

Tableau 16 : Bilan hydrique à la station des Salines pour la période (1981-2013).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23.1	10.2	1.0	105.9	39.0	-66.9	-0.6	0.0	0.0	39.0	66.9	0.0
O	20.0	8.2	1.0	76.3	72.0	-4.3	-0.1	0.0	0.0	72.0	4.3	0.0
N	15.6	5.6	0.9	42.8	83.3	40.6	0.9	40.6	40.6	42.8	0.0	0.0
D	13.0	4.3	0.8	28.6	117.0	88.3	3.1	59.4	100.0	28.6	0.0	28.9
J	11.3	3.4	0.9	23.6	99.6	76.0	3.2	0.0	100.0	23.6	0.0	76.0
F	11.3	3.4	0.9	23.0	81.5	58.5	2.5	0.0	100.0	23.0	0.0	58.5
M	13.1	4.3	1.0	37.1	68.0	30.9	0.8	0.0	100.0	37.1	0.0	30.9
A	15.3	5.5	1.1	52.8	56.0	3.2	0.1	0.0	100.0	52.8	0.0	3.2
M	18.4	7.2	1.2	81.0	37.3	-43.7	-0.5	-43.7	56.3	81.0	0.0	0.0
J	22.0	9.4	1.2	114.6	12.3	-102.2	-0.9	-56.3	0.0	68.6	46.0	0.0
J	25.2	11.6	1.2	149.8	2.4	-147.4	-1.0	0.0	0.0	2.4	147.4	0.0
A	25.8	12.0	1.2	146.7	9.0	-137.7	-0.9	0.0	0.0	9.0	137.7	0.0
Annuel	17.9	85.0		882.0	677.2	-204.9				479.7	402.3	197.4

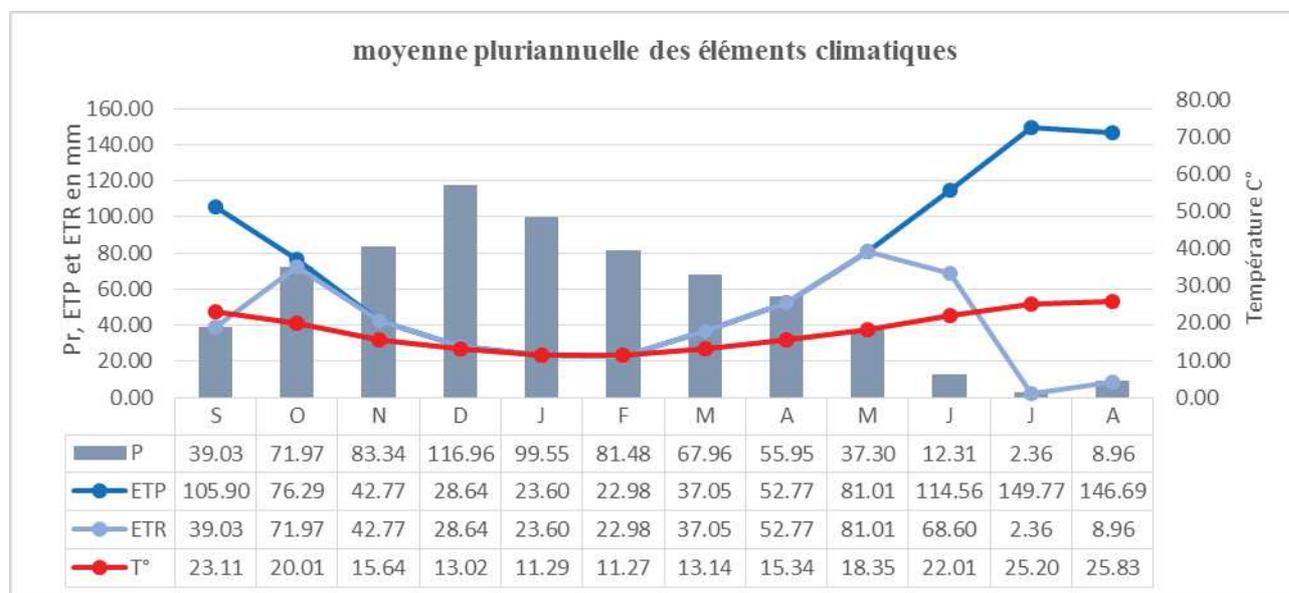


Figure 25 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques à la station des Salines pour la période (1981-2013).

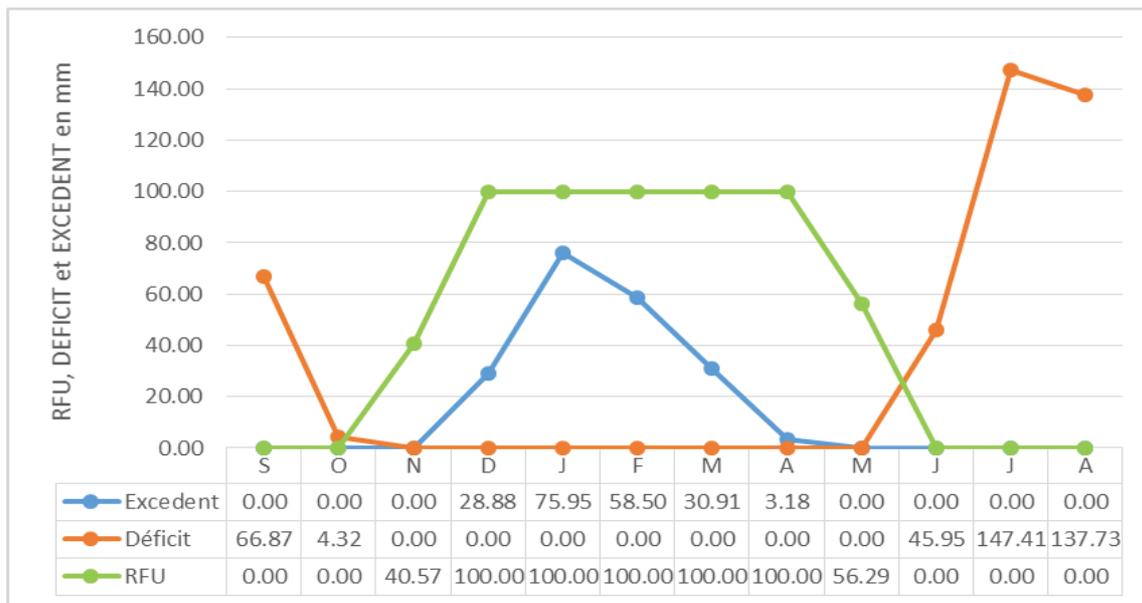


Figure 26 : Diagramme de la variation de la RFU, du Déficit Agricole et de l'Excédent à la station des Salines (1981-2013).

II. 5. 4. Comparaison des résultats des trois méthodes

Selon les résultats des trois méthodes de Turc, Coutagne et Thornthwaite (présentés dans le tableau N° 17), on distingue que les valeurs de l'ETR de ces trois méthodes sont assez proches.

Tableau 17 : Résultats des valeurs de l'ETR par les trois méthodes.

Station	Méthode	Turc	Coutagne	Thornthwaite
Berrahal		595.99	548.67	465.88
Ain Berda		563.72	518.46	469.98
les Salines		586.84	538.19	479.75

L'utilité de la comparaison réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes pour aboutir à une meilleure approche à l'estimation de l'E.T.R. Ce qui par la suite fera ressortir la formule qui est mieux appropriée dans le sous bassin du lac Fetzara.

La formule de Thornthwaite convient aux régions humides de la zone tempérée, contrairement à celle de Turc qui présente un caractère universel.

L'ETR est surestimée pour tous les mois de l'année par ailleurs, la méthode de Thornthwaite s'avère plus adaptée, puisqu'il y a similitude des conditions dans lesquelles a été émise avec celles qui règnent dans notre région d'étude.

II. 6. Estimation de la lame d'eau écoulee

II. 6. 1. Le ruissellement

Afin d'estimer le ruissellement, on doit appliquer la formule de Tixeront-Berckaloff qui est :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Sachant que :

P : Précipitation moyenne en m.

R : Ruissellement en m.

ETP : Evapotranspiration potentiel en m.

Tableau 18 : Le Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckalof.

Station	P (m)	ETP (m)	R(m)
Berrahal	0.6967	0.8768	0.1466
Ain Berda	0.6487	0.8651	0.1216
Salines	0.6772	0.8820	0.1330

II. 6. 2. Infiltration efficace

L'infiltration efficace est déduite de l'équation du bilan hydrique :

$$Ie = P - ETR - R$$

Tableau 19 : Les valeurs de l'infiltration efficace.

	P (mm)	ETR		R		Ie	
		(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%
Berrahal	696.75	465.88	66.86	146.65	21.05	84.22	12.09
Ain Berda	648.67	469.98	72.45	121.56	18.74	57.14	8.81
Salines	677.17	479.75	70.85	133.05	19.65	64.38	9.51

A partir du tableau N° 19, on remarque que l'infiltration efficace (I_e) varie d'une région à l'autre, elle est importante dans la région de Berrahal qui est la région la plus proche géographiquement de notre zone d'étude.

II. 6. Evaluation de la sécheresse météorologique

La région du sous bassin versant du lac Fetzara recèle des potentialités hydriques importantes, Les ressources en eaux superficielles sont constituées par les eaux de surface tel que : les cours d'eau et l'étendue libres (le lac). Les principaux oueds qui drainent notre bassin sont l'oued Zied dans la partie Nord-Est , l'oued El Hout dans partie Sud et l'oued El Mellah dans la partie Ouest, ainsi que leurs affluents, qui sont moins importants mais qui jouent un rôle complémentaire dans l'écoulement superficiel, l'alimentation et surtout le drainage des nappes superficielles, Cette région renferme également des ressources en eau souterraines (Foufou A 2008., Habes S 2012., Zahi F.2014).

