de la ville de Ouarzazate sont directement déversées dans le lit de l'oued Ouarzazate, principal affluent du Draa en tête de la retenue du barrage.
- D'un point de vue hydrogéologique : la recharge importante de la nappe alluviale de Fezouata particulièrement par reinfiltation des eaux de l'irrigation combinée à la forte évaporation a

contribué à une salinisation des eaux souterraines et les sols. Ces eaux participent à 64% dans la recharge de la nappe.

- D'un point de vue hydro-chimique : Au terme de cette étude, il est possible de considérer globalement que de nombreux facteurs naturels et anthropiques ont contribué à la salinisation des eaux de la nappe alluviale de Fezouata ainsi que le reste des six nappes phréatiques du Moyen Draa. A l'intérieur de chaque nappe, l'augmentation de cette salinité peut se manifester de l'amont vers l'aval en sens longitudinal, du centre vers les bordures dans le sens latéral et de la surface vers le fond en sens vertical.

Le résultat des analyses effectuées dans le cadre de cette étude (état de Juillet 2000) ainsi que celles effectuées lors des études antérieures, montre que les eaux souterraines de la dite nappe sont dures à très dures et de potabilité médiocre à mauvaise. Ces eaux sont fortement chargées en chlorures de sodium. En effet, pour tous les piézomètres prospectés, la concentration en ions NaCl, est bien supérieure à 4meq/l. Ce qui rend les eaux souterraines de cette nappe inutilisables pour l'irrigation exclusive des cultures, essentiellement les cultures pérennes tels que les arbres fruitiers, vu leur sensibilité aux chlorures de sodium qui sont très abondants. Aussi, le recours aux eaux souterraines pour l'irrigation ne doit-il se faire qu'en cas de nécessité absolue. Une fois les eaux de surface s'avèrent disponibles, il faut aussitôt lessiver le sol par une quantité d'eau superficielle supplémentaire. Enfin, dans l'absence d'un bon système de drainage et des exutoires à l'aval de la nappe étudiée, le renouvellement des tranches aquifères demeure insuffisant, ce qui contribue à une évolution quasi – irréversible de la salinité des eaux et les sols.

Suite aux données recueillies dans le cadre de cette note, certaines propositions peuvent être prises en considération afin de mieux cerner la connaissance de cet aquifère étudié. Ainsi

⇒ Afin d'éviter les recharges de la nappe, recharges souvent engendrées par les lâchers du barrage Mansour Ed Eddahbi, ainsi que la pratique d'une irrigation massive et mal menée, il faut :

- Installer un bon système de drainage. Le lessivage naturel par les eaux précipitées n'est pas suffisant voire même sans effet à long terme. Les sels lessivés vers les nappes souterraines regagnent rapidement la surface du sol soit par pompage soit par remontée capillaire ;
- Assurer une meilleure gestion et planification de la distribution des eaux. Pour cela, il faut avoir une bonne connaissance sur les besoins en eau d'irrigation, ce qui permettra d'éviter l'utilisation abusive et irrationnelle de grandes quantités d'eau qui se reinfiltrent à partir des parcelles irriguées.

⇒ Devant la rareté des eaux superficielles ainsi que le coût de leur mobilisation, il faut penser à une mise en valeur des eaux souterraines salées, éviter les pertes des résurgences de la nappe et prévoir un système de récupération des ces ressources.

⇒ Dans le but de fournir un schéma récapitulatif de la gestion de l'exploitation de cet aquifère, il faut réaliser une modélisation du système aquifère. Or là encore, de nombreux problèmes se présentent, particulièrement l'absence de données indispensables permettant de mieux définir la géométrie exacte de la nappe ainsi que la répartition spatiale des principaux paramètres hydrodynamiques (transmissivité et coefficient d'emménagement), de la profondeur du substratum, de l'épaisseur de la nappe ainsi que des points de prélèvements et des résurgences. Pour cela, il faut :

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Cherkaoui Dekkaki H.(2001). Contribution à l'étude hydrogéologique des nappes alluviales de Fezouata et Ktaoua (Moyenne vallée du Draa). Mémoire de D.E.S.A. (E.M.I. - Rabat) ;  
Chamayou J. (1966). Etude hydrogéologique de la moyenne vallée du Draa. Thèse de doctorat. Université de Montpellier ;  
ORMVA (1999) : Etude de la salinité du Draa : Rapport interne, Office de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate