

IAEA

Agence Internationale de l'Energie Atomique

Division de l'Afrique

Département de la Coopération Technique

PROJECT PROGRESS REPORT

Groundwater Resource Assessment and
Evaluation of Marine Intrusion, Phase II

- TUN8018 -

Annexe I

Evaluation et caractérisation des ressources en eaux souterraines de la plaine de Grombalia

Introduction générale

La plaine de Grombalia, située dans le Nord-Est de la Tunisie, renferme un système aquifère multicouche qui est le plus important de la région du Cap Bon. Actuellement, on assiste à une surexploitation (170% en 2000, DGRE) du système phréatique afin de répondre à une demande en eau de plus en plus importante des secteurs agricoles, industriels et touristiques. La nappe de Grombalia est soumise à un régime climatique irrégulier caractérisé par une succession d'années sèches et d'années pluvieuses. Elle est, de même, sollicitée par un nombre assez important de puits et de forages qui ne cessent d'augmenter d'une année à l'autre. Tous ces facteurs ont eu pour conséquence immédiate et principale l'abaissement du niveau piézométrique et l'accentuation de la salinisation des eaux souterraines.

Une étude pluridisciplinaire basée sur les méthodes géochimiques et isotopiques a été effectuée sur les ressources en eaux souterraines de la nappe de Grombalia. Ce rapport présente les principaux objectifs atteints par cette étude, à savoir :

- localiser les zones de recharge et de décharge de ce système aquifère ;
- déterminer les propriétés hydrodynamiques de ce système (variation piézométrique, sens de l'écoulement des eaux souterraines, gradient hydraulique)
- déterminer l'évolution spatiale de la minéralisation des eaux souterraines ;
- préciser les caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines ;
- déterminer les relais hydrogéologiques entre ce système aquifère et les autres nappes limitrophes.

1. Cadre climatique et hydrologique

1.1. Situation géographique

La plaine de Grombalia est située sur la presque île du Cap Bon, au Nord-Est de la Tunisie. Elle est comprise entre les latitudes 40G53'00'' et 40G80'00'' et les longitudes 9G00'00'' et 9G30'00'' (Figure 1).

Cette plaine est limitée au Nord par le Golfe de Tunis, au Nord-Est par le synclinal de Takelsa, à l'Est par la Côte orientale et au sud par la plaine de Hammamet. Selon Schoeller (1939), il s'agit d'un ancien golfe formant une échancrure ouverte au Nord-Ouest entre Borj Cedria à l'Ouest et Sidi Erreiss à l'Est. Il s'étendait au Sud jusqu'au pied du Jebel Abderrahman et des collines pliocènes du Cap Bon.



Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

1.2. Cadre climatique

Cette partie a pour objectif de définir les principales caractéristiques climatiques de la région d'étude à savoir les précipitations, la température et l'évaporation.

1.2.1. La pluviométrie

L'étude de la pluviométrie est basée sur des données climatiques collectées sur quatre stations de mesures couvrant la quasi-totalité de la zone d'étude. Il s'agit de la station de Bou Argoub SM située sur le bassin d'oued ElMasri, de la station de Grombalia DRE, de la station de Sliman SM située sur le bassin d'oued Soltan et de la station de MenzelBouzelfa (Tableau 1).

Tableau1 : Principales caractéristiques des stations pluviométriques de Grombalia

Station	Coordonnée		Altitude (m)
	Latitude	Longitude	
Bou Argoub SM	9G13'35''	40G59'25''	120
Grombalia DRE	9G07'00''	41G07'00''	50
Sliman SM	9G05'20''	41G17'20''	12
MenzelBouzelfa	9G18'50''	41G16'32''	60

Source: CRDA de Nabeul

a- Les précipitations annuelles

La pluviométrie annuelle enregistrée durant la période 1969-2005 montre que la région de Grombalia, comme toute la Tunisie, est caractérisée par un régime pluviométrique interannuel irrégulier (Figure2). La pluie annuelle durant les 30 dernières années enregistrées aux différentes stations varie entre un maximum de 1026 mm enregistré en 2003/2004 à la station de Sliman SM, et un minimum de 142 mm mesuré en 1987/1988 à la station de Bouargoub SM.

La station de Bouargoub SM, située au sud de la plaine de Grombalia, reçoit le minimum de pluie avec une moyenne de 455 mm/an, tandis que la station de Sliman SM qui est située plus au nord de la plaine, reçoit la pluviométrie la plus forte de 542 mm/an. Ce gradient pluviométrique pourrait être expliqué par l'effet de continentalité.

Les hyétogrammes des précipitations annuelles pour les différentes stations montrent que les années les plus humides sont 1995/1996 et 2003/2004 ; par contre, l'année la plus sèche est 1987/1988 avec une moyenne de 190 mm.

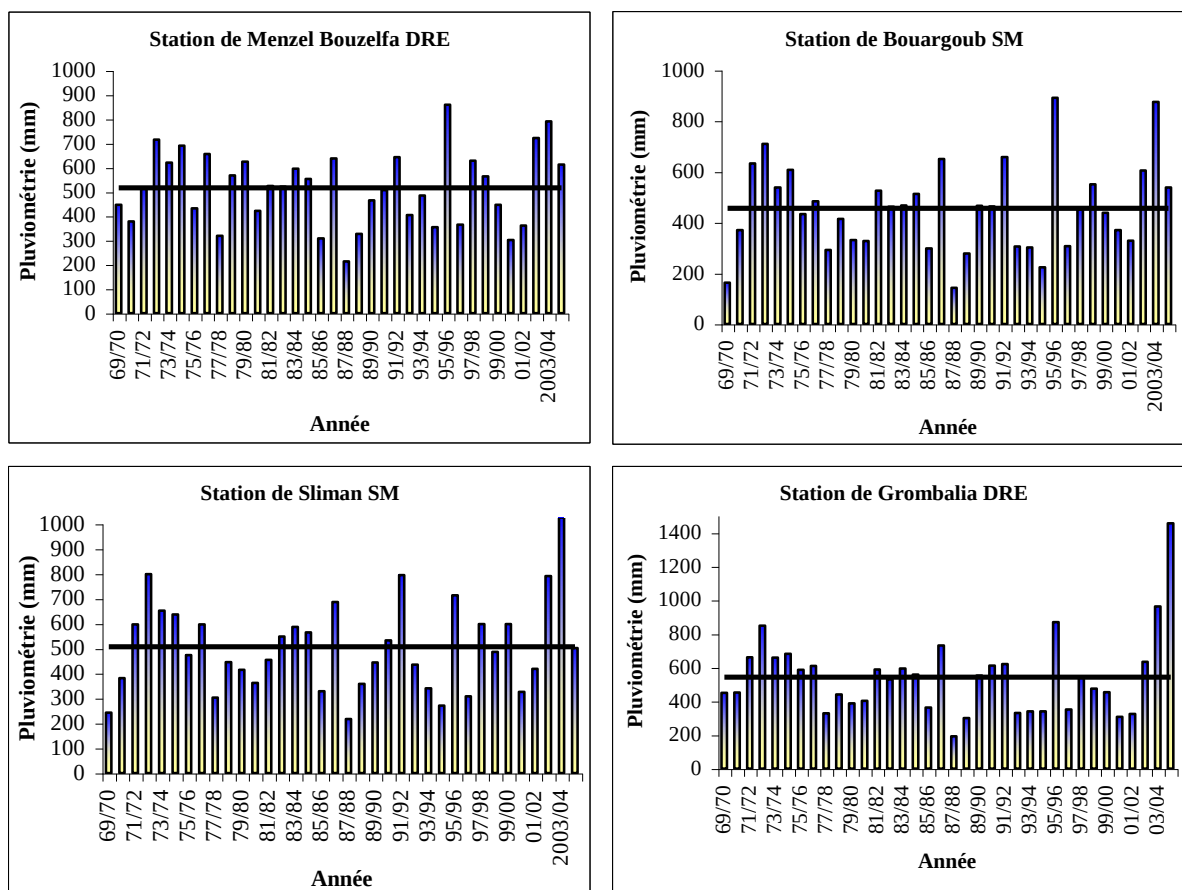


Figure 2 : Variation des précipitations annuelles dans le bassin de Grombalia

b- Les précipitations saisonnières

Le bilan pluviométrique saisonnier enregistré pour les différentes stations météorologiques durant la période 1969-2005 permet de subdiviser l'année en trois saisons (figure 3) :

- ▀ L'automne et l'hiver constituent la période la plus arrosée avec 200 mm de moyenne ;
- ▀ Le printemps vient en seconde position avec une moyenne pluviométrique de 100 mm.
- ▀ L'été est sec avec une moyenne de 20 mm.

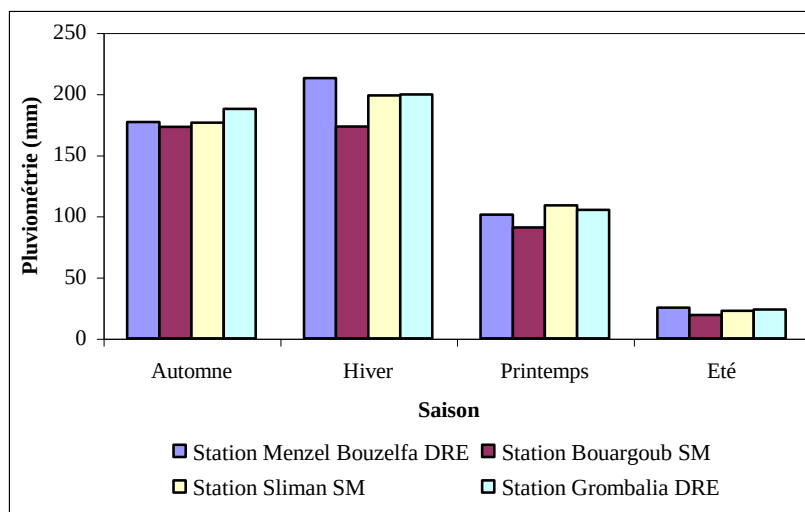


Figure 3 : Variation des précipitations moyenne saisonnières dans la plaine de Grombalia (1969-2005).

c- Les précipitations mensuelles

Les moyennes mensuelles, observées pour les différentes stations, montrent que les mois les plus pluvieux sont novembre, décembre et janvier avec un maximum enregistré pendant le mois de décembre dont la moyenne est de 70 mm. Les mois, les moins arrosés, sont juin, juillet et août avec un minimum absolu pour le mois de juillet qui est généralement le mois le plus sec (Figure 4).

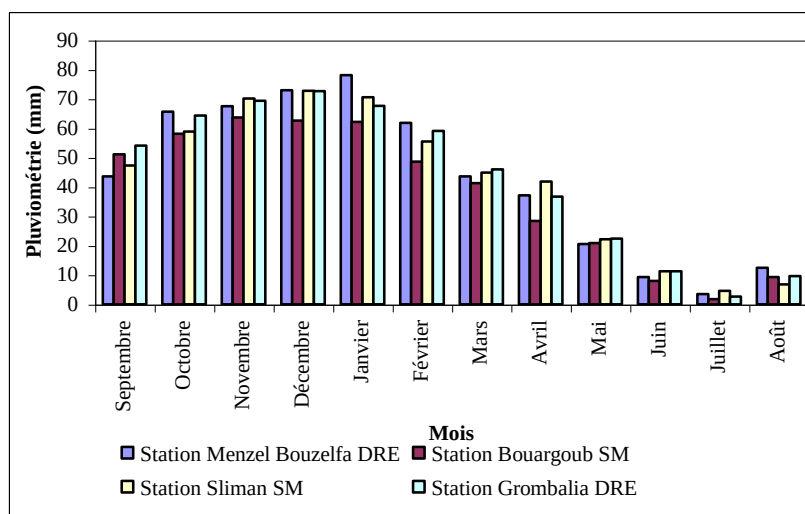


Figure 4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles dans la plaine de Grombalia (1969-2005)

1.2.2. Les températures de l'air

Les enregistrements des températures de l'air ne sont disponibles que pour la station de Nabeul, considérée à l'échelle de cette étude des ressources en eau, suffisamment représentative de la région. La moyenne thermique interannuelle de l'air entre 1989-2005 est de l'ordre de 18,7°C, mais cette moyenne camoufle les différences importantes qui peuvent être observées entre les températures de l'été et celle de l'hiver (figure 5). En effet, en hiver, principalement pendant le mois de janvier, les températures peuvent descendre jusqu'à 8,4°C.

Par contre, les plus hautes températures sont observées en été avec un maximum de 30,6°C atteint au mois d'août.

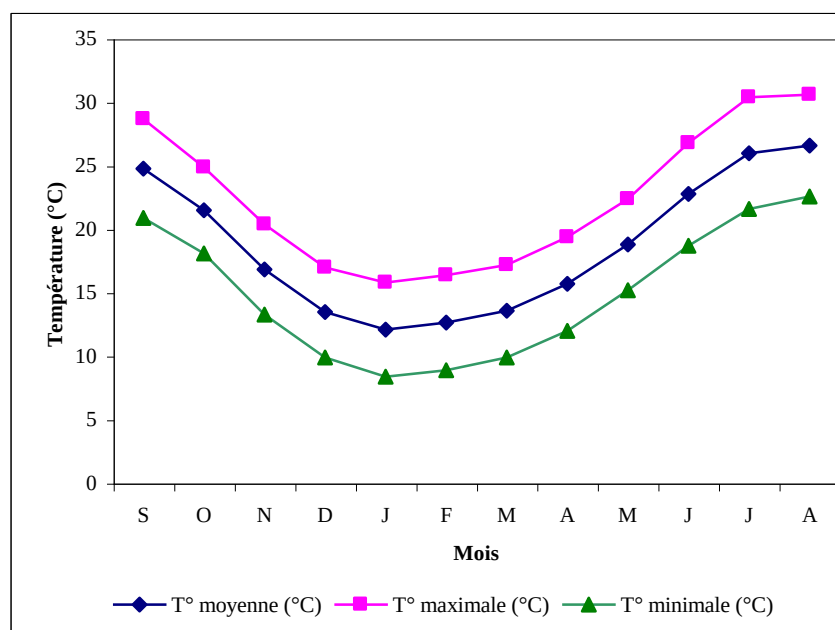


Figure 5: Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Nabeul (1989-2005)

1.2.3. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle représente la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales (Castany, 1967). Elle dépend des facteurs climatiques mais aussi du type de sol et de son couvert végétal. Les valeurs de l'évaporation disponibles sont celles enregistrées à la station de Nabeul. Durant la période 1989-2005, ces valeurs montrent que l'évaporation atteint son maximum au mois de juillet (185 mm) et son minimum au mois de décembre (35 mm).

A l'échelle saisonnière, l'évapotranspiration potentielle est plus importante en été, avec une moyenne de 172 mm, alors qu'en hiver elle est minimale avec 50 mm (Figure 6).

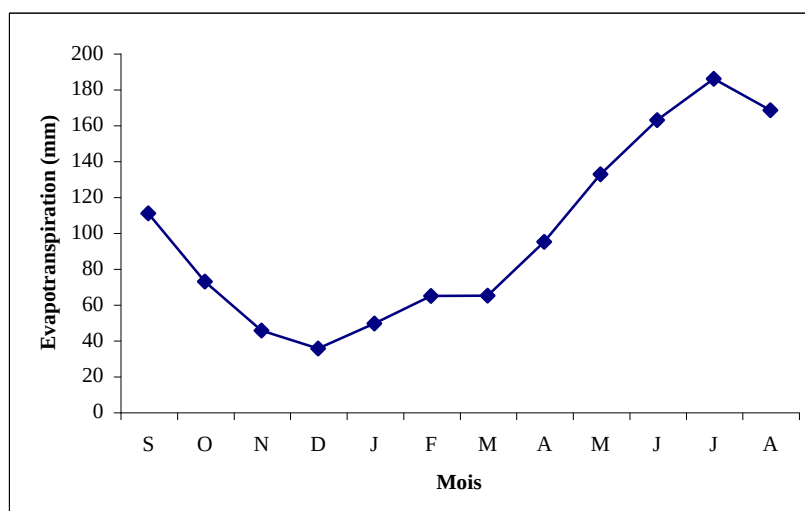


Figure 6: Variation des évapotranspirations mensuelles moyennes à la station de Nabeul (1989-2005)

2. Cadre géologique

2.1. Introduction

La plaine de Grombalia est un « véritable fossé d'effondrement post-pliocène », qui sépare deux régions tectoniques nettement distinctes ; la dorsale et les dômes NESW du Cap Bon. Ce graben est formé par un affaissement de plus 500 m dont les déformations et la subsidence se sont poursuivies au cours des temps quaternaires (Castany, 1948).

Le fossé de Grombalia de direction moyenne N150 est affecté par des failles de direction N140 responsable de la subsidence progressive donnant ainsi l'allure d'une structure synclinale dissymétrique qui a accueilli des dépôts néogènes et quaternaires (ETAP, 2003).

Ce fossé est bordé à l'Est par le grand décrochement sénestre qui va de Skanes (Monastir) à Hammamet de direction N160 sur laquelle se heurte le monoclinale de Korbus et l'anticlinal de J. Aberrahman de direction NE-SW. La bordure ouest du fossé est matérialisée par une faille synthétique orientée N140 allant de Borj Cedria jusqu'au Golfe de Hammamet. Cet accident affecte une série miocène de près de 400 m d'épaisseur. Le rejet vertical de cette faille majeure dépasse 1000 m (Burollet, communication orale, in Ben Ayed, 1986).

L'étude tectonique et micro tectonique, effectuée par Chihi en 1995 dans le graben de Grombalia et ses bordures immédiates, montre une ouverture oligo-tortonienne de ce fossé qui est marqué par :

- L'antériorité de l'effondrement du graben par rapport au pli atlasique de direction NE-SW et d'âge Tortonien supérieur (formation Saouaf).
- La persistance d'une distension locale au niveau du graben préexistant de Grombalia au Tortonien-Messinien dans un régime régional compressif au cours du Miocène supérieur et du quaternaire.

2.2. Cadre stratigraphique

Sur le plan stratigraphique, on peut distinguer les unités litho-stratigraphiques suivantes (Ben Salem, 1992) :

2.2.1. L'Eocène moyen et supérieur : Formation Souar

Les affleurements d'âge Eocène moyen et supérieur représentent les terrains les plus anciens dans la région du Cap Bon. Ces niveaux qui correspondent à la formation Souar occupent le cœur de Djebel Abderrahmène. Il s'agit d'une série franchement marine et essentiellement argileuse qui admet des intercalations de bancs calcaires dont le plus important correspond aux calcaires de Reinèche. Selon (Arnould 1950 in Ben Salem, 1992), la formation Souar est constituée par la succession des termes lithologiques suivants :

- Les argiles inférieures qui occupent la combe centrale du Djebel Abderrahmène et dont l'épaisseur sont de l'ordre de 300 m.
- Les calcaires de Reinèche qui sont d'une épaisseur de l'ordre de 25 m.
- Les argiles supérieures qui sont d'une épaisseur de l'ordre de 400 m.

2.2.2. L'Oligocène et le Miocène inférieur : Formation Fortuna

Il s'agit de la formation Fortuna correspondant à une série détritique épaisse qui forme l'essentiel des reliefs des différents massifs de la péninsule du Cap Bon. Cette unité litho stratigraphique définie par Burollet (1956), sur le flanc oriental du Djebel Abderrahmène, présente un terme inférieur argilo-gréso-carbonaté d'âge oligocène supérieur et un terme supérieur essentiellement détritique d'âge aquitanien-burdigalien. Cette formation est subdivisée par le SEREPT en unités Korbous pour le terme inférieur et El Haouaria pour le terme supérieur.

a- L'unité Korbous

Elle correspond à la partie inférieure de la formation Fortuna. Elle affleure au niveau du monoclinal de djebel Korbous. Elle est formée par les termes suivants :

- Les calcaires inférieurs de Korbous : Il s'agit d'un calcaire finement gréseux de 20 m d'épaisseur.
- Des argiles vertes finement sableuses avec souvent des intercalations de bancs de calcaires gréseux fins de 100 m d'épaisseur.
- Les calcaires supérieurs de Korbous : Il s'agit de calcaires microcristallins en gros bancs de 20 m d'épaisseur.

b- L'unité El Haouaria

Elle débute juste au-dessus des calcaires supérieurs de Korbous par des argiles vertes de 70 m d'épaisseur, surmontées par une série de grosses barres de grès grossiers à dragées de quartz de 800 m d'épaisseur.

Ainsi, par sa lithologie essentiellement gréseuse et carbonatée et par sa situation entre deux formations argileuses bien étanches, l'aquifère Fortuna constitue un aquifère unique et bien individualisé (Ben Abdallah, 2004).

2.2.3. Le miocène moyen : Groupe Cap Bon et Groupe Oum Douil

La série du Miocène moyen est bien développée dans la péninsule du Cap Bon où elle occupe les retombées des flancs des grandes structures anticlinales ainsi que les vastes dépressions synclinales. Cette série comporte les unités litho stratigraphiques suivantes :

a- Le groupe Cap Bon (Langhien)

Sur le flanc oriental du Djebel Korbous, la série transgressive sur la formation Fortuna débute par un niveau A de grès grossiers parfois conglomératiques surmontés par des argiles correspondant à la formation Oued Hammam. Ces niveaux ont été observés uniquement au niveau du djebel Korbous. Ils sont surmontés par des calcaires bioclastiques correspondant à la formation Ain Grab.

Au Djebel Abderrahmène, le groupe Cap Bon n'est représenté que par les calcaires bioclastiques de la formation Ain Grab qui forme une auréole elliptique qui ceinture ce massif et par les argiles glauconieuses de la formation Mahmoud.

b- Le groupe Oum Douil (Langhien-Tortonien)

Il représente à sa base un terme essentiellement détritique ou formation Béglia de 300 m d'épaisseur et un terme supérieur formé par des alternances de grès et d'argiles à lignite et à huîtres ou formation Saouaf de 2000 m d'épaisseur.

2.2.4. Le Miocène supérieur : Sables de Somâa, Formation Béni Khiair et Formation Oued El Bir

Dans toute la région du Cap Bon, les différentes formations du Miocène supérieur ne se retrouvent que dans les environs de Nabeul – Hammamet. On distingue :

- Les sables de Somâa (Colleuil, 1976) : Les sables de Somâa qui reposent en discordance sur les alternances argilo-gréseuses de la formation Saouaf, correspondent à une série de sables rouges, plus ou moins grossiers, avec souvent des niveaux conglomératiques.
- La formation Béni Khiair : Selon Bismuth (1984), cette formation a le même équivalent latéral que la formation carbonatée franchement marine de Melquart.
- La formation Oued El Bir (Colleuil, 1976) : Cette série a caractère laguno-lacustre et les grès continentaux sus-jacents, peuvent être l'équivalent des formations Oued Bel Khédim définies au Nord de la Tunisie d'âge Messinien (Burolet, 1951).

2.2.5. Le Pliocène

Dans la région de Nabeul-Hammamet, la série du Pliocène marin est bien développée et repose en concordance sur les terrains du Miocène supérieur. Elle est formée dans sa partie inférieure par la formation RafRaf, d'âge Tabianien, formée par une série épaisse de marnes grises, parfois brunes ou verdâtre. Cette formation est surmontée par les grès de la formation Porto-Farina (Burolet, 1956).

Le développement aussi bien de la série du Miocène supérieur et du Pliocène dans les environs de Nabeul-Hammamet, peut donc attester de la subsidence de toute cette région au cours de cette période. Plus au Nord, et pendant cette même période, le reste de la péninsule du Cap Bon, par l'absence de dépôts équivalents au Miocène supérieur et au Pliocène, pourrait correspondre à une zone relativement haute.

2.1.6. Le Quaternaire

La région du Cap Bon comprend toute une série de terrasses quaternaires, marines et continentales. En 1939, Schœller a pu reconnaître les horizons suivants :

a- Le Sicilien

Au Sud Est de Borj El Hfaïdh, le Sicilien se présente sous forme de dépôts marins qui reposent en discordance sur les couches du Vindobinien. Surmonté de sables continentaux, il constitue une terrasse de 110 à 120 m d'altitude. Plus au Nord, le Sicilien se présente sous forme de dépôts continentaux.

b- Le Monastirien

❶ **Quaternaire lagunaire de l'Henchir Bou-Cheraia** : Il est formé par des grés, des sables et des sables limoneux fossilifères caractérisés par l'abondance des cardiums à test épais indiquant un quaternaire marin tout à fait littoral à tendance saumâtre.

❷ **Les dunes fossiles de Soliman** : Aux abords de Soliman s'étend une bande de terrains quaternaires orientée Est-ouest. Au Nord, on y distingue une plage fossile tandis qu'au sud des dunes anciennes fossilisées (Castany, 1948).

- La plage fossile est formée par des sables et des grés très grossiers, bien visibles et fossilifères au pont de l'oued Soltane et dans le lit de l'oued El Bey.
- Les dunes anciennes : en arrière de cette plage s'étend une série de collines dont la plus importante est celle du djebel Chérifat. Leur altitude moyenne est de 20 à 35 mètres. Ces dunes fossilisées sont constituées uniquement de sables fins plus ou moins cimentés.

❸ **Quaternaire sableux récent et ancien de Menzel Bou Zelfa - Beni-Khalled** : La région de Beni-Khalled-Menzel-Bou-Zelfa est recouverte de sables jaunes, parfois blancs à intercalations gréseuses renfermant des Hélicidés. Vers l'Ouest, ils passent à des sables argileux et des argiles plus ou moins sableuses. Il s'agit donc du quaternaire récent.

❹ **Le Quaternaire limoneux de la plaine de l'oued El Jorf** : Il est formé essentiellement de limon gris ou brun à Hélicidés. Il s'agit du Quaternaire récent.

c- Le Flandrien

Il est principalement observé au niveau de la plaine limoneuse de sebkhet El Melah essentiellement formée de limons souvent couverts d'halophytes.

2.3. Evolution structurale du Cap Bon

2.3.1. Tortonien-Messinien

Les dépôts molassiques du Miocène supérieur, définies par Colleuil (1976) sont discordants sur la formation Saouaf. Ces séries se déposent exclusivement, autour du graben de Grombalia. Elles sont totalement absentes dans le reste du Cap Bon où le Pliocène repose directement, en discordance angulaire, sur les séries de la formation Saouaf.

Ainsi, le graben de Grombalia était le siège d'une distension locale de direction NESW, lors de la compression régionale de direction NW-SE au cours du Tortonien-Messinien.

La disposition du Pliocène, en concordance sur le Miocène supérieur au niveau du fossé illustre bien la continuité du régime distensif dans la région de Grombalia même en période compressive.

2.3.2. Pliocène

Dans la bordure du graben de Grombalia, le Pliocène est concordant sur les formations du Miocène supérieur. Cette zone était le siège d'une instabilité tectonique et sismique.

2.3.3. Quaternaire

La période quaternaire se caractérise dans le graben de Grombalia par une importante accumulation de dépôt atteignant 430 m d'épaisseur. Cette épaisseur importante de sédiments quaternaires reflète la subsidence importante locale dans le fossé de Grombalia au cours du Quaternaire. Le phénomène d'affaissement du fossé de Grombalia (Castany, 1948) est confirmé par une tectonique distensive locale en faille normale quaternaire, dans un régime régional compressif ce qui pose problème de chronologie des déformations tectoniques Quaternaires. D'ailleurs, les sondages hydrauliques profonds effectués dans la région de Grombalia (Castany, 1948) attestent qu'une distension locale fonctionnait dans le graben de Grombalia à cette époque.

Le graben de Grombalia montre un régime distensif local de direction NE-SW qui se manifeste par des failles normales et des décrochements senestres à fortes composantes normales.

L'affaissement quaternaire du fossé de Grombalia, suivie d'un apport considérable de sédiment de même âge, a conduit Castany (1948) à considérer que le graben de Grombalia est d'âge quaternaire. D'autre part le régime distensif local quaternaire, du graben de Grombalia, a conduit certains auteurs (Castany, 1948 ; Viguiet *et al.*, 1980; Paskoff et Sanlaville, 1980) à mettre une phase distensive au quaternaire moyen qui fait suite à la phase de compression post-villafrachienne.

2.4. Conclusion

En conclusion, la zone d'étude correspond à un fossé d'effondrement qui aurait commencé à s'ouvrir depuis l'Oligocène et dont les failles bordières affectent des terrains d'âge miocène et pliocène supérieur. Ce fossé aurait probablement pris sa forme définitive à une époque tardive post-Pliocène (Ben Salem, 1992).

3. Cadre hydrogéologique

3.1. Introduction

La plaine de Grombalia constitue un fossé d'effondrement post-pliocène, formé par un affaissement de plus de 500 m.

Le Quaternaire, composé lithologiquement d'alternances de couches perméables sableuses et de couches marneuses imperméable formant écran, donne naissance à un empilement de nappes.

Ces différentes nappes communiquent entre elles, plus ou moins librement, et également avec la nappe phréatique. Il s'agit d'une seule nappe compartimentée en différents niveaux, dont le plus élevé est la nappe phréatique.

Cette communication entre ces différents niveaux aquifères s'explique par le fait que les couches sableuses surtout importantes en bordure, s'amenuisent vers le centre de la cuvette.

3.2. Alimentation de la nappe de Grombalia

L'alimentation de la nappe de Grombalia peut être considérée selon deux processus différents (Scholler, 1939 et Castany, 1948).

3.2.1. L'alimentation directe

L'alimentation directe provient de l'infiltration des eaux de pluies à travers les couches perméables supérieures. Elle est influencée par les apports des eaux des collines et des montagnes de bordures.

3.2.2. L'alimentation indirecte

Elle comporte :

- L'apport des oueds de la bordure S.E et S.W. Tous les petits oueds de la bordure orientale des collines miocènes SE déversent leurs eaux pérennes et celles des crues dans le quaternaire très perméables des terrasses Siciliennes (Castany, 1948). Elles contribuent fortement à l'alimentation de la nappe phréatique et indirectement à celle de la nappe semi-profonde, le long du lit des oueds Sidi Said, Ennakhlâ et Baioub en particulier. Les oueds de la rive occidentale (O.Melah, O. Djidida, O. Tahouna et O. Defla...) qui drainent les collines de la dorsale contribuent eux aussi à l'alimentation du système aquifère (Ennabli, 1980).
- A cette alimentation par les eaux de surface s'ajoutent celles des nappes profondes adjacentes. En effet les formations quaternaires de bordures reposent directement, sans l'intermédiaire d'écrans marneux, comme le montrent les sondages (Castany, 1948) :
 - Au N.O sur les grès de l'oligocène de Djebel Korbous et les grès du Vindobonien du synclinal de Ain Mroua.
 - Au N.E sur les terrains gréseux éocènes, oligocènes et miocènes du Djebel Abderrahman et du synclinal de Takelsa.
 - Au S.E et S.O sur les couches miocènes.

Ainsi, en profondeur, les nappes qui imbibent ces terrains doivent contribuer, pour une certaine part à l'alimentation souterraine de la plaine.

3.3. Exploitation

La nappe phréatique de Grombalia renferme 8430 puits de surface dont 6667 sont équipés, soit un taux d'équipement de 79% (DGRE, 1998). Ces puits prélèvent 90 Mm³/an sur des ressources régulatrices de 51Mm³/an ce qui donne un taux de surexploitation de 176%. Le réseau de surveillance de cette nappe se compose de 59 puits de surface, 5 forages et 16 piézomètres.

La nappe profonde plio-quaternaire est sollicitée par 55 forages ne dépassant pas la profondeur de 150 m ; son exploitation a atteint l'équivalent de 2,59 Mm³ en 2000 (DGRE, 2000). Elle est contrôlée par 3 piézomètres.

L'affleurement miocène qui jalonne la plaine sur ses bordures, renferme une nappe exploitée par 144 forages et dont les prélèvements sont estimés à 5,59 Mm³ en 2000 (DGRE, 2000). Elle est contrôlée par un réseau de surveillance constituée de 8 piézomètres et 1 forage.

3.3. Etude piézométrique

3.3.1. La piézométrie de la nappe phréatique de Grombalia

Pour étudier l'état de la piézométrie actuelle des nappes du système aquifère de Grombalia, une carte a été réalisée à partir des mesures des niveaux piézométriques des puits de surface au cours de la campagne d'échantillonnage réalisée pendant le mois de février 2005. Cette carte montre des altitudes piézométriques variant entre 2 et 26 m (Figure 8). Les plus fortes valeurs se trouvent au sud de la plaine de Grombalia. En revanche, les plus faibles altitudes piézométriques sont enregistrées au niveau de la partie centrale du bassin.

Les courbes isopièzes deviennent plus serrées au sud et à l'est de la plaine attribuable à la pente topographique plus forte et aux affleurements marneux de faible perméabilité.

Vers le Golfe de Tunis, les courbes isopièzes deviennent plus espacées avec une piézométrie relativement faible qui varie de 2 à 4 m, marquant ainsi la diminution du gradient hydraulique. Cette diminution est due à l'augmentation de la perméabilité des formations aquifères.

Au centre de la plaine, les courbes isopièzes forment une dépression piézométrique certifiant d'un état de surexploitation de la nappe suite à l'accroissement du nombre de puits de surface équipés pour l'irrigation des terres agricoles.

Les zones d'alimentations qui se caractérisent par un bombement piézométrique sont au nombre de trois :

- La première se situe au piémont de Djebel Abderrahman à l'Est de Menzel Bou Zelfa ;
- La deuxième au SE de la plaine, coïncide à la colline de Hammamet ;
- La troisième se place au SO, concorde aux reliefs de djebel Messoud et El Goued.

Il en découle trois directions majeures d'écoulement souterrain:

- Une direction vers le NO dans le sens de sebkhet El Maleh et le Golfe de Tunis;
- Une direction vers le NE en direction du lit principal d'oued El Bey;
- Une direction vers le SO en direction de la région de Menzel Bouzelfa.

3.3.2. La piézométrie de la nappe profonde de Grombalia

Les mesures du niveau statique des piézomètres profonds ont permis de tracer la carte piézométrique des niveaux aquifères profonds de la nappe de Grombalia (Figure 9). On constate que le niveau piézométrique suit la topographie, la lithologie et l'écoulement de surface de la zone étudiée. Ainsi, les valeurs les plus élevées de 70 à 60 m se trouvent au NE et au SE de la plaine et les plus faibles de 20 à 15 m au niveau de la ville de Grombalia.

L'alimentation de la nappe profonde de Grombalia est assurée par deux régions :

- La première située au NE de la plaine, concorde au piémont de Djebel Abderrahman à l'Est de Menzel Bou Zelfa ;
- La deuxième au SE de la plaine, coïncide à la colline de Hammamet.