L'apport de la surveillance et le diagnostic de la sécheresse hydrique est intéressant dans l'étude hydro-climatologique (Djellouli F. 2016., Benaissa A. 2017., Haied N. 2017), les calculs ont été basés sur les données climatiques enregistrées sur une période de 44 ans.

II. 6. 1. Définition de la sécheresse

La sécheresse est un phénomène naturel récurrent associé à une disponibilité déficitaire des ressources en eau sur une grande zone géographique et s'étend sur une période de temps considérable (Rossi G., 2000).

II. 6. 2. La Classification de la sécheresse

Les sécheresses sont généralement classées en quatre catégories (Wilhite, D.A., et al 1985) qui inclut :

- **La sécheresse météorologique** : définie comme un manque de précipitations sur une région pendant une période de temps (Pinkeye, S., 1966).
- **La sécheresse hydrologique** : est liée à une période de sécheresse touchant les ressources hydriques superficielles et souterraines ce qui les rend insuffisantes pour les diverses utilisations de l'eau données par un système de gestion des ressources en eau (Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G., 1980).
- **La sécheresse agricole** : en général, se réfère à une période avec une baisse de l'humidité du sol résultant une mauvaise récolte, sans aucune référence aux ressources en eau de surface (Haied N. 2017).

- **La sécheresse socio-économique** : est associée à l'échec des systèmes de ressources en eau pour répondre à la demande en eau résultant des sécheresses associées à l'offre et à la demande d'un bien économique (eau) . (AMS ., 2004).

II. 6. 3. Les indices de sécheresse

Il existe plus de 150 indices de sécheresse (Zargar A. et al. 2011). Un certain nombre d'indices a été développés pour quantifier la sévérité de la sécheresse, chacun avec ses propres forces et faiblesses (Mishra AK. et al 2010). Ils comprennent l'indice de sécheresse de Palmer, l'indice d'anomalie des précipitations, les déciles, l'indice d'humidité des cultures, l'indice la sécheresse de Bhalme et Mooly, l'indice d'approvisionnement en eau de surface, l'indice des précipitations nationales, l'indice des précipitations normalisés, l'indice de réclamation de la sécheresse et l'indice de reconnaissance de la sécheresse.

Afin d'évaluer et surveiller la sécheresse météorologique dans le but de prouver l'existence et d'adopter le meilleur scénario pour un essai de gestion, notamment, celle des infrastructures telles que les centres d'enfouissement techniques. On va utiliser l'Indice des précipitations normalisées (SPI) et l'Indice de reconnaissance de la sécheresse (RDI), le premier indice se base sur les précipitations moyennes mensuelles seulement et le second en plus des précipitations moyennes mensuelles, il se base aussi sur l'évapotranspiration potentielle déterminée à l'aide des températures moyennes mensuelles.

II. 6. 4. Evaluation et surveillance de la sévérité de la sécheresse

En raison de l'augmentation de la demande en eau et du changement climatique imminent, ces dernières années ont été particulièrement axées sur les scénarios de sécheresse dans le monde. Comme un risque naturel, la sécheresse est mieux caractérisée par de multiples paramètres pour définir le type de sécheresse (météorologiques, hydrologiques, agricoles ou socio-économique).

Dans notre étude la sécheresse va être étudiée dans le but de prouver son existence, et pour évaluer l'étendue sur le plan temporelle.

II. 6. 4. 1. Les caractéristiques de la sécheresse météorologique

- A- La durée :** selon la région, la durée de la sécheresse peut varier d'une semaine à quelques années. En raison de la nature dynamique de la sécheresse, une région peut subir des sorts humides et secs simultanément en tenant compte des différents pas de temps (NCDC. 2010).
- B- L'intensité :** c'est le rapport de la magnitude de la sécheresse par sa durée.
- C- La sévérité :** deux usages sont prévus pour la sévérité de la sécheresse : le degré du déficit de précipitation, ou le degré d'impact résultant du déficit (Wilhite, D.A. 2004).
- D- La fréquence (période de retour) :** la fréquence ou la période de retour d'une sécheresse est définie comme le temps moyen entre les événements de sécheresse qui ont une gravité égale ou supérieure à un seuil.

II. 6. 4. 2. Les indices de la sécheresse météorologique

Les indices de sécheresse météorologiques sont des mesures quantitatives qui caractérisent les niveaux de sécheresse en assimilant les données d'une ou plusieurs variables comme la précipitation et l'évapotranspiration en une seule valeur numérique (Mishra AK. 2010).

Il n'existe pas d'indice unique pouvant prévoir la sécheresse, les indices de sécheresse météorologiques simplifient les fonctions climatiques complexes et peuvent quantifier les anomalies climatiques quant à leur sévérité, leur durée et leur fréquence.

Parmi les indices météorologiques les plus connus il y a l'indice des précipitations normalisées (SPI) et l'indice de la reconnaissance de la sécheresse (RDI), ces deux indices vont être utilisés dans notre étude.

a- L'indice des précipitations normalisées

Le S P I dérivé du mot anglais Standardized Precipitation Index, c'est l'indice météorologique le plus connu, il est basé uniquement sur les données des précipitations. Il compare les précipitations avec leurs moyennes pluriannuelles et peut être calculé pour n'importe quelle zone. Une sécheresse sévit lorsque le SPI est consécutivement négatif et sa valeur atteint une intensité inférieure de -1, la durée sèche se termine lorsque le SPI devient positif. (McKee TB, 1993).

Parmi ces avantages, il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps ainsi qu'il présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents, par contre il ne repose que sur les relevés des précipitations et ne permet pas le calcul du rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP).

Le calcul de cet indice se fait à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{SPI} = (\text{pi} - \text{pm})/\sigma$$

Sachant que :

Pi : est la Précipitation de l'année i ;

Pm : la Précipitation moyenne ;

σ : la Déviation standard ou écart type.

Tableau 20 : Valeurs de l'indice SPI.

2.0 et plus	Extremement humide
De 1.5 à 1.99	Très humide
De 1.0 à 1.49	Modérément humide
De -0.99 à 0.99	Proche de la normale
De -1.0 à -1.49	Modérément sec
De -1.5 à -1.99	Très sec
-2 et moins	Extremement sec

Source : l'organisation météorologique mondiale.

Tableau 21 : Probabilité d'occurrence.

Indice SPI	Catégorie	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
De 0 à -0.99	Légère sécheresse	33	1 fois tous les 3 ans
De -1.00 à -1.49	Sécheresse modérée	10	1 fois tous les 10 ans
De -1.5 à -1.99	Grande sécheresse	5	1 fois tous les 20 ans
< -2.0	Sécheresse extrême	2	1 fois tous les 50 ans

Source : l'organisation météorologique mondiale.

b- L'indice de la reconnaissance de la sécheresse

Le R D I dérivé du mot anglais Reconnaissance Drought Index (Tsakiris G, et al 2005) ; il quantifie le déficit de précipitation pendant plusieurs pas de temps, précisément il se base sur les données de la précipitation et de l'évapotranspiration, il est calculé comme suit :

$$RDI = \frac{Y^{(i)} - \bar{Y}}{\hat{\sigma}_y}$$

Tableau 22 : Classification de la sécheresse selon les indices météorologiques SPI et le RDI. (Zarch MAA, et al 2011)

Catégories	Sécheresse météorologique	
	SPI	RDI
Extrêmement sec	≤ -2	$RDI < -2$
sévèrement sec	$[-1,5 \text{ à } -1,99]$	$-2 \leq RDI \leq -1,5$
Modérément sèche	$[-1 \text{ à } -1,49]$	$-1,5 \leq RDI \leq -1$
Ordinaire	$[-0,99 \text{ à } 0,99]$	$-0,5 \leq RDI \leq +0,5$
Modérément humide	$[1 \text{ à } 1,49]$	$+1 \leq RDI \leq +1,5$
Très humide	$[1,5 \text{ à } 1,99]$	$+1,5 \leq RDI \leq +2$
Extrêmement humide	$\geq +2$	$RDI > +2$

c- Evaporation potentielle (ETP) selon la Méthode de Thornthwaite

Thornthwaite (1948) a conçu une méthodologie pour estimer l' ET_0 pour une végétation courte avec un approvisionnement en eau adéquat dans certaines parties des États-Unis. La procédure utilise la température moyenne de l'air et le nombre d'heures de lumière du jour, et est donc classée comme méthode à base de température. L' ET_0 mensuel peut être estimé selon Thornthwaite (1948) par l'équation suivante :

$$Et_0 = ET_0 sc \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{dm}{30} \right)$$

II. 6. 4. 3. Evaluation et surveillance de la sévérité de la sécheresse météorologique

II. 6. 4. 3. 1. Corrélation entre le SPI et le RDI

L'analyse de la sécheresse et de la durée des séquences de sécheresse observées dans le sous bassin du lac Fetzara est réalisée selon les cinq pas de temps choisies 1, 3, 6, 9 et 12 mois dans la station météorologique des salines.

Le tableau 24 et la figure 26 représentent les valeurs moyennes du coefficient de la corrélation (R) entre le SPI et le RDI pour la station des Salines durant la période de 1972

jusqu'à 2016 et pour différentes échelles de temps, la valeur du coefficient de corrélation la plus faible est enregistrée pour le pas de temps trois (3) mois ($R = 0.89$), par contre la valeur la plus forte est de 0.97 pour le pas de temps 12 mois.

La corrélation est considérée comme parfaite quand le coefficient R prend des valeurs proches de 1, ce qui signifie que les deux indices utilisés sont bien adaptés à notre étude de sécheresse (Fig.27) (Tab.23).

Tableau 23 : Coefficient de corrélation entre le SPI et le RDI pour différents pas de temps.

Pas de temps	Coefficient de corrélation (R)
SPI 1 vs RDI 1	0.95
SPI 3 vs RDI 3	0.89
SPI 6 vs RDI 6	0.92
SPI 9 vs RDI 9	0.95
SPI 12 vs RDI 12	0.97

II. 6. 4. 3. 2. Interprétation des résultats

On peut identifier les années de sécheresse (sévérité, durée) à partir de l'SPI et l'RDI pendant la période de 1972 jusqu'à 2016 dans le sous bassin versant du lac Fetzara.

a- La sécheresse météorologique pour le court terme

Les figures (28 et 29) présentent la comparaison entre les SPI et les RDI pour la station des Salines dans la période de 1972 à 2016 pour le court terme (un pas de temps de 1 et 3 mois). Concernant la durée maximale de la sécheresse dans un pas de temps d'un mois, il est de 4 ans successifs entre 2003 et 2007 par contre au pas de 3 mois on observe deux séquences de sécheresse qui s'allongent de trois années consécutives, l'une de 1977 à 1980, l'autre de 1994 à 1997, Les SPI et les RDI montrent presque la même sévérité qui est une sévérité modérée à extrême. La sévérité maximale de la sécheresse s'observe respectivement durant la période allant de 1987 jusqu'à 1989 ($SPI = -2$), c'est une sécheresse extrême qui se répète tous les 50 ans selon le tableau N° 21.

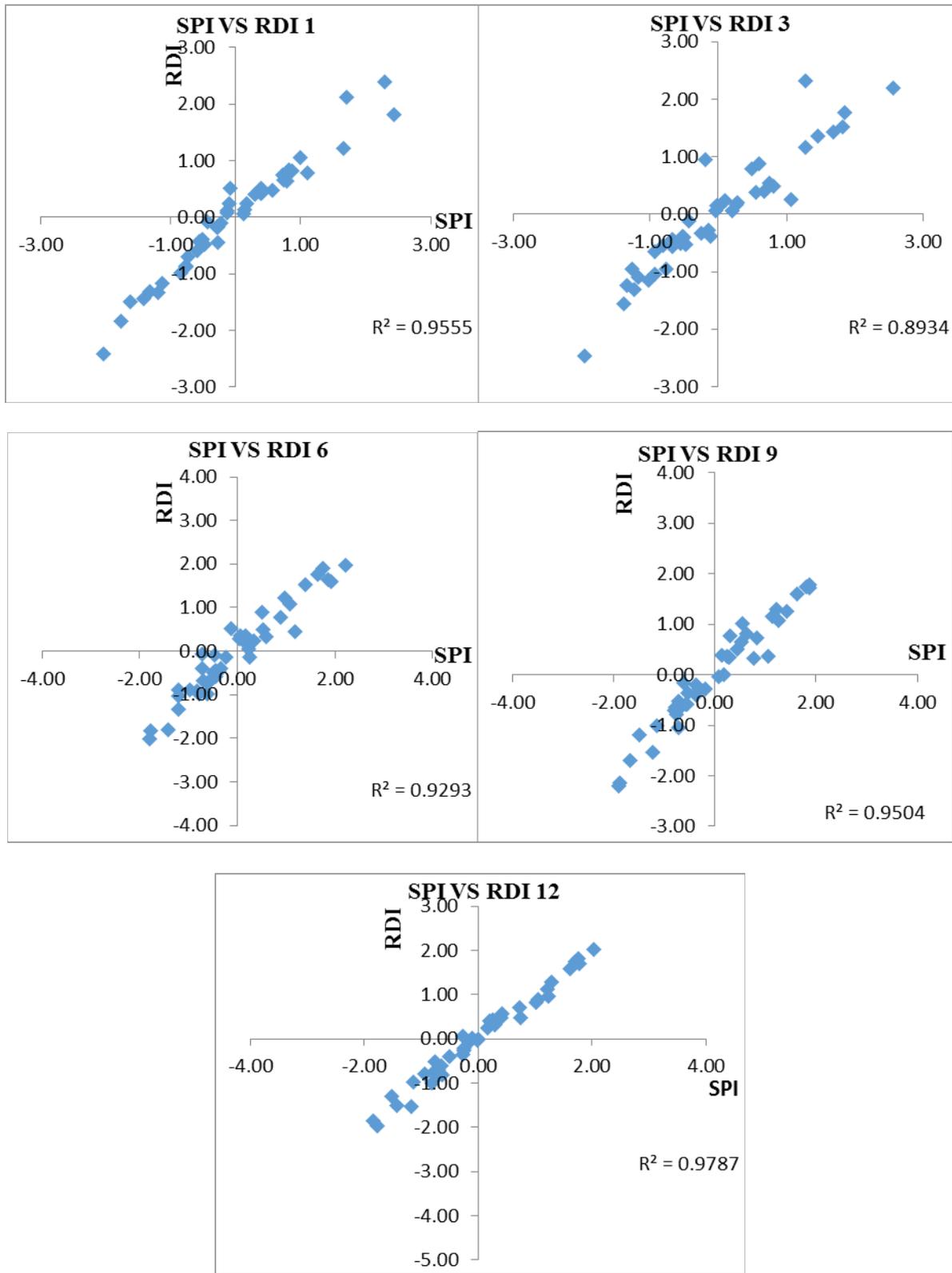


Figure 27 : Diagramme du coefficient de corrélation entre SPI et RDI pour la station des Salines (1972-2016).

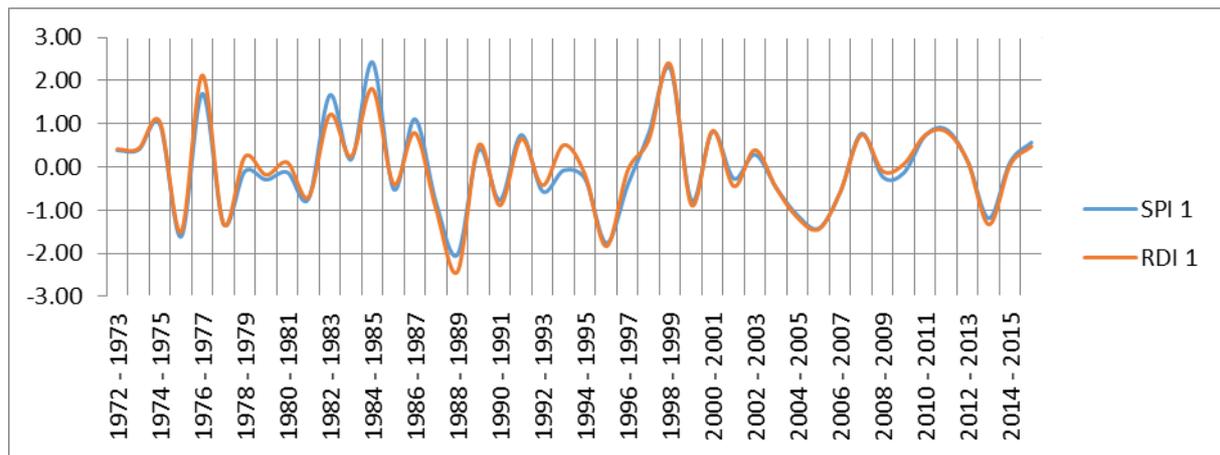


Figure 28 : Comparaison des SPI 1 et RDI 1 pour la station des Salines (1972-2016) avec un pas de temps de 1 mois.

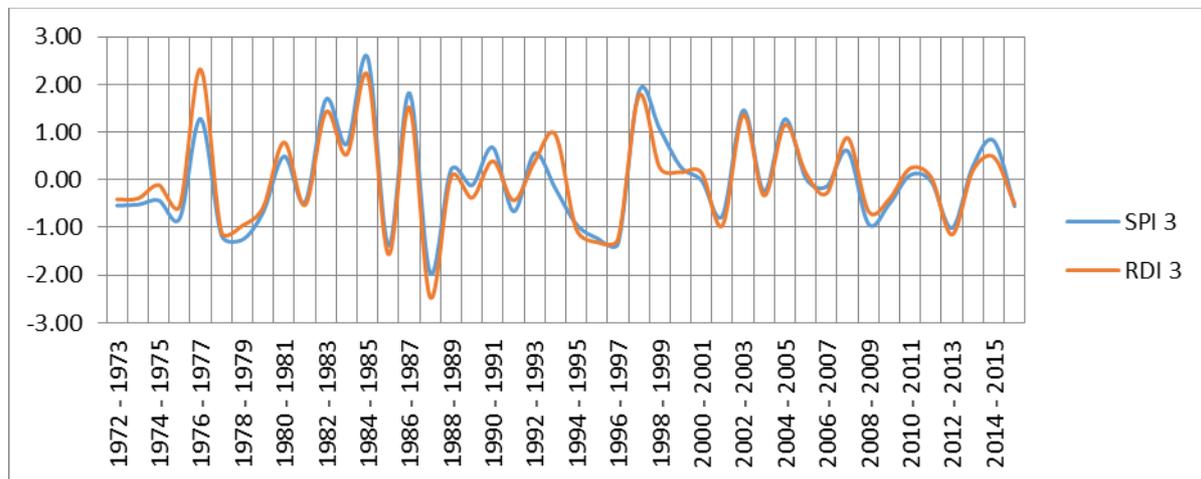


Figure 29 : Comparaison des SPI 3 et RDI 3 pour la station des Salines (1972-2016) avec un pas de temps de 3 mois.

b- La sécheresse météorologique pour le moyen et le long terme :

Selon les figures 30, 31 et 32 les SPI et les RDI à des pas de temps de 6, 9 et 12 mois (moyen et long terme) ont montré presque les mêmes durées de sécheresse.