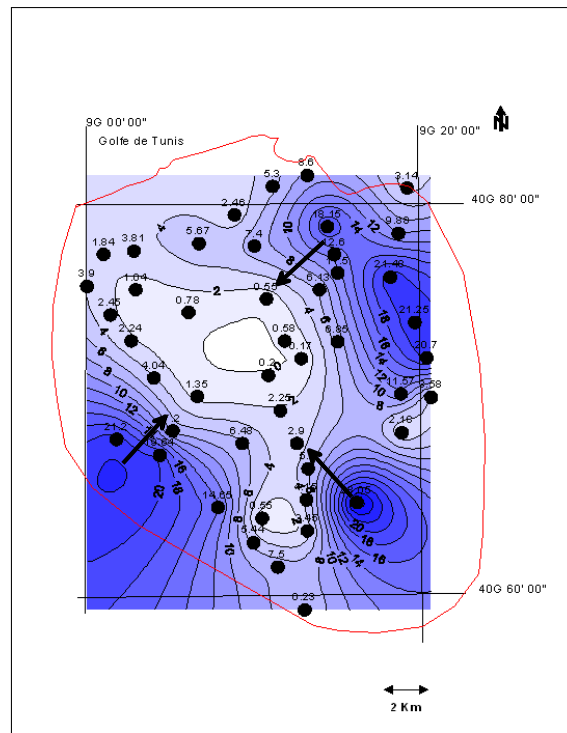


Figure 8 : Carte piézométrique du système phréatique de Grombalia (2005)

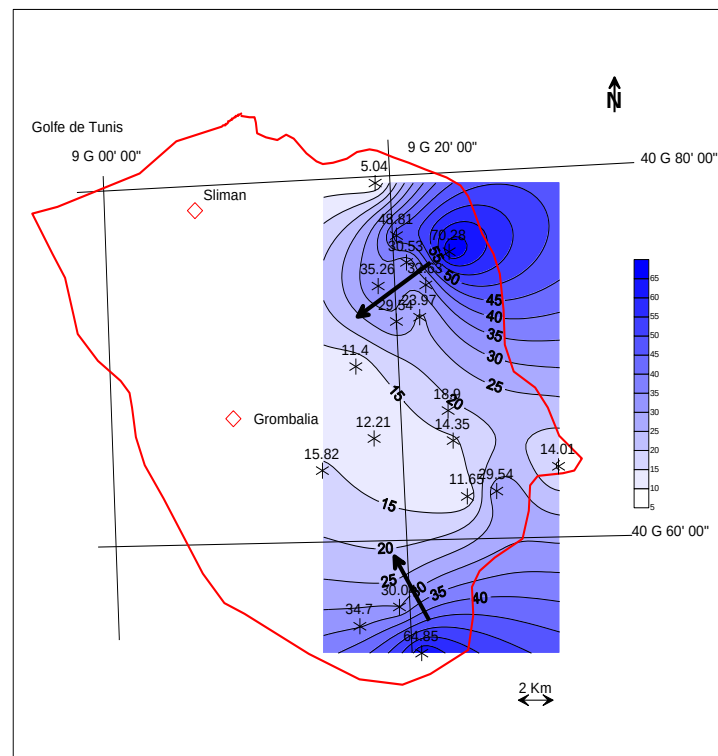


Figure 9 : Carte piézométrique du système aquifère profond de Grombalia (2005)

4. Etude hydrochimique

4.1. Introduction

La caractérisation qualitative et quantitative des eaux de la nappe de Grombalia a nécessité des investigations sur le terrain et des analyses au laboratoire. Ainsi, une campagne

d'échantillonnage a été effectuée pendant la période hivernale 2005. Durant cette campagne, les échantillonnages d'eaux ont concerné 57 forages et 47 puits de surface choisis de telle sorte qu'ils soient les plus représentatifs de la nappe de Grombalia (Figure 10 et Figure 11).

4.2. Etude des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physiques ont été mesurés *in situ* et les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire de Radio-Analyses et Environnement à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (Annexe 2).

4.2.1. La température

Les eaux prélevées à partir des puits de surface sont caractérisées par des températures qui varient entre 11,9 et 21,2 °C. Par contre, les températures des eaux prélevées des forages varient entre 14 et 26,7°C.

4.2.2. Le pH

Les pH des eaux étudiées sont hétérogènes. Les eaux prélevées à partir des puits de surface sont caractérisées par des pH qui varient entre 6,91 et 7,92. La nappe profonde du système aquifère de Grombalia est caractérisée par un pH qui varie entre 6,09 et 8,19.

4.2.3. La conductivité

La conductivité des eaux du système aquifère de Grombalia s'échelonne entre 0,59 ms et 6,65 ms. Les plus faibles valeurs sont enregistrées au niveau de la nappe profonde. Elles varient entre 0,59 ms et 4,86 ms. Alors que la conductivité des eaux de la nappe phréatique est plus importante. Elle est comprise entre 1,4 ms et 6,65 ms.

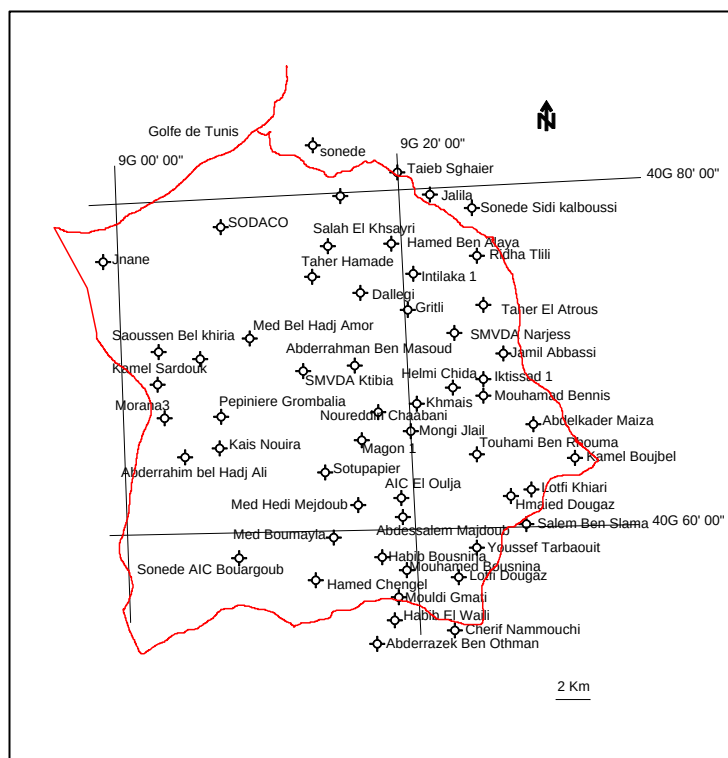


Figure 10 : Localisation des points d'eau prélevés du système aquifère profond de Grombalia

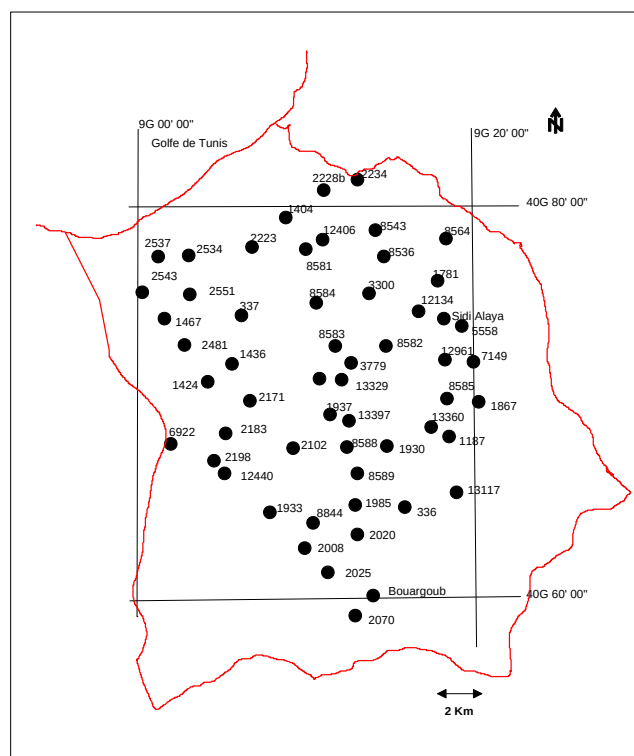


Figure 11 : Localisation des puits d'eau prélevés des niveaux phréatiques de Grombalia

4.3. Caractérisation chimique des eaux

Les résultats des analyses chimiques obtenues sur les eaux de la nappe de Grombalia sont exprimés en mg/l. La validité de ces résultats a été vérifiée en calculant le bilan ionique et le pourcentage d'erreur en se basant sur l'équation suivante :

$$\text{Coefficient d'erreur} = | (\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions}) / (\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions}) | * 100$$

L'interprétation de ces analyses nous permet d'apprécier la qualité chimique des eaux de la nappe de Grombalia.

4.3.1. Identification des faciès chimiques des eaux de la nappe de Grombalia

Les analyses chimiques des niveaux aquifères de surface reportés sur le diagramme de Piper montrent un faciès chloruré-sodique-calcique (Figure 12).

Les points représentatifs des eaux des niveaux aquifères profonds sur le diagramme losangique de Piper, constituent un seul nuage de point de faciès bicarbonaté-chloruré-sodique-calcique (Figure 13). Sur le triangle des anions, ces points se concentrent surtout au niveau du pôle chloruré avec une nette tendance vers le pôle bicarbonaté. Les teneurs en ions sulfate sont faibles. Pour les cations, les eaux sont représentées par un nuage homogène à teneurs égales en sodium et en calcium. Les teneurs en ions magnésium sont faibles. Ainsi, les niveaux aquifères phréatiques et profond présentent pratiquement le même type d'eau ce qui met en évidence une communication hydraulique verticale entre ces aquifères.

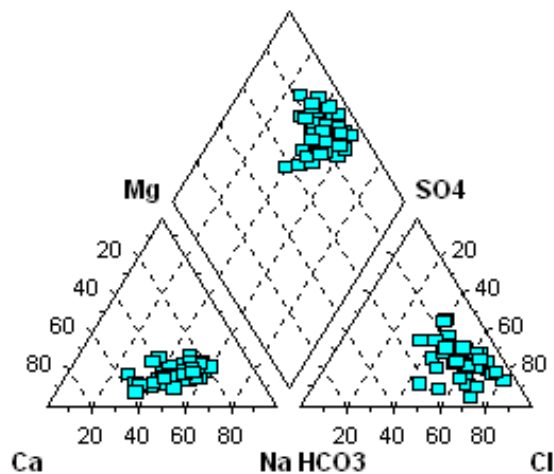


Figure 12 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe phréatique de Grombalia

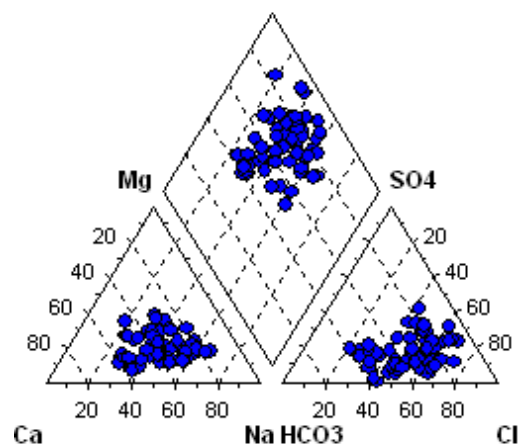


Figure 13 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe profonde de Grombalia

4.3.2. Répartition spatiale de la minéralisation totale des eaux de la nappe de Grombalia

Afin d'étudier la minéralisation de la nappe de Grombalia. On a établi deux cartes de salinité.

a- Les niveaux phréatiques

La minéralisation des eaux de surface de la nappe de Grombalia varie de 0,74 à 5,91 g/l. La carte de répartition de la salinité des niveaux phréatiques montre que les eaux deviennent plus minéralisées vers le centre de la plaine de Grombalia (Figure 14). L'étude lithostratigraphique a montré que vers le centre de la cuvette de Grombalia le quaternaire devient marneux, gypseux et salifère.

Par ailleurs une zone saline est centrée sur la région de Grombalia. Il semble qu'il s'agit d'une paléosebkha qui a évolué depuis le quaternaire ancien ce qui expliquerait la salinité plus importante dans la partie centrale de la plaine de Grombalia (Sebai A. 2001).

b- Les niveaux profonds

La carte de répartition spatiale de salinité (Figure 15) des eaux des niveaux aquifères profonds montre des valeurs qui varient de 0,375 à 4,65 g/l. La salinité augmente proportionnellement au sens d'écoulement des eaux, du sud-est vers le nord-ouest, vers le Golfe de Tunis. On distingue trois zones :

- Une première zone où la salinité est comprise entre 0,5 et 1,5 g/l. Les plus faibles valeurs de salinité sont enregistrées en amont de la zone d'étude, elles sont probablement liées à l'infiltration des eaux douces à partir des zones de recharge.
- Une deuxième zone où la minéralisation varie entre 1,5 et 2,5 g/l occupant pratiquement le centre de la plaine de Grombalia.
- Une troisième zone caractérisée par des salinités supérieures à 2,5 g/l.

L'accroissement de la salinité des eaux peut être expliquée par un apport en eau saline à partir de Sebkhet El Melah.