Dans ces pas de temps les séquences de sécheresse les plus longues (3 années successives) s'observent durant les années 1973 à 1976, 1987 à 1990 et 1999 jusqu'à 2002 d'une sévérité modérée à extrême, cette sévérité est de -2 pendant les années 2001 à 2002 et 1973 à 1974 pour le pas de temps 9 et 12 mois respectivement. Concernant les années sèches nous avons recensé 10 ans secs pour les pas de temps 6, 9 et 12 mois.

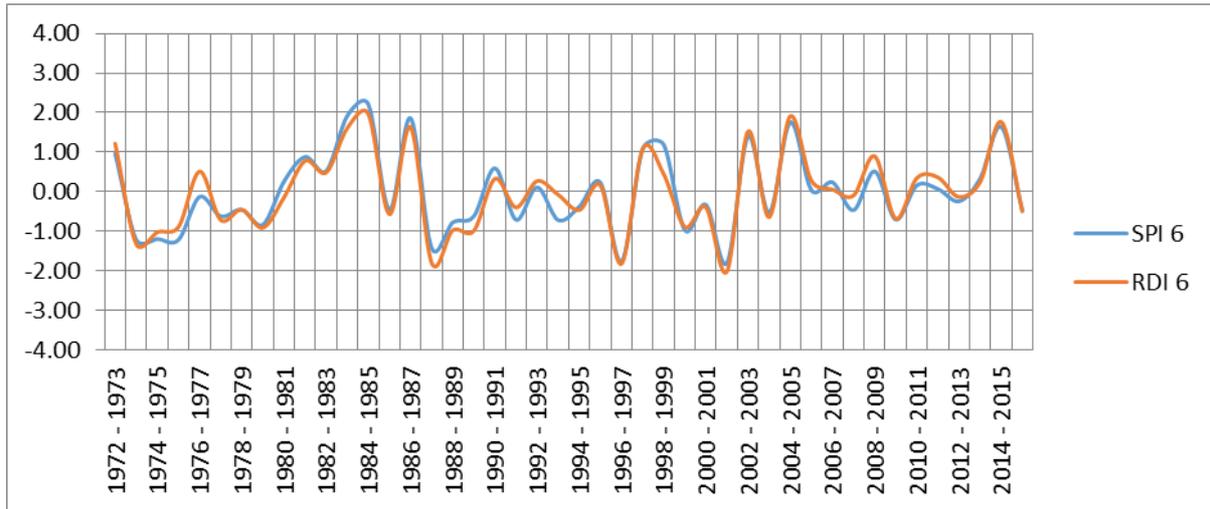


Figure 30 : Comparaison des SPI 6 et RDI 6 pour la station des Salines (1972-2016) avec un pas de temps de 6 mois.

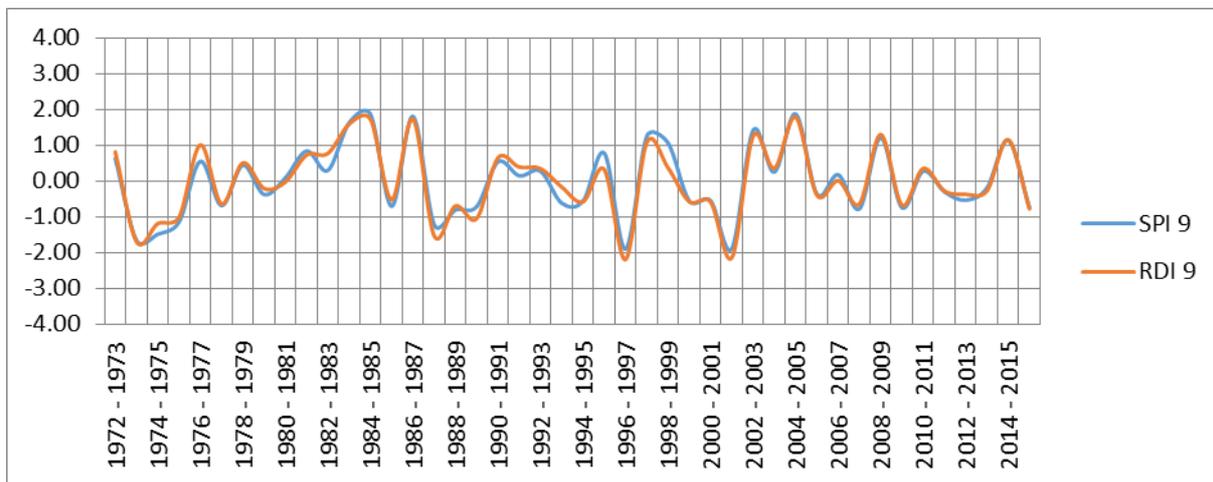


Figure 31 : Comparaison des SPI 9 et RDI 9 pour la station des Salines (1972-2016) avec un pas de temps de 9 mois.

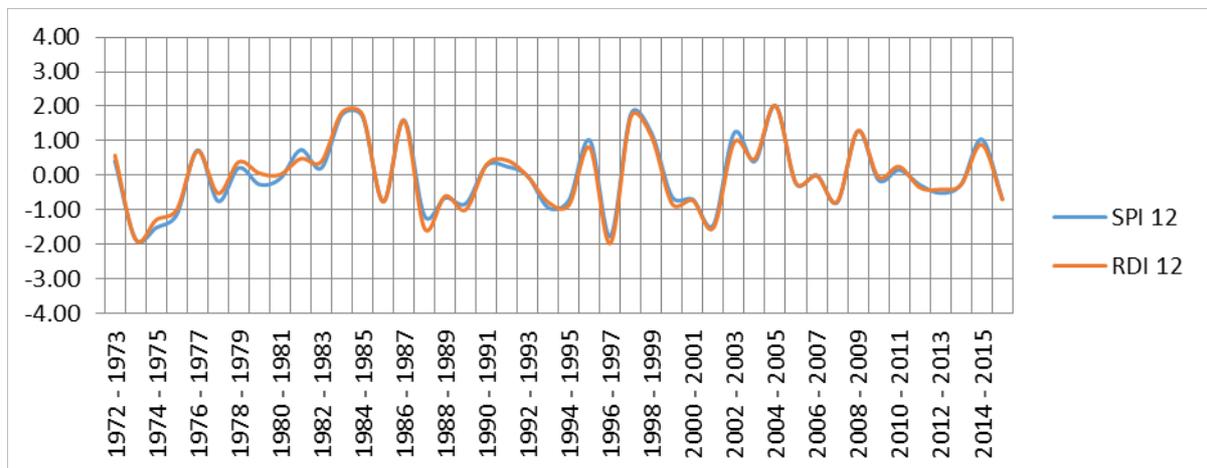


Figure 32 : Comparaison des SPI 12 et RDI 12 pour la station des Salines (1972-2016) avec un pas de temps de 12 mois.

A partir de cette surveillance et cette évaluation de la sécheresse météorologique dans le sous bassin versant du lac Fetzara, on peut distinguer que les deux indices montrent les mêmes durées de sécheresse. On ce qui concerne la sévérité de sécheresse le RDI présente des sévérités un peu plus élevées que celles présentées par le SPI.

On peut conclure que la période allant de 1987 à 2007 (30 ans) c'est la période la plus sèche ce qui traduit que notre région d'étude a connu une sécheresse pendant cette période.

II. 7. Conclusion :

D'une superficie de 515 km² le sous bassin du lac Fetzara (03-13) est drainé par trois cours d'eaux principaux (Oued Zied où Nord-Est, Oued El Mellah à l'Ouest et Oued El Hout où Sud) qu'ils convergent vers le marais et rejoignent la mer par un exutoire unique qui est le canal de drainage.

Les données climatiques attribuent à la région un climat méditerranéen Subhumide caractérisé par deux saisons distinctes l'une pluvieuse et humide et l'autre sèche et chaude.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 677.99 mm (Salines), 696.75 mm (Berrahal) et 648.67 mm (Ain Berda), et des températures annuelles moyennes de l'ordre de 17,91°C (Salines).

La formule du bilan hydrique de Thornthwaite montre que la majeure partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration (465.9 mm pour Berrahal, 470.0 mm pour la station de Ain Berda et 479.7 mm pour les Salines).

La reconstitution du stock commence à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum 100 mm de Décembre à Avril. Elle diminue à partir du mois de Mai jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Juin, caractérisant le déficit agricole (DA) qui s'étale à Cinq (5) mois (402.3 mm dans les Salines, 410.9 mm à Berrahal et 395.2 à Ain Berda).

La surveillance et l'évaluation de la sécheresse à l'aide des indices météorologiques le SPI et le RDI ont montré que les 3 périodes de sécheresse qu'a connu notre sous bassin d'une sévérité modérée à extrême concerne l'agriculture et l'hydrologie en même temps et que la région d'étude peut subir d'autres périodes de sécheresse dans le futur.

CHAPITRE III :
HYDROGEOLOGIE

III. 1. Introduction :

Pour un meilleur diagnostic de la pollution et une maîtrise de la ressource en eau, il est nécessaire d'identifier les différents systèmes aquifères, de bien connaître les caractéristiques hydrogéologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques des nappes rencontrées dans le sous bassin versant du lac Fetzara, ainsi que les processus qui conditionnent l'alimentation des nappes, le sens d'écoulement des eaux souterraines et les relations existantes entre les différents systèmes (Nappes-Oueds-Lac).

Selon la bibliographie et les études géologiques et hydrogéologiques effectuées antérieurement dans la région d'étude (Zenati N., et al., 2010, Zahi F., 2014, Khalfaoui H., 2007), l'examen de la carte hydrogéologique de la région d'Annaba nous a permis de distinguer que le sous bassin versant du lac Fetzara contient deux types de systèmes aquifères, dont les potentialités hydrauliques sont différentes et qui reflètent leurs caractéristique hydrogéologiques et hydrodynamiques, ainsi que leurs importances (Rouabhia A., et al., 2007).

III. 2. La nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle) :

La nappe superficielle est répandue sur la majorité de la plaine d'Annaba, (fig.33 et 34). D'après la géomorphologie de la région, nous pouvons diviser la nappe en deux régions communiquant entre elles à travers le cordon dunaire d'El Kantra, dont la texture est différente (sables).

- La région Est présente une nappe superficielle continue localisée dans la plaine Ouest d'El Hadjar ainsi que dans la région d'Allélick. Elle est limitée par les alluvions de haut niveau et les grès numidiens au Sud, le massif dunaire de Bouteldja au Nord, les argiles et les grès numidiens à l'Est et le cordon dunaire d'El Kantra à l'Ouest.

- La région Ouest est une nappe superficielle discontinue qui entoure le lac Fetzara. Elle est limitée par le Tell Nord Guelmien au Sud, le massif de l'Edough au Nord, le cordon dunaire d'El Kantra à l'Est et par la plaine de Guerbes à l'Ouest. La lithologie de cette nappe est constituée par des alluvions récentes (sables, limons, argiles) avec une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse. Elle est caractérisée par des valeurs de transmissivité oscillant entre $2.14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $4.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Zenati N., et al., 2010), son épaisseur varie entre 2 et 10 m, donc à potentialités hydrauliques très limitées. La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne d'ordre de 0.05 à 0.10 m/j.

La nappe superficielle est fortement exploitée par des puits surtout et quelques forages. L'alimentation de cette nappe se fait par les précipitations et par les crues des oueds (Zenati, N., 1999 ; Belhamra A., 2001).

III. 3. La nappe des gneiss altérés

Elle se localise dans la région Nord-Est du lac Fetzara, sur le flanc Est des massifs métamorphiques de Bouhamra et Beleleita (Fig.33 et 34). La nappe est alimentée par les eaux de pluie, son épaisseur moyenne est de 15 m. Elle est exploitée par des puits et des forages pour divers usages (industrie, élevage, alimentation humaine), avec un débit moyen des captages d'ordre de 2 l/s et elle est caractérisée par une perméabilité qui oscille entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s (DerradjiF., et al., 2005).

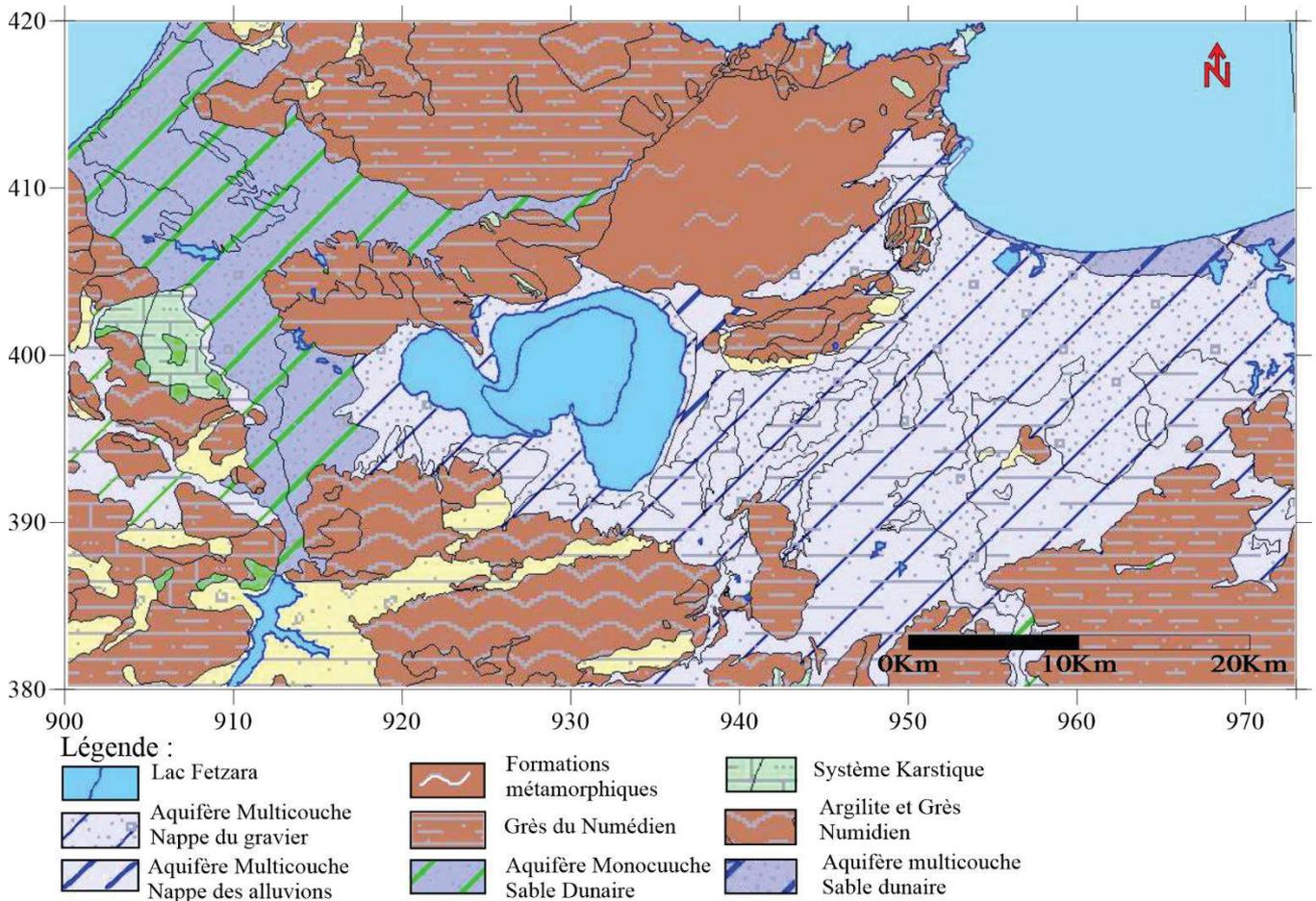


Figure 33 : Extrait de la carte hydrogéologique de l'Algérie du Nord. (ANRH, Département Hydrogéologie)

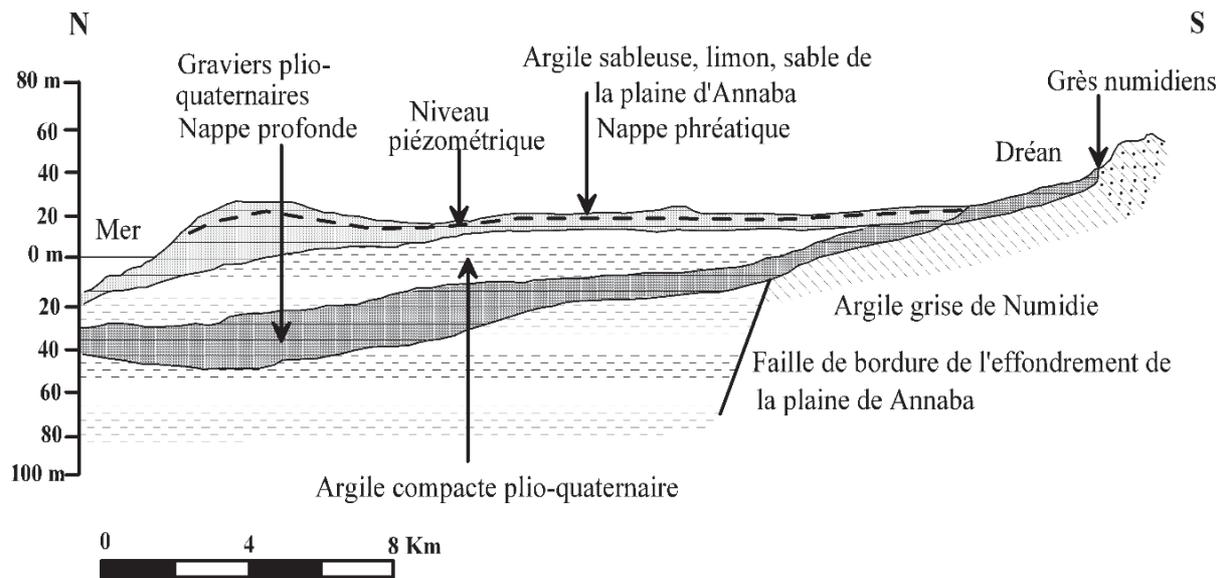


Figure 34 : Coupe schématique du système aquifère de la région d'Annaba. (In Derradji F., et al., 2005)

III. 4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe superficielle :

On estime généralement qu'un aquifère est très intéressant à exploiter si sa transmissivité est au moins égale à $150 \text{ m}^3/\text{j}/\text{m}$. Les résultats montrent que la transmissivité varie entre $2.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $4.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans la plaine Ouest d'El Hadjar (Ferroum A., 2015). En revanche, la nappe qui entoure le lac a une transmissivité variant entre $0.13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Foufou A., 2017, Habes S., 2012). A l'exception de certaines régions où la productivité est intéressante, la nappe présente dans l'ensemble une productivité très faible et ne peut être exploitée que pour l'irrigation. Le tableau 24 illustre la transmissivité et la perméabilité de quelques puits dans la nappe superficielle à l'Est du lac Fetzara.