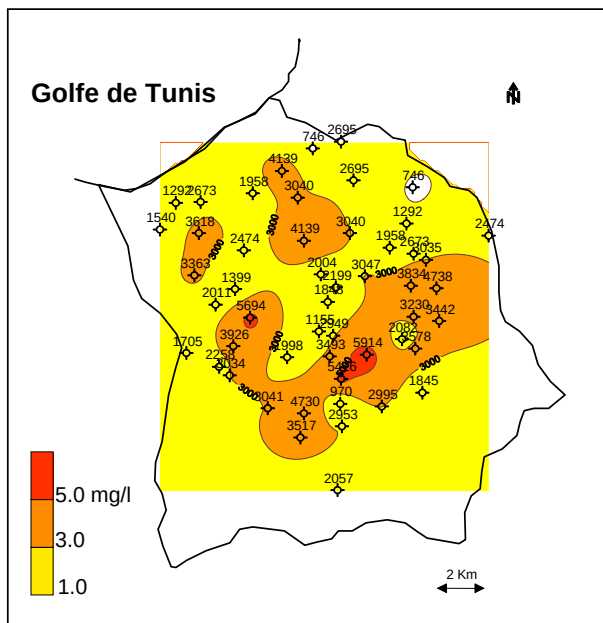


Figure 14 : Carte de salinité des niveaux phréatiques de Grombalia

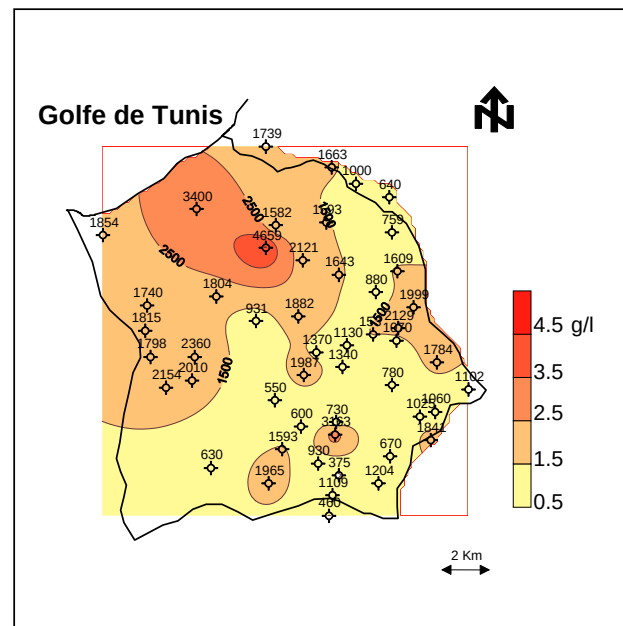


Figure 15 : Carte de salinité des niveaux aquifères profonds de Grombalia

4.4. Conclusion

Les niveaux aquifères profonds montrent des eaux à faciès bicarbonaté-chloruré-sodique-calcique. En se déplaçant vers le Golfe de Tunis, la minéralisation des eaux de la nappe profonde augmente proportionnellement au sens d'écoulement, du sud-est vers le nord-ouest. L'accroissement de la salinité des eaux peut être expliqué par un apport en eau saline à partir de Sebkhet El Melah.

Les eaux des niveaux aquifères de surface montrent un faciès chloruré-sodique-calcique. Ainsi, les eaux de la nappe phréatique et profonde présentent pratiquement le même faciès chimique ce qui met en évidence l'existence d'une communication hydraulique verticale entre ces aquifères.

L'étude hydrochimique a permis de mettre en évidence l'existence d'une pollution en nitrates qui touche aussi bien les niveaux phréatiques que les niveaux aquifères profonds. La communication existant entre les niveaux aquifères superficiels et profonds rend les eaux souterraines profondes plus vulnérables aux agents de pollution anthropique.

5. Etude isotopique

5.1. Introduction

L'étude des caractéristiques isotopique de l'eau peut contribuer à la compréhension du fonctionnement hydrogéologique des systèmes aquifères ; elle permettrait entre autres :

- La détermination de l'âge et de l'origine de l'eau.
- L'estimation des vitesses et du temps d'écoulement des eaux souterraines.
- L'évaluation de l'alimentation actuelle, avec la localisation des zones de recharge et de décharge.
- La détermination de mélange entre les masses.

5.2. *Le traçage des eaux souterraines par le couple (^{18}O , ^2H)*

L'ensemble des prélèvements a fait l'objet d'analyses isotopiques (^{18}O , ^2H et ^{14}C). Les teneurs en isotopes stables de la molécule d'eau ont été mesurées par spectrométrie de masse dans le laboratoire IAEA à Vienne. La mesure est exprimée par rapport au standard international SMOW (Standard Mean Ocean Water). L'incertitude analytique est de $\pm 0,2 \text{ ‰}$ pour l'oxygène 18 et de $\pm 0,1 \text{ ‰}$ pour le deutérium.

En absence d'une droite locale caractérisant la composition isotopique des eaux de pluies de la zone d'étude, on a considéré la droite météorique locale de Tunis-Carthage d'équation comme fonction d'entrée pour le système aquifère de Grombalia.

$$\delta ^2\text{H} (\text{‰}) = 8. \delta ^{18}\text{O} + 12,4 \text{ (Zouari et al., 1985, in Maliki, 2000)}$$

Cet excès en deutérium (12,4), inférieur à celui déterminé pour le bassin occidental de la méditerranée (14), traduit la contribution des masses de vapeur d'origine méditerranéenne.

5.2.1. *Les niveaux phréatiques*

Pour les niveaux phréatiques, les teneurs en oxygène 18 s'échelonnent entre $-5,55$ et $-2,8 \text{ ‰}$ vs SMOW. Pour le deutérium, les teneurs varient de $-35,6$ à 22 ‰ vs SMOW. Sur le diagramme Oxygène 18 vs Deutérium (Figure 16) les points représentatifs des puits de la nappe de Grombalia forment deux groupes.

Le premier groupe se place sur la droite des précipitations locales indiquant une infiltration rapide des eaux des pluies dans ce secteur, alors que les points représentatifs du deuxième groupe se placent selon une droite de pente inférieure à 8 qui pourrait correspondre à une droite d'évaporation.

5.2.2. *Les niveaux profonds*

Pour les niveaux aquifères profonds, les teneurs en oxygène 18 s'échelonnent entre $-5,99$ et $-3,5 \text{ ‰}$ vs SMOW. Pour le deutérium, les teneurs varient de $-36,2$ à $-25,6 \text{ ‰}$ vs SMOW. Sur le diagramme Oxygène 18 vs Deutérium (Figure 17), les points représentatifs des forages de la nappe de Grombalia forment trois groupes. On distingue :

- Le premier groupe est constitué de points situés en dessus de la droite météorique locale. Les différences dans les compositions isotopiques entre les eaux de la nappe et celle des précipitations peuvent être attribuables à un effet d'altitude.
- Les points représentatifs du deuxième groupe se situent sur la droite météorique locale de Tunis-Carthage ce qui indique qu'elles n'ont subi aucune modification après les condensations qui les ont générées.
- Les points représentatifs du troisième groupe se placent selon une droite de pente inférieure à 8, ce qui peut correspondre à une droite d'évaporation.

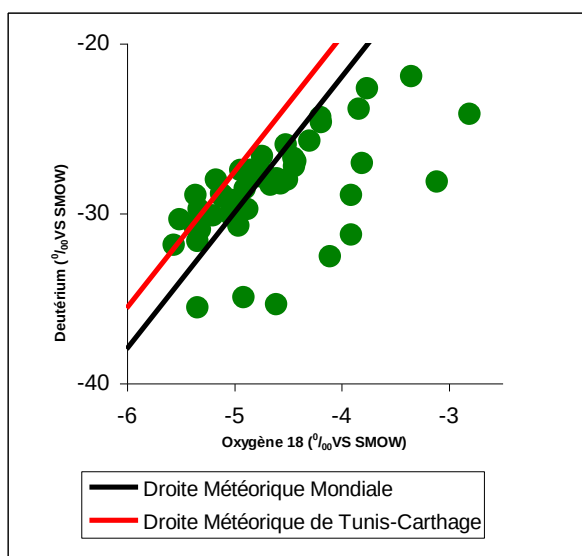


Figure 16 : Oxygène 18 vs Deutérium dans les eaux de la nappe phréatique de Grombalia

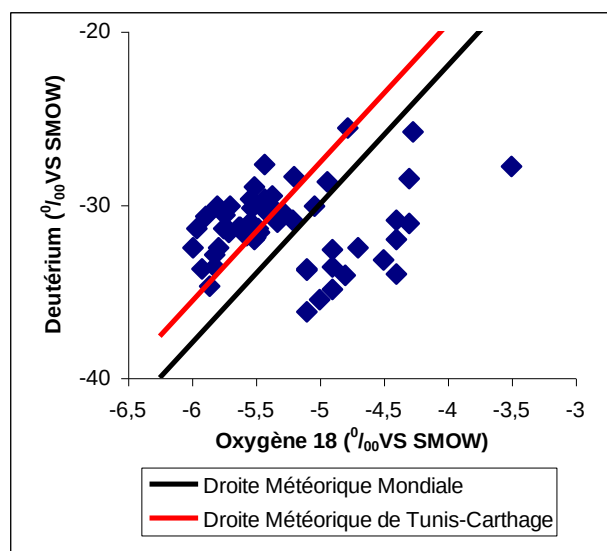


Figure 17 : Oxygène 18 vs Deutérium dans les eaux de la nappe profonde de Grombalia

L'étude isotopique des eaux du système aquifère de Grombalia par le couple Oxygène 18 vs Deutérium montre que les eaux des aquifères phréatiques présentent des teneurs en isotopes stables proches de ceux des niveaux profonds (Figure 18) ce qui témoigne de l'existence d'une communication hydraulique entre ces aquifères.

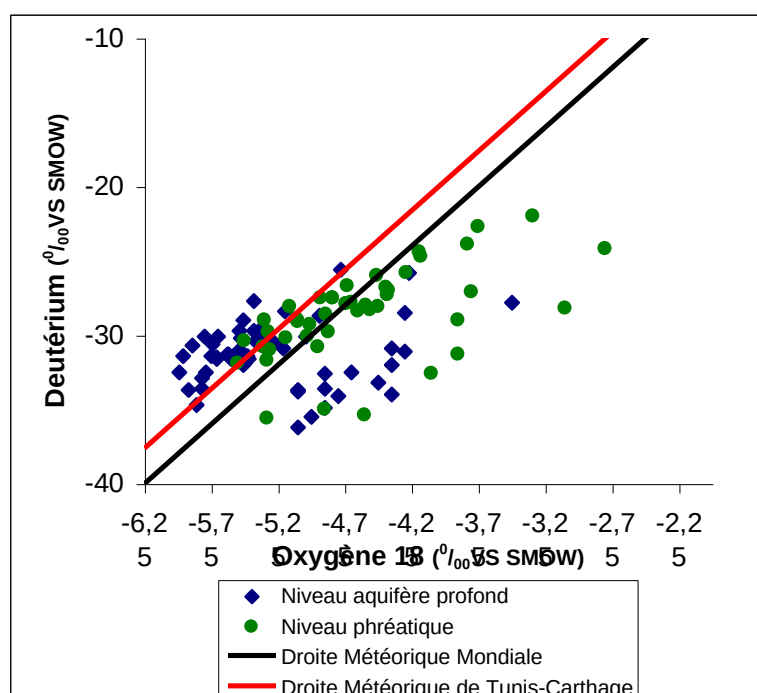


Figure 18 : Oxygène 18 vs Deutérium dans les eaux de la nappe profonde et phréatique de Grombalia

5.3. Le traçage des eaux souterraines par le carbone 14

Lors de cette étude, on a réalisé une campagne d'échantillonnage pendant le mois de février 2005. Les points d'eau échantillonnés se répartissent sur 17 puits de surface captant la nappe phréatique et 50 forages captant les niveaux aquifères profonds. Les datations au ^{14}C

ont été réalisées au Laboratoire de Radio-Analyses et Environnement à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de sfax.

5.3.1. Traçage du système phréatique par le carbone 14

Le traçage des eaux de la nappe de Grombalia par l'isotope radioactif C14 a montré que les eaux des niveaux phréatiques présentent de forte activité en carbone 14. Les âges corrigés s'échelonnent de 0 à 3337 ans BP. Ces fortes activités mesurées reflètent la contribution d'eau récente à l'alimentation de la nappe phréatique.