Tableau 24 : Paramètres hydrodynamiques de quelques points situés dans la nappe superficielle des sables et graviers à l'Est du lac Fetzara. (D'après Zénati N., 1999)

Nappe superficielle des sables et graviers	Coordonnées (Lambert en m)		Transmissivité (m^2/s)	Perméabilité (m/s)
	X	Y		
	935600	395400	14×10^{-3}	/
	930200	403650	$0,17 \times 10^{-3}$	/
	929600	392700	$1,3 \times 10^{-3}$	/
	946000	405800	/	$8,5 \times 10^{-4}$
	949000	401100	/	14×10^{-4}
	950250	402900	/	$12,6 \times 10^{-4}$

III. 5. Les caractéristiques hydrodynamiques de la Nappe des cipolins :

A titre comparatif (insuffisance des données dans la zone de la plain de Oued Zied), le tableau 25 représente les principales caractéristiques hydrodynamiques des aquifères similaires dans la grande plaine d’Annaba (Fig. 35)

Tableau 25 : Paramètres hydrodynamiques de l’aquifère des Cipolins.

Aquifères	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)	Coefficient d’emmagasinement
Nappe des cipolins	5.10 ⁻³ à 5.10 ⁻⁵	10 ⁻⁶ à 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴

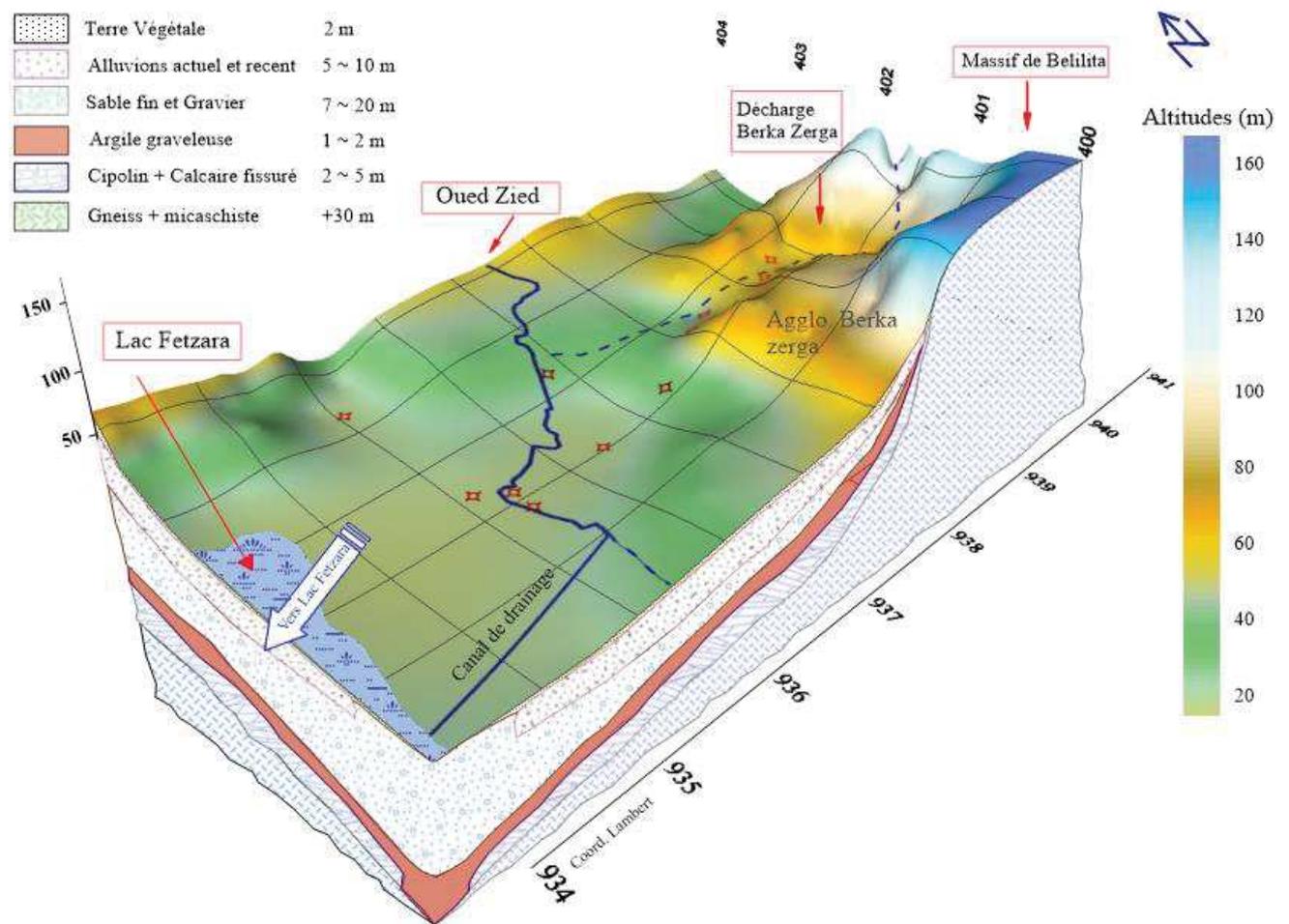


Figure 35 : Bloc-diagramme montrant les horizons aquifères de la plaine de l’Oued Zied.

III. 6. Etude de la piézométrie :

L’observation des cartes réalisées, nous montre d’après l’allure générale des courbes isopiezies que la nappe suit le modèle topographique (Fig.37). L’allure des surfaces piézométriques montre des zones d’alimentation au Nord, à l’Est et au Sud-est de la nappe. Elles sont caractérisées par des courbes isopiezies divergentes, donc, à concavité orientée vers l’amont

et à faible espacement. Ce dernier indique un écoulement rapide. L'écoulement souterrain diverge vers l'Ouest et vers le lac Fetzara. L'alimentation de la région Nord de la nappe s'effectue à partir des massifs de l'Edough et de Beleliétapar les précipitations atmosphériques.

Les interprétations des cartes piézométriques de la nappe superficielle (libre) de l'Oued Ziedmontrent une très forte interaction entre l'Oued, le lac et le système aquifère, deux types d'échanges semblant exister entre la nappe d'une part et le Lac et l'Oued d'autre part. Le premier met en évidence une alimentation du Lac par la nappe (débordement de la nappe) et l'Oued Zied, durant la période des hautes eaux, quant au second, il montre un drainage de la nappe par l'Oued Zied et par le lac Fetzara pendant les basses eaux, ce résultat coïncide avec les études faites par (RouabhiaA., et al., 2007; Zenati N., 1999 et 2010) dans cette région.

Les périodes de sécheresse enregistrées ont provoquées des extractions fortes d'eau dans les puits ce qui a provoqué des changements dans la direction de circulation de l'eau souterraine. En plus, la recharge provenant des précipitations a diminué aussi.

Les mesures piézométriques réalisées nous permettent de déterminer la réponse de la nappe aux précipitations enregistrées. A cet effet, nous avons comparé l'évolution du niveau piézométrique au niveau de quelques puits avec les précipitations mensuelles enregistrées au niveau de la station des Salines durant la période des mesures piézométriques (octobre 2005-Juin 2006), période durant laquelle nous avons une persistance de la sécheresse météorologique (Fig.36).

Le tableau 26 contenant les résultats obtenus montre que la surface piézométrique oscille entre 1.85 et 4.06 m de profondeur pendant la période des basses eaux (Novembre 2005), à cause de l'effet du pompage intensif dans certains puits à usages domestique et agricole. Cependant, cette profondeur est d'environ 0.6 et 1.9 m au cours de la période des hautes eaux (Mai 2006), grâce aux apports pluviométrique cumulant 460 mm durant les six (6) mois précédents. Durant cette période, le niveau piézométrique la nappe se confond avec la surface topographique dans la majorité des puits grâce à la saturation de la nappe. A la fin du mois de Juin 2006, et à cause des faibles apports pluviométrique (11mm), la profondeur augmente et varie entre 0.75 et 2.41 m (Tab.22).

Tableau 26 : Fluctuations de la profondeur de la surface piézométrique (Octobre 2005-Juin 2006).

Campagnes	NS (m)			Pluie (mm)
	Min	Max	Moy.	
Octobre 2005	1.8	4.05	3.3	40
Novembre 2005	1.85	4.06	3.3	60
Décembre 2005	1.15	3.9	2.6	154.2
Janvier 2006	0.6	2.4	1.2	146.2
Février 2006	0.61	2.1	1.2	73.9
Mars 2006	0.6	2	1.1	34.8
Avril 2006	0.65	1.92	1.1	26.1
Mai 2006	0.65	1.9	1.1	25
Juin 2006	0.75	2.41	1.3	11.3

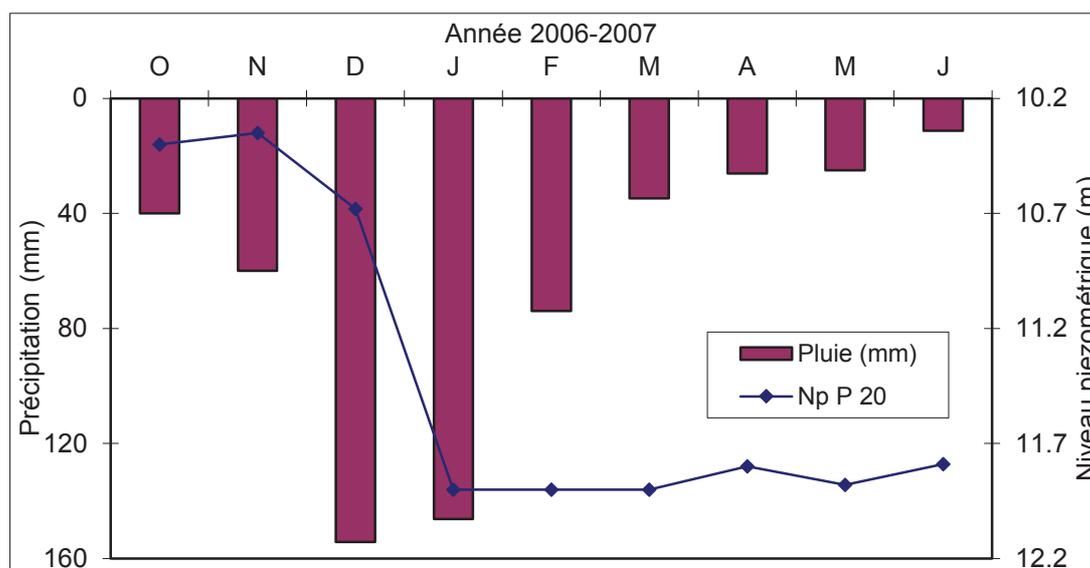


Figure 36 : Variation de la profondeur de la surface piézométrique en fonction des précipitations (2006-2007).

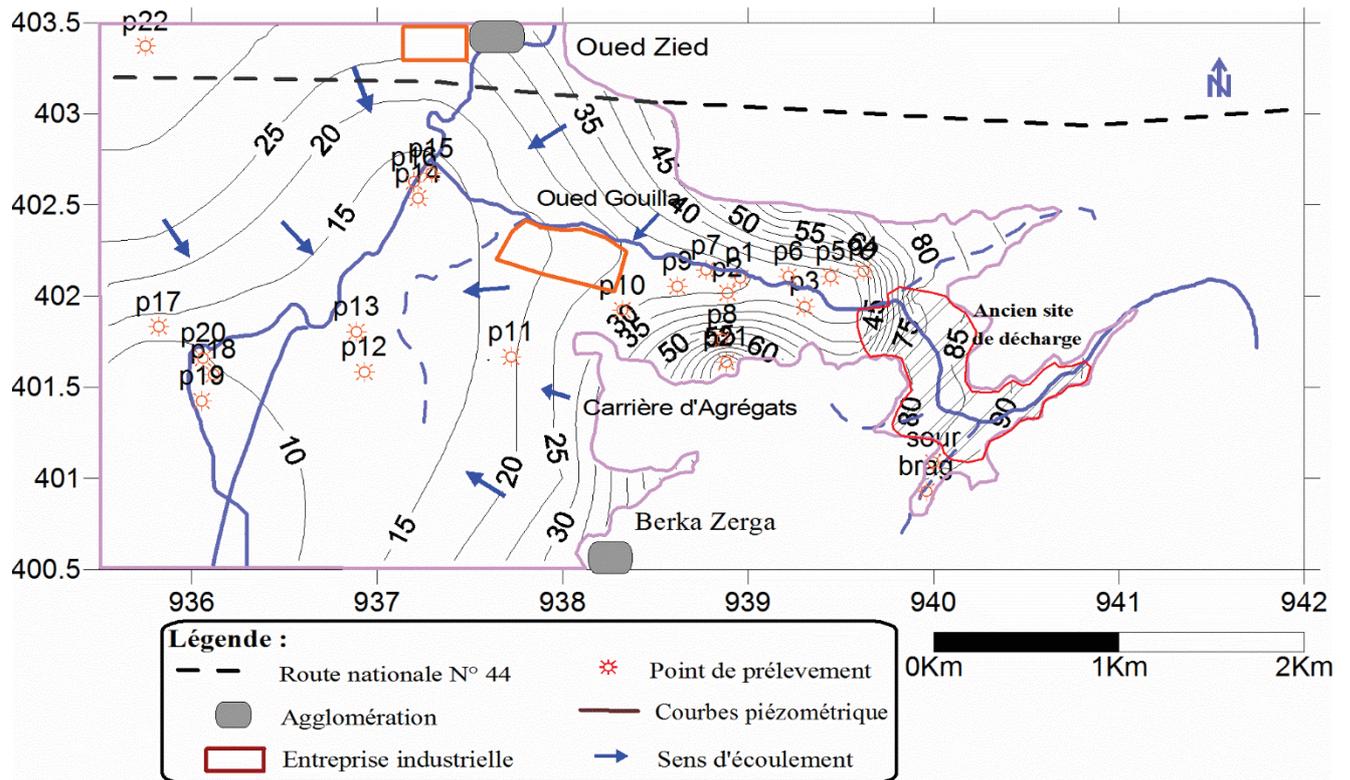


Figure 37 : Carte piézométrique du mois d'Octobre 2005.

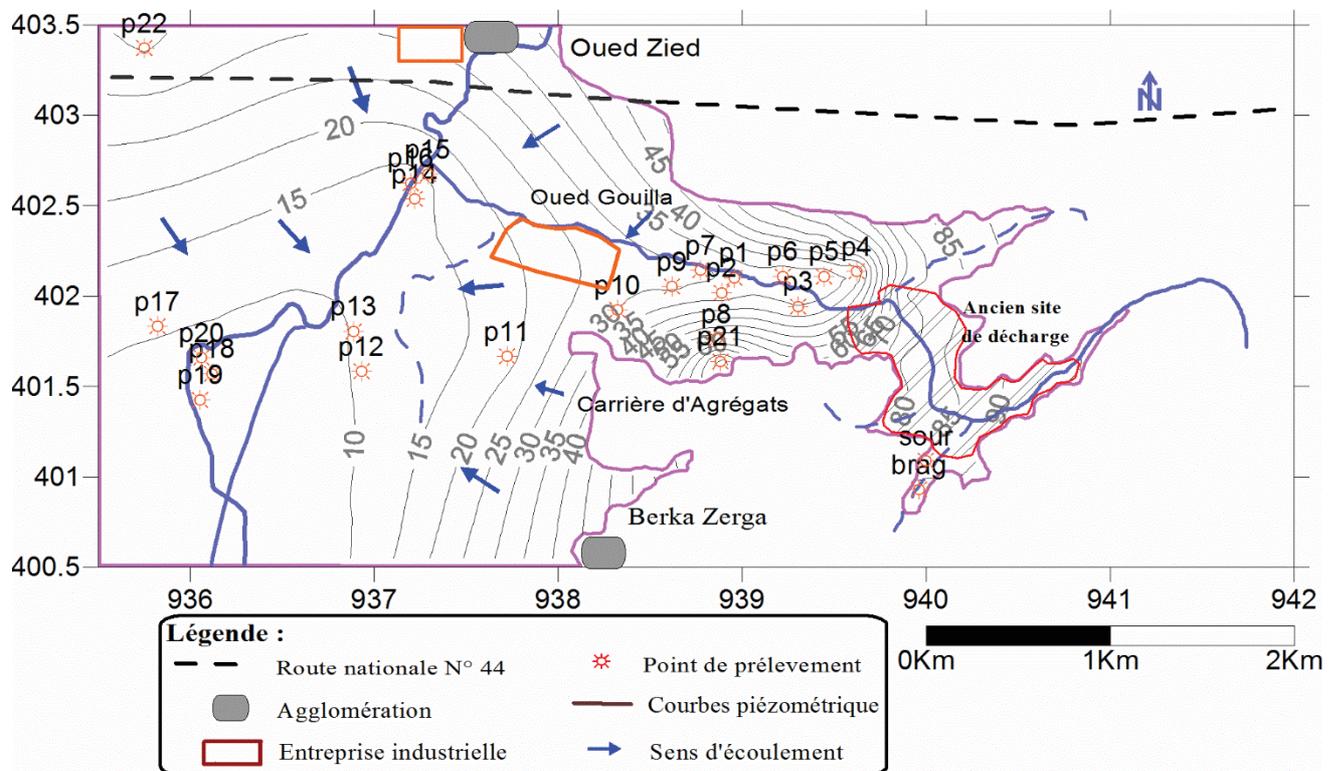


Figure 38 : Carte piézométrique du mois de Décembre 2005.