5.3.1. Traçage du système profond par le carbone 14

La carte de répartition des activités des eaux des niveaux profonds montre des valeurs qui décroissent en général dans le sens de l'écoulement. Elles varient entre 19 et 110 % suite à l'infiltration d'eaux plus récentes depuis le niveau phréatique. Les plus faibles activités en C14 de 20 à 30 % sont enregistrées au centre de la cuvette de Grombalia. Alors que les plus fortes activités en C14 de 80 à 100 % sont enregistrées en amont de la zone d'étude suite à l'infiltration des eaux plus récentes depuis le niveau phréatique.

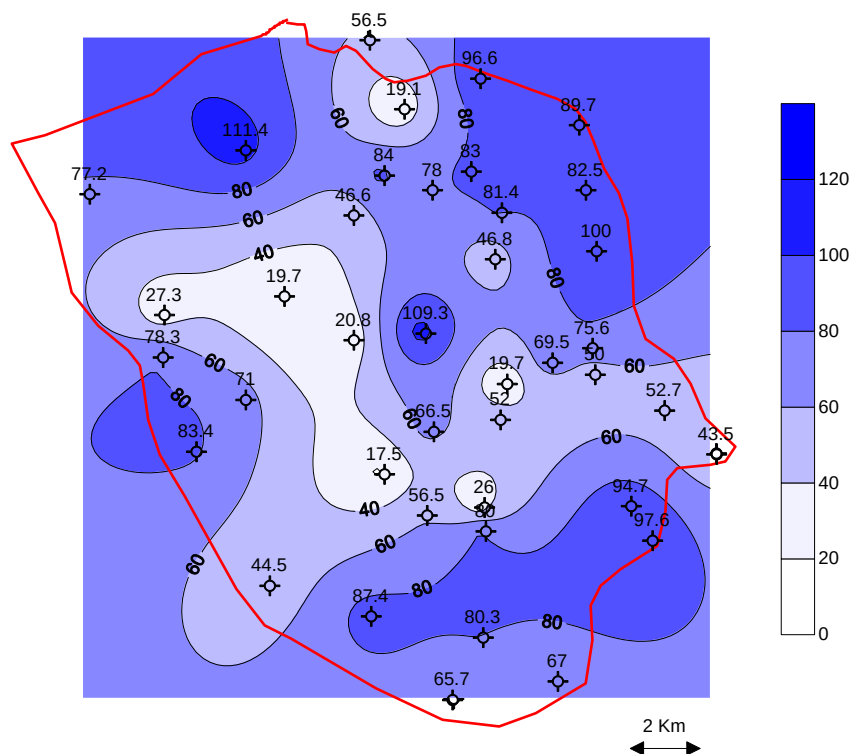


Figure 19 : Répartition spatiale des activités en carbone 14 des eaux de la nappe profonde de Grombalia

D'après le diagramme Activité C-14 vs Deutérium des eaux de la nappe profonde de Grombalia, on distingue trois types d'eaux (Figure 20):

- Des eaux anciennes caractérisées par des teneurs faibles en activités en ^{14}C de 20 à 30 % ;
- Des eaux récentes dont les activités en ^{14}C sont supérieures à 80 % ;
- Des eaux résultant du mélange entre les eaux anciennes et récentes dont l'activité est comprise entre 45 et 75%.

En conclusion les eaux de la nappe profonde de Grombalia résultent d'un mélange entre des eaux anciennes et des eaux récentes infiltrées depuis le niveau phréatique. Ceci confirme l'existence d'une communication hydraulique entre ces aquifères.

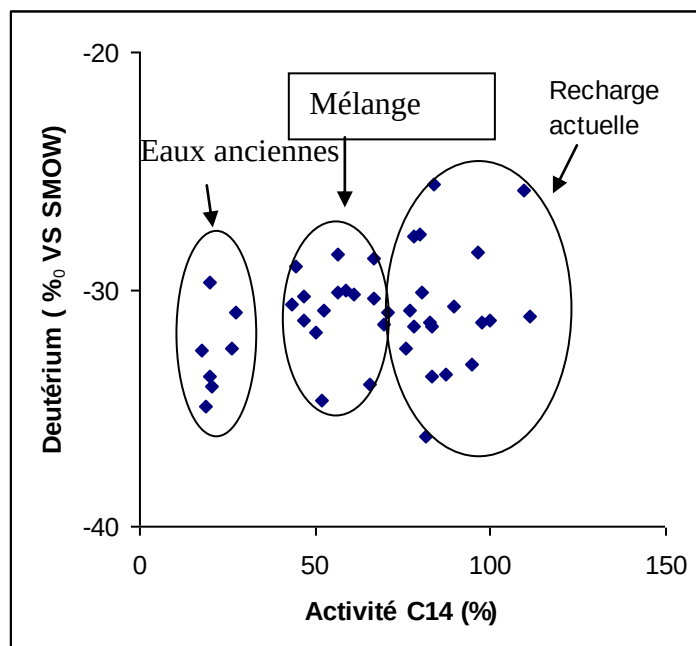


Figure 20 : Relations Activité ^{14}C vs Deutérium dans les eaux de la nappe profonde de Grombalia

5.4. Conclusion

L'approche isotopique a permis de mettre en évidence la recharge récente des niveaux phréatiques avec une activité élevée du ^{14}C confirmée par les isotopes stables qui montrent qu'il s'agit d'une infiltration directe des eaux de pluies. D'autres part, les eaux des niveaux aquifères profonds présentent de fortes activités en ^{14}C et des teneurs en isotopes stables proches de ceux des niveaux phréatiques ce qui confirme l'existence d'une communication hydraulique entre ces deux aquifères phréatique et profond.

Références bibliographiques

- Bellouti F., (1997) Etude géochimique, hydrogéologique et modélisation du système aquifère du bassin d'Errachidia-Boudenib (Sud-Est marocain) Thèse 3^{ème} cycle, Univ, de Tunis, Fac. des Sci. p 247.
- Ben Salem H (1992). Contribution à la connaissance de la géologie du Cap Bon : stratigraphique, tectonique et sédimentologie. Thèse de Doct. en géologie, Tunis II, p 134.
- Castany G., (1948) Les fossés d'effondrement du Tunis : Géologie et hydrologie .plaine de Gromblalia. p 18-39.
- Castany G. (1967) Traité pratique des eaux souterraines. Ed Dunod, Paris, 2^{ème} édition, p 471.
- Castany G. et Margat J. (1977) Dictionnaire français d'hydrogéologie. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Service géologique national. p 249.
- Coleman M. L., Sheperd T. J., Rousse T. E. et Moore G. R. (1982) Reduction of water with zinc for Hydrogen isotope analysis. *Analyt. Chem.*, 54, 993-995
- DGRE (1985-2005) Annuaire de l'exploitation des nappes phréatiques et profondes de la Tunisie.
- Dansgaard W. (1964) Stables isotopes in precipitations. *Tellus XVI*. Vol 4 (436-468)
- Daoud D. (1995) Caractérisation géochimique et isotopique des eaux souterraines et estimation du taux d'évaporation, dans le bassin du Chott-Chergui (Zone semi-aride), Algérie. These Doct Sc, Univ Paris-Sud, Orsay, p 256
- Ennabli M. (1970) Etude hydrologique de la plaine de Grombalia. Note de synthèse, Direction Générale des Ressources en Eau, Tunis, p 5-9.
- Etcheverry D. (2002). Valorisation des méthodes isotopiques pour les questions pratiques liées aux eaux souterraine, Isotope de l'oxygène et de l'hydrogène. Rapports de l'Office Fédéral des eaux et de Géologie (l'OFEG), Série Géologique p 71.
- Fonte J.ch (1971). Un ensemble destiné à la mesure de l'activité de radio-carbone naturel par scintillation liquide. *Rev.Géogr. Phys. et Géol. Dyn.* (2) p 67-86.
- Fonte J.ch (1976). Isotopes du milieu dans les eaux naturelles. *La Houille Blanche* N° 314. p 205-221.
- Godwin H. (1972) Half life of radiocarbon. *Nature*, 195-284
- Graig H. (1961). Standards for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science* 133, p 1833-1834.
- Maliki A. (2000). Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax (Tunisie). Thèse de Doctorat en géologie. Laboratoire. Radio-Analyse et Environnement. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, p 301.
- Merlivat L. and Jouzel J., (1979) Global climatic interpretation of Geophysical research, 84, C8: 5029-5033.
- Nir A. (1967) Development of isotope methods applied to groundwater hydrology . *Amm, Geophys. Union*, monographie, 11-09
- Olive P (1995) Introduction à l'hydrologie isotopique. Publication centre de recherche Géodynamique C.R.G. n° 411. p1-61.
- Schoeller H. (1939) Le Quaternaire du Golfe ancien de Grombalia 5tunisie). p14-30
- Turki M. M., Delteil J., Truilet R. et Yaïch C. (1988) Les inversions tectoniques de la Tunisie centro-septentrionale. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (8). Paris, T. IV, NO. 3, 1080p.
- Zouari K., Aranyossy J. F., Mamou A. et Fontes J. Ch. (1985) Etude isotopique et géochimique des mouvements et de l'évolution des solutions de la zone aérée des sols sous climat semi-aride (Sud tunisien). In : Stable and radioactive isotopes in the study of the unsaturated soil zone. IAEA-TECDOC-357, Vienna. p.121-144

Annexe II

Données Hydro chimiques et Isotopiques

Pour les eaux souterraines de la plaine de Grombalia

Tableau1 : Caractéristiques physiques des eaux du système aquifère profond de Grombalia

Forage	X	Y	Cond. (ms)	Temp. (°C)	pH
Salem Ben Slama	36° 32' 31"	10° 41' 02"	2,07	21	6,09
Abdelkader M'aiza	36° 34' 51"	10° 41' 36"	2,34	21,2	7,48
1 (Sarraz)	36° 35' 52"	10° 41' 74"	3,42	21,4	7,37
Taher EL Atrous	36° 39' 22"	10° 39' 15"	1,679	21,9	7,07
Société Gritli Dalenda Rezgui	36° 39' 00"	10° 36' 38"	1,863	21,7	7,27
Magon1	36° 34' 58"	10° 35' 13"	2,29	22	7,25
Abderrahman Ben Messaoud	36° 37' 34"	10° 35' 11"	1,29	21,7	7,12
SMVDA Katibia	36° 37' 03"	10° 32' 45"	1,541	21,6	7,4
Taieb Sghaier	36° 43' 26"	10° 36' 49"	2,15	22,5	7,01
Dallegi	36° 39' 38"	10° 35' 03"	2,13	22,4	7,54
Taher Hamada	36° 40' 06"	10° 33' 55"	1,943	22,2	7,17
SODACO	36° 41' 41"	10° 29' 59"	4,86	19,5	7,59
SONEDE	36° 44' 30"	10° 33' 46"	1,94	23	7,33
Med Bel Haj Amor	36° 38' 05"	10° 30' 37"	2,98	25	7,46
Kamel Sardouk	36° 36' 50"	10° 27' 01"	2,73	24,4	6,91
Intilaka 1	36° 40' 22"	10° 37' 47"	1,73	20,6	7,44
Ridha Tlili	36° 41' 28"	10° 39' 25"	1,31	20,6	6,94
Med Ben Alaya	36° 41' 22"	10° 36' 59"	1,596	19,5	7,05
SONEDE Sidi Kalboussi Rouihine	36° 41' 51"	10° 39' 23"	1,009	20,7	6,93
Salah EL Khsayri	36° 41' 06"	10° 34' 27"	2,45	22,3	7,44
Mouldi Gmati	36° 30' 21"	10° 36' 49"	1,086	22,7	7,6
Abderrazek Ben Othman	36° 28' 53"	10° 35' 14"	0,764	20,9	8,19
SONEDE AIC Bou Argoub	36° 31' 48"	10° 30' 42"	1,97	21,2	7,81
Sotupapier	36° 34' 12"	10° 33' 23"	1,002	20,7	7,45
Kamel Boujbel	36° 34' 18"	10° 42' 50"	1,211	22	7,4
Abdessalem Mejdoub et frères	36° 32' 47"	10° 36' 25"	3,86	22	7,09
Société Jnane	36° 41' 07"	10° 25' 25"	2,68	23,6	7,41
Hmaied Chenguel	36° 30' 70"	10° 33' 12"	2,83	19,2	7,51
Med Hedi Mejdoub	36° 33' 42"	10° 35' 33"	1,011	19,6	7,97
Iktissad1	36° 36' 78"	10° 39' 90"	2,89	19,7	7,2
Lotfi Dougas	36° 30' 58"	10° 38' 45"	2,1	17,2	7,76
Abderrahim Bel Haj Ali	36° 34' 82"	10° 28' 65"	3,17	19,5	7,32
Samir Ben Zouitine	36° 42' 62"	10° 34' 81"	1,724	14	7,68
Med Ameur Morana3			3,52	19,6	7,64
Jamil Abessi			2,69	19,5	7,3
Hmaied Dougas			1,521	20,2	7,75
Yousef Tarbaouit			1,119	21,4	7,13
Habib Ben M'tir el Ouayli			0,753	22,6	7,79
Kais Noura			2,31	21,6	7,25
Cherif Nammouchi			2,02	22,2	7,34
Mohamed Bousmina			0,595	21,3	7,93
Habib Bousmina			1,333	25,5	7,76
Mohamed Boumayla			1,009	21,9	7,38
AIC Bayoub			1,063	21,5	7,4
Lotfi Khsairi			1,509	21,4	7,04
Touhami Ben Rhouma			1,285	22,9	7,38
Mohamed Bennis			1,932	21,8	7,46
Jamil Khayrallah abessi			2,08	23	7,13
Jalila			1,831	23,3	7,86
Pépinère Grombalia			3,59	22,7	7,1
Mongi Jlail			2,33	21,9	7,45
Noureddine Chaabani			2,15	22	7,31
AIC el Oulja			1,164	21,8	7,6
Khmais Slama			1,93	26,7	7,35
Helmi ben chida			2,54	22,5	7,3
SMVDA Narjess			1,416	23,6	7,42
Saoussen Bel Khiria			3,04	23,5	7,31