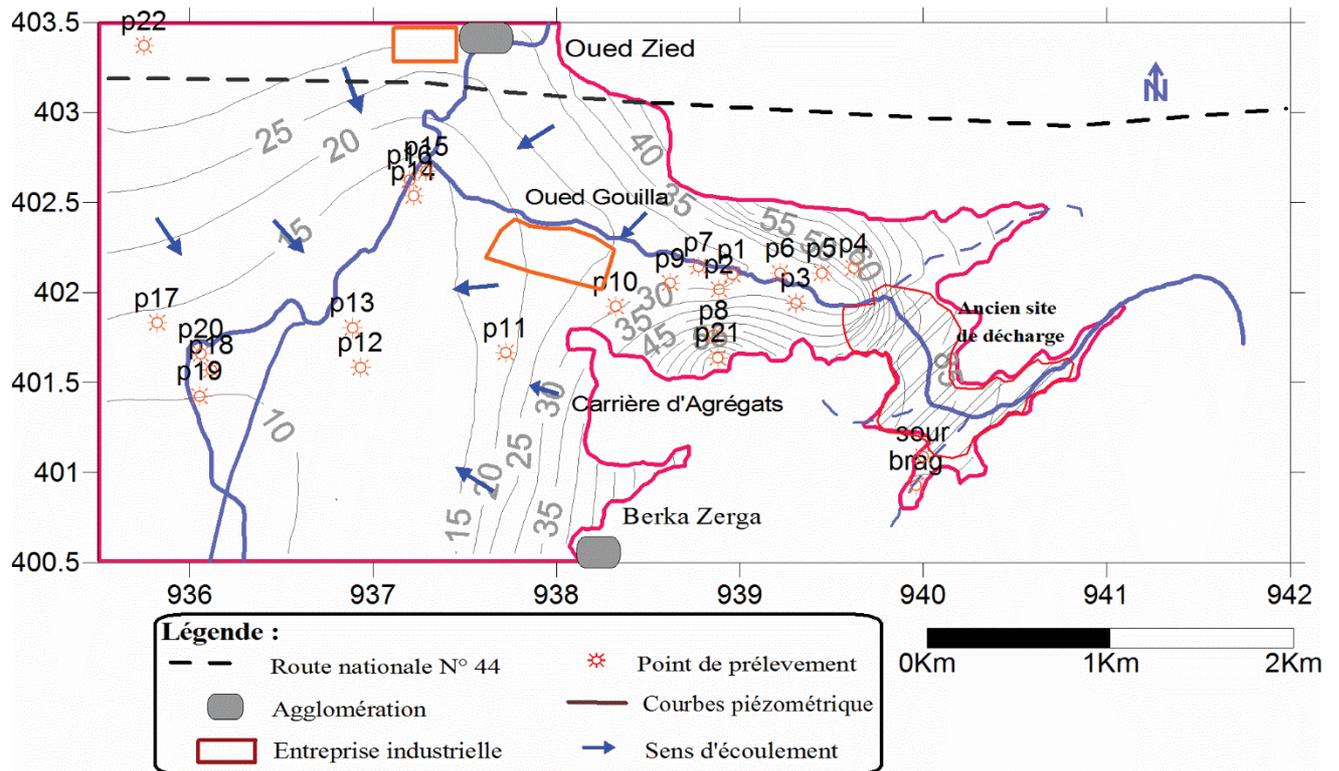


Figure 39 : Carte piézométrique du mois de Janvier 2006.

III. 7. Gradient hydraulique

Il est calculé d'après la formule suivante :

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

Tel que :

i : gradient hydraulique.

h_1 : la charge en amont (m).

h_2 : la charge en aval (m).

L : distance entre h_1 et h_2 (m).

L'allure des cartes piézométriques montre que l'espacement des courbes isopièzes diffère d'une région à l'autre en fonction de la valeur du gradient hydraulique. Cette variation est en relation avec la nature de l'écoulement et donc du gradient hydraulique. Puisque toutes les cartes piézométriques présentent la même allure des courbes de niveaux, on s'intéressera ici seulement à celle du mois de Juin 2006 pour les calculs et la représentation du gradient hydraulique (Fig. 40).

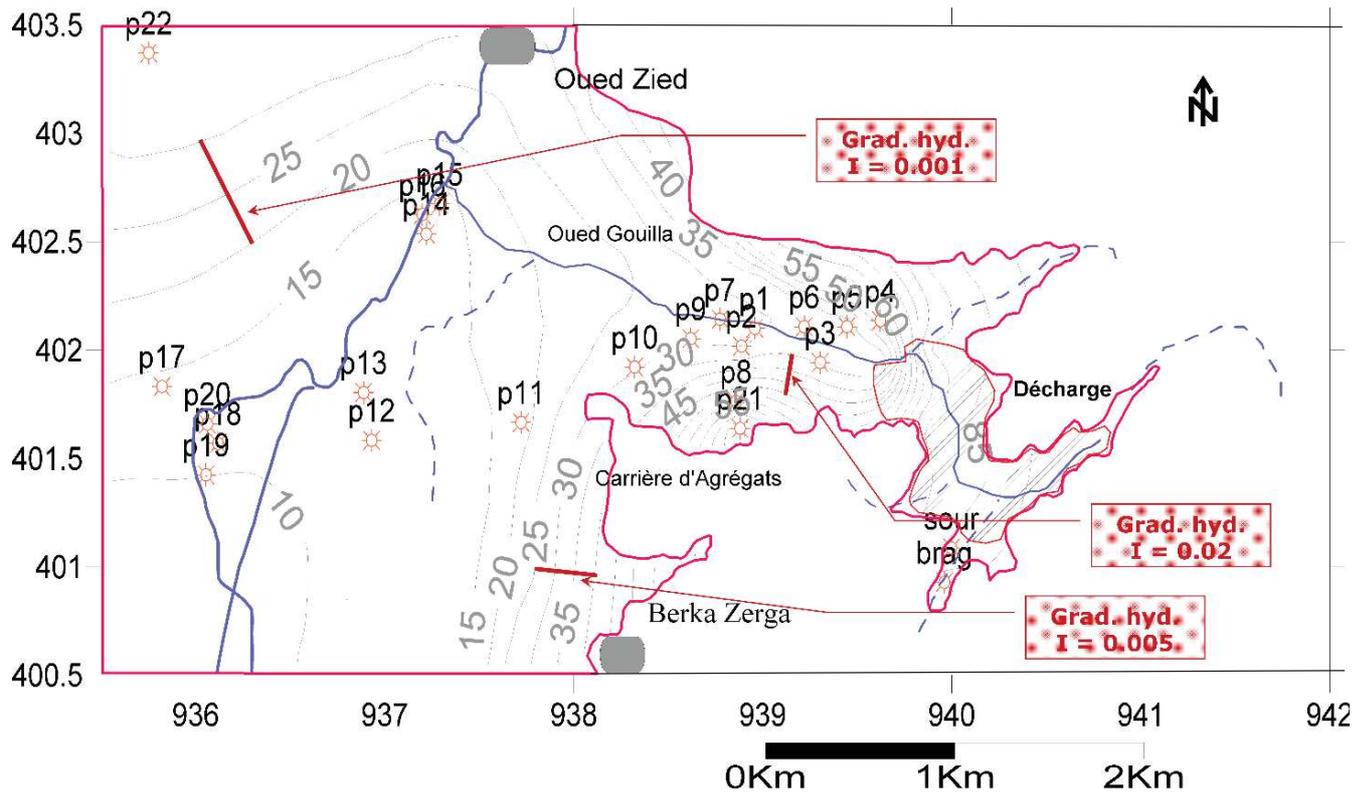


Figure 40 : Mesures du gradient hydraulique (moi de Juin 2006).

La figure 40 représente le gradient hydraulique dans trois (03) secteurs différents on remarque que :

- Les piémonts des collines sont caractérisés par de fortes valeurs, qui sont de l'ordre de 0.02. Vers le Nord-Est, au niveau de la vallée de l'oued Gouilla, affluent de l'oued Zied, les courbes isopièzes sont très serrées, cette zone est marquée par des pentes fortes vers moyennes.
- Le secteur Sud-Est où se concentre l'agglomération urbaine de Berka Zerga, est caractérisé par des valeurs moyennes du gradient hydraulique de l'ordre de 0.05 à cause des pentes moyennes à faibles.
- Par contre, dans le centre de la plaine, et du côté du lac Fetzara, le gradient hydraulique est caractérisé par de faibles valeurs de l'ordre de 0.001 et les courbes isopièzes sont plus espacées.

III. 7. Conclusion :

Du point de vue hydrogéologique, le bassin versant du lac Fetzara occupe la région Ouest de la plaine d'Annaba. La nappe de la plaine de l'oued Zied contient dans son sous-sol un système aquifère discontinu composé de la superposition de deux horizons (la nappe superficielle et la nappe profonde semi captive).

La nappe superficielle (libre) de l'oued Zied est contenue dans des alluvions récentes et actuelles. Elle est composée d'une lithologie argilo sableuse et argilo limoneuse, son épaisseur varie entre 2 et 10 m, dont les potentialités hydrauliques sont très limitées. Cette nappe est exploitée par un nombre important de puits destinés à l'irrigation, l'industrie et l'élevage.

La deuxième nappe aquifère (appelée profonde) est constituée de cipolins et calcaires fissurés. Elle est semi-captive dans la vallée de l'oued Zied et se trouve à une profondeur de l'ordre de 10 m. Dans le secteur occidental, Cette dernière devient captive, sa profondeur augmente pour atteindre 20 m. Sur toute son étendue, l'épaisseur de la nappe profonde varie de 2 à 5 m.

L'aperçu piézométrique nous montre que le sens de l'écoulement est orienté vers le centre de la plaine de l'Est vers l'Ouest (lac Fetzara). L'alimentation des eaux souterraines se fait par les précipitations atmosphériques dans la période des hautes eaux. L'interprétation des cartes piézométriques montrent une très forte interaction entre l'Oued, le lac et les systèmes aquifères ; dans tous les cas, la nappe superficielle est drainée par l'oued Zied vers le lac.

Les périodes de sécheresse enregistrées ont provoquées des extractions fortes d'eau dans les puits ce qui a provoqué des changements dans la direction de circulation de l'eau souterraine. En plus, la recharge provenant des précipitations a diminué aussi.

On note aussi, que la région est caractérisée par des gradients hydrauliques faible dans la partie centrale ce qui représente une forte perméabilité indiquant, ainsi une probable exposition de la nappe à toute forme de pollution.