Tableau2 : Caractéristiques physiques des eaux du système aquifère phréatique de Grombalia

Puit	X	Y	Cond. (ms)	Temp. (°C)	pH	Niveau Statique (m)	Margelle (m)	Profondeur Totale (m)
1187	9 G 18' 96"	40 G 68' 30"	2,68	14,9	7,34	2,68	0,5	9,8
8585	9 G 18' 10"	40 G 70' 45"	3,54	14,8	7,33	12,87	1,3	14,8
1867	9 G 20' 05"	40 G 70' 20"	1,695	14,6	7,41	4,28	0,7	9,6
5558	9 G 19' 06"	40 G 74' 16"	1,817	11,9	7,63	22,25	1	22,55
3300	9 G 13' 75"	40 G 75' 35"	3,93	15,8	7,02	6,93	0,8	16,55
1781	9 G 17' 65"	40 G 76' 17"	2,22	18	7,62	23,18	1,7	30,5
7856	9 G 19' 40"	40 G 80' 70"	3,73	17	7,1	3,54	0,4	14,4
8564b	9 G 17' 50"	40 G 78' 18"	2,25	17,5	7,41	10,38	0,5	16,6
8543	9 G 14' 00"	40 G 78' 80"	4,35	18,3	7,16	18,85	0,7	22
8536b	9 G 14' 50"	40 G 77' 40"	3,27	16,8	7,43	13,6	1	25,1
7149	9 G 20' 10"	40 G 72' 27"	4,19	18,2	7,17	22,5	1,8	24,12
336	9 G 16' 09"	40 G 64' 55"	1,419	17,6	7,92	28,85	0,8	31,9
1930	9 G 14' 90"	40 G 67' 90"	4,65	16,9	7,07	12,9	1,4	18,8
8588	9 G 12' 64"	40 G 67' 85"	7,84	17	7,09	3,5	0,6	8,4
8582	9 G 14' 60"	40 G 73' 00"	2,55	20,6	7,05	7,85	1	21,65
1937b	9 G 12' 80"	40 G 68' 88"	7,09	14,8	7,61	3,35	1,1	11,9
8580	9 G 10' 85"	40 G 71' 40"	4,89	16	7,34	1,1	0,9	13,6
3779	9 G 12' 66"	40 G 72' 10"	3,91	18,1	7,28	0,77	0,6	11,45
8583	9 G 11' 60"	40 G 73' 05"	2,5	18,5	7,27	1,48	0,9	7,05
2481	9 G 02' 92"	40 G 73' 08"	4,07	18,3	7,02	3,04	0,8	5,65
1467	9 G 01' 70"	40 G 74' 25"	2,4	16,3	7,14	3,85	1,4	11,55
8584	9 G 10' 60"	40 G 75' 00"	5,72	17	7	1,35	0,8	11,84
8581	9 G 09' 90"	40 G 77' 75"	4,1	19,4	7,17	8,3	0,9	15,8
2234b	9 G 02' 95"	40 G 81' 40"	3,55	21,2	7,33	8,7	0,1	12,3
2228b	9 G 10' 90"	40 G 80' 80"	1,122	18,4	7,64	6	0,7	9,15
1404	9 G 08' 55"	40 G 79' 40"	5,22	18,3	7,29	3,26	0,8	6,55
2223	9 G 06' 80"	40 G 77' 80"	2,81	17,6	7,47	6,27	0,6	7,9
2070	9 G 13' 00"	40 G 59' 25"	2,77	14,5	7,21	7,23	1	16,43
2008	9 G 10' 00"	40 G 62' 62"	3,7	16,4	7,04	6,84	1,4	22,5
2198	9 G 04' 60"	40 G 67' 08"	3,08	16,6	7,17	20,44	0,8	29,35
1424	9 G 03' 98"	40 G 71' 18"	2,77	15	7,19	4,64	0,6	13
2551	9 G 03' 25"	40 G 75' 50"	4,1	15,4	7,24	1,84	0,8	24,5
2543	9 G 00' 10"	40 G 75' 50"	2,76	14,7	7,37	4,7	0,8	15,75
2537	9 G 01' 10"	40 G 77' 40"	1,821	17	7,53	2,64	0,8	5,45
337	9 G 06' 25"	40 G 74' 20"	5,01	12,9	7,86	1,38	0,6	6
2171	9 G 06' 75"	40 G 70' 25"	5,18	13,4	7,61	1,55	0,2	
2102	9 G 09' 40"	40 G 68' 00"	4,38	16,5	7,37	7,28	0,8	14,6
8589	9 G 13' 12"	40 G 66' 55"	6,65	15,5	7,09	6,2	1	17
1985	9 G 13' 12"	40 G 64' 80"	5,6	13,9	7,23	5	0,85	
2534	9 G 03' 05"	40 G 77' 45"	3,7	19,5	7,28	4,71	0,9	6,54
2020	9 G 13' 25"	40 G 63' 53"	3,65	15,9	7,5	3,55	1,1	10
8844	9 G 10' 45"	40 G 64' 02"	3,76	15,3	7,26	1,15	0,6	9,2
2025	9 G 11' 62"	40 G 61' 47"	4,16	16,8	7,02	8	0,5	18
1933	9 G 07' 90"	40 G 64' 68"	3,72	16,4	7,25	15,45	0,8	19,5
2183	9 G 05' 40"	40 G 68' 50"	2,57	16,2	7,53	7,8	0,6	14,2
6922	9 G 02' 14"	40 G 68' 37"	2,68	17,2	6,91	21,4	0,2	33,15

Tableau3 : Caractéristiques chimiques (mg/l) des eaux du système aquifère profond de Grombalia

Forage	Cl	NO3	SO4	CO3	HCO3	Na	K	Mg	Ca	RS	Err
Salem Ben Slama	415,8	66,5	123,3	0	420,9	179,5	6,8	19,2	241,4	1841	-1,47
Abdelkader M'aiza	385,7	0,0	449,1	0	402,6	397,8	20,2	58,9	75,6	1784	-0,73
Sarra	907,7	0,0	166,8	0	658,8	543,3	18,3	79,1	123,7	2568	-4,04
Taher El Atrous	400,2	114,3	137,6	0	372,1	165,0	2,1	29,2	220,6	1609	-3,36
Société Gritli	484,4	51,7	224,2	0	359,9	250,4	9,2	48,1	161,0	1643	-4,00
Magon1	502,8	0,0	302,0	0	341,6	212,4	4,6	87,7	148,1	1987	-4,19
Abderrahman Ben Messaoud	446,8	36,1	365,9	0	323,3	259,6	7,8	55,0	199,9	1882	-0,18
Kamel Boujbel	174,1	75,8	27,4	0	274,5	135,1	27,2	17,9	77,2	1102	3,03
AIC Bouargoub	311,1	0,0	121,1	0	488	198,8	13,2	79,8	112,3	1205	4,59
Taieb Sghaier	517,8	81,0	110,0	0	329,4	162,0	4,8	39,6	242,0	1663	-2,34
abdessalem Mejdoub	956,0	0,0	783,5	0	664,9	490,0	13,2	239,5	298,8	3163	1,91
Taher Hamada	1546,4	255,8	809,8	0	359,9	889,4	16,6	108,9	556,0	4659	3,66
Mohamed Boumayla	89,6	27,9	45,2	12	244	65,2	9,8	39,6	54,0	470	4,20
SONEDE	449,8	55,6	211,7	0	317,2	311,6	4,1	38,3	142,2	1739	1,54
Med Bel Haj Amor	681,4	0,0	312,9	0	384,3	401,5	19,8	83,0	127,1	1804	-1,40
Kamel Sardouk	598,8	53,4	260,6	0	427	248,2	0,0	66,9	250,4	1815	-2,30
Pépinière Grombalia	823,1	28,8	418,1	0	298,9	409,5	0,0	100,0	271,2	2360	3,00
Ridha Tlili	225,7	13,2	68,4	0	353,8	93,0	1,9	19,3	136,0	759	-5,03
M'hamed Ben Alaya	348,5	99,5	70,0	0	329,4	95,8	7,2	55,7	163,0	1593	-3,43
Sonède sidi Kalboussi	135,5	67,1	5,3	0	305	70,0	3,1	18,1	115,5	640	1,83
Salah Khsairi	385,9	212,9	300,2	0	237,9	255,6	18,6	34,7	195,8	1582	-0,48
Mouldi Gmati	199,4	37,9	64,3	0	250,1	103,0	10,0	31,5	80,9	1109	-1,29
Noureddine chaabani	345,9	21,0	264,3	0	359,9	240,3	22,9	55,8	109,9	1370	-0,89
Helmi ben chhida	632,4	0,0	174,7	0	311,1	234,5	0,0	46,1	223,1	1530	-2,76
Mongi Jlail	426,6	0,0	247,2	30	237,9	288,2	10,9	50,1	85,1	1340	-2,04
Habib Bousmina	217,2	49,8	167,6	0	231,8	133,2	3,2	38,8	108,2	930	0,88
AIC El Oulja	181,3	22,2	33,5	30	323,3	104,9	5,6	42,1	62,9	730	-4,85
Khairallah Abessi	221,9	0,0	142,7	0	396,5	199,8	16,0	30,6	70,2	1230	-1,98
Lotfi Khsairi	349,8	10,4	41,2	0	280,6	93,4	1,4	21,0	174,4	1060	-3,17
Khmais Slama	238,0	0,0	209,3	24	347,7	186,2	11,6	62,3	61,9	1130	-2,77
Med Bennis	345,7	0,0	74,2	36	329,4	174,4	2,5	65,0	95,8	1070	-0,29
Kais Noura	659,5	0,0	479,1	36	128,1	255,6	8,4	116,6	233,7	2010	1,16
AIC Bayoub	143,6	0,0	82,9	60	317,2	96,4	8,3	48,7	72,5	630	-3,70
Med Bousmina	42,6	10,7	41,4	30	157,9	30,6	4,7	18,3	54,8	375	-1,03
Touhami Ben Rhouma	224,5	16,4	47,9	0	335,5	98,4	3,4	43,1	93,5	780	-2,01
Youssef Tarbaouit	130,6	27,3	12,1	18	311,1	69,2	2,0	31,8	89,6	670	0,39
Saoussen Bel Khiria	851,9	0,0	191,8	0	292,8	385,5	100,9	61,3	165,7	1740	-0,23
Cherif Nammouchi	369,0	0,0	511,3	0	231,8	102,1	3,7	101,3	215,5	1480	-2,48
SMVDA Narjess	268,1	0,0	65,8	0	366	154,5	23,0	31,0	122,4	880	3,38
Habib Ben M'tir El Waili	55,0	7,1	69,1	12	262,3	51,9	5,0	34,7	44,1	460	-2,35
Jalila	299,9	0,0	158,7	12	311	210,2	12,2	47,1	60,7	1000	-2,66
Jamil Abessi	692,6	91,5	330,4	0	122	270,0	3,2	52,7	321,2	1999	3,76
SMVDA Katibia	170,9	0,0	116,3	0	402,6	196,5	5,1	30,5	63,5	931	1,81
Dallegi	504,1	190,2	258,3	0	329,4	245,6	3,7	32,5	290,3	2121	-0,17
SODACO	1143,9	0,0	569,3	0	329,4	572,6	16,1	97,7	235,5	3400	-4,63
Intilaka 1	109,1	48,9	38,1	0	298,9	70,7	1,0	12,9	99,8	657	-2,20
Abderrazek Ben Othman	79,3	23,2	67,1	0	231,8	47,2	1,0	22,1	68,2	487	-3,33
Sotupapier	85,5	14,6	88,9	0	250,3	102,2	3,1	26,8	49,2	550	3,28
Société Jnane	542,7	142,1	139,5	0	384,3	269,4	1,6	51,7	205,5	1854	-0,97
Hmaied Chenguel	500,7	21,8	455,1	0	312,5	263,9	4,5	86,7	206,2	1965	-0,06
Med Hedi Mejdoub	85,8	27,6	62,6	0	300	72,9	2,2	35,7	72,6	600	3,75
Iktissad1	591,0	50,2	156,0	0	341,6	218,0	3,3	68,2	198,4	2129	-2,41
Lotfi Douglas	300,6	47,0	88,3	0	512,4	145,8	9,5	58,2	130,8	1204	-4,19
Abderrahim Bel Haj Ali	503,2	0,0	529,2	0	400,2	346,3	5,5	76,2	194,8	2154	-0,89
Samir Ben Zouitine	284,3	22,1	134,1	0	305	206,4	10,9	27,0	85,3	1017	-1,36
Med Ameer Morana3	495,6	53,3	174,1	0	359,9	297,6	5,4	52,4	124,8	1798	-2,10
Hmaied Douglas	224,1	42,2	73,6	0	366	91,6	2,3	30,5	165,9	1025	1,03

Tableau4 : Caractéristiques chimiques (mg/l) des eaux du système aquifère phréatique de Grombalia

N Ech	Cl	NO3	SO4	CO3	HCO3	Na	K	Mg	Ca	Err	RS
G2070	526,8	129,7	416,1	0	396,5	308,0	0	49,7	278,6	-1,1	2057
G2008	661,7	64,3	543,7	12	378,2	394,7	26,3	90,0	267,4	1,3	2953
G2198	539,8	49,5	439,2	0	457,5	262,9	0	91,4	321,5	3,5	2258
G1424	680,7	90,5	159,5	0	390,4	341,5	0	54,8	206,9	-1,1	2082
G2551	886,5	38,9	462,5	0	451,4	600,8	0	102,2	195,8	1,9	3047
G2543	584,3	84,2	200,1	0	335,5	239,4	58,6	57,4	166,2	-4,9	2004
G2537	335,7	61,2	197,1	12	231,8	213,8	13,9	51,6	117,6	2,7	1292
G337	1183,4	0,0	706,3	12	250,1	712,1	0	163,7	236,6	3,4	3834
G2171	1056,1	304,3	581,2	18	347,7	797,2	0	149,3	210,2	4,0	3926
G2102	735,2	75,8	849,5	0	488	551,1	0	163,5	242,2	1,9	3493
G8589	1794,8	158,9	568,7	0	359,9	811,6	0	205,4	479,7	3,6	5416
G1985	1782,2	68,4	840,4	0	420,9	863,5	0	203,6	380,3	-1,6	4730
G1187	446,2	37,1	370,3	0	353,8	257,0	0	49,3	240,5	1,0	1845
G8585	634,6	152,9	520,9	0	359,9	230,0	0	80,1	423,4	0,9	2949
G1867	320,1	59,9	73,8	0	359,9	162,0	16,5	26,6	130,6	-3,7	1155
G3300	705,5	79,3	611,4	0	494,1	430,4	36,2	100,6	368,4	4,9	3035
G1781	443,9	117,0	109,1	0	262,3	144,8	0	30,6	215,4	-3,4	1705
G7856	696,7	48,6	629,8	0	530,7	431,1	0	58,0	339,6	-2,1	2981
G8564b	308,2	148,7	247,1	0	366	246,7	0	26,5	172,5	-1,6	1540
G8543	634,6	47,3	1011,6	0	390,4	404,0	0	62,3	455,4	-0,7	3618
G8536b	660,4	79,8	419,5	0	384,3	341,3	0	50,0	370,6	3,5	2474
G7149	867,8	242,6	414,5	0	305	364,0	0	64,3	494,5	4,4	3363
G336	256,4	14,9	152,9	0	280,6	137,9	0	38,8	101,5	-3,4	970
G1930	1060,4	99,2	467,8	0	390,4	535,4	0	104,2	386,8	3,6	3578
G8588	2373,5	357,1	560,0	0	286,7	1017,3	0	252,7	549,1	1,9	5914
G8582	327,0	137,3	465,9	0	506,3	280,9	68,9	55,8	199,7	-1,5	2011
G1937b	1954,3	0,0	766,4	18	451,4	997,2	0	219,2	340,9	-0,4	5694
G8580	1504,5	383,0	707,6	0	298,9	698,0	0	145,1	604,9	3,1	4221
G3779	599,0	36,0	950,3	0	414,8	364,5	6,8	147,7	345,2	1,5	3230
G8583	479,2	0,0	457,0	0	366	330,2	0	60,4	179,5	-1,3	1848
G8584	2060,7	114,0	648,9	0	427	968,9	30,0	162,4	392,4	-2,9	4738
G8581	1027,8	212,3	430,5	0	298,9	476,4	83,7	94,0	334,2	1,1	3040
G2234b	681,2	146,5	514,8	24	286,7	483,0	89,6	67,6	240,1	3,9	2695
G2228b	178,6	22,4	67,0	0	292,8	103,2	0	18,2	107,3	-1,1	746
G1404	1704,7	309,4	568,9	0	244	878,7	0	117,8	341,9	-2,9	4139
G2223	428,7	72,3	362,1	0	378,2	309,8	14,9	58,4	195,7	2,6	1958
G2534	800,9	31,3	357,6	0	292,8	468,8	0	68,2	197,4	0,7	2673
G2020	530,3	134,0	633,8	0	536,8	441,7	159,6	110,2	202,0	4,1	2995
G8844	1029,1	0,0	665,8	0	292,8	364,5	31,0	147,7	345,2	-1,7	3041
G2025	863,1	58,1	680,5	0	390,4	364,3	0	138,7	397,3	1,4	3517
G1933	879,1	111,5	420,4	0	414,8	470,7	0	90,2	337,9	3,0	3034
G2183	808,7	0,0	157,3	0	366	339,7	0	73,1	181,6	-3,6	1998
G6922	701,0	67,9	239,5	0	463,6	304,8	0	55,2	255,3	-4,5	2199
G2481	771,2	90,9	704,5	0	610	617,7	0	130,0	274,6	3,4	3442
G1467	645,0	0,0	66,4	0	378,2	272,9	0	48,7	149,1	-5,0	1865
G8584	1603,7	150,1	840,4	0	427	899,3	0	162,4	392,4	0,0	4738
G5558	363,0	87,3	210,4	0	231,8	149,3	0	17,8	213,7	-3,1	1399

Tableau5 : Résultats des analyses isotopiques des eaux du système aquifère profond de Grombalia

Forage	^{18}O (‰ V-SMOW)	^2H (‰ V-SMOW)	Activité ^{14}C ‰	Age apparent (ans BP)	^{13}C (‰ PDB)	Tritium TU
Salem Ben Slama	-5,75	-31,4	97,6 ± 1,2	193 ± 99	-14,02	
Abdelkader M'aiza	-5,21	-30,9	52,7 ± 0,9	5142 ± 140	-13	
1 (Sarraz)	-5,53	-30,2	61 ± 1,3	3960 ± 167	-11,2	
Taher EL Atrous	-5,63	-31,3	100	Actuel	-14,39	
Société Gritli Dalenda REZGUI	-5,62	-31,3	46,8 ± 1	6089 ± 173	-12,09	
Magon1	-4,94	-28,7	66,5 ± 1,7	3280 ± 205	-11,26	
Abderrahman Ben Messaoud	-4,27	-25,8	109,3 ± 1,3	Actuel	-12,25	
SMVDA Katibia	-4,8	-34,1	20,8 ± 0,7	12622 ± 272	-9,5	
Taieb Sghaier	-5,2	-28,4	96,6 ± 1,2	278 ± 103	-13,14	
Dallegi	-3,5	-27,8	78 ± 1,3	1997 ± 136	-12,48	
Taher Hamada	-5,38	-30,3	46,6 ± 1	6136 ± 171	-11	
SODACO	-4,3	-31,1	111,4 ± 1,4	Actuel	-12,07	
SONEDE	-5,8	-30,1	56,5 ± 0,85	4579 ± 120	-13	
Med Bel Haj Amor	-5,43	-29,7	19,7 ± 0,64	13028 ± 262	-8,87	
Kamel Sardouk	-5,47	-31,6	78,3 ± 1,4	1962 ± 145	-13	
Intilaka 1	-5,1	-36,2	81,4 ± 1,03	1657 ± 101	-13,11	
Ridha Tlili	-5,96	-31,4	82,5 ± 1,4	1539 ± 135	-14,27	
Med Ben Alaya	-5,6	-31,6	83 ± 1,1	1470 ± 115	-13,44	
SONEDE Sidi Kalboussi Rouihine	-5,89	-30,7	89,7 ± 1,08	869 ± 96	-14,34	
Salah EL Khsayri	-4,78	-25,6	84 ± 1,13	1400 ± 107	-11,85	
Mouldi Gmati	-5,7	-30,1	80,3 ± 1,6	1763 ± 161	-12,31	
Abderrazek Ben Othman	-4,4	-34	65,7 ± 1,6	3368 ± 202	-11,59	
SONEDE AIC Bou Argoub	-5,51	-29	44,5 ± 1,2	6495 ± 217	-9,67	
Sotupapier	-4,9	-32,6	17,5 ± 1,2	13993 ± 563	-9,94	
Kamel Boujbel	-5,74	-30,6	43,5 ± 1,2	6674 ± 216	-12,34	
Abdessalem Mejdoub et frères	-5,43	-27,7	80 ± 1,6	1787 ± 160	-13,5	
Société Jnane	-4,4	-30,9	77,2 ± 1,1	2078 ± 121	-12	
Hmaied Chenguel	-4,9	-33,6	87,4 ± 1,4	1081 ± 126	-11,5	
Med Hedi Mejdoub	-4,3	-28,5	56,5 ± 1,1	4585 ± 154	-10,2	
Iktissad1	-4,7	-32,5	75,6 ± 1,4	2240 ± 149	-11,6	
Lotfi Dougas	-4,5	-33,2	94,7 ± 1,1	434 ± 94	-12	2 ± 0,3
Abderrahim Bel Haj Ali	-5,1	-33,7	83,4 ± 2	1455 ± 197	-11,8	
Samir Ben Zouitine	-4,9	-34,9	19,1 ± 1,4	13281 ± 575	-11	
Med Ameer Morana3	-5	-35,5				
Jamil Abessi	-4,4	-32				
Hmaied Dougas	-5,1	-33,8				
Yousef Tarbaoui	-5,54	-29,7	74 ± 1,4	2414 ± 157	-12,64	
Habib Ben M'tir el Ouayli	-5,5	-31,9	81 ± 1,2	1695 ± 124	-12,2	
Kais Noura	-5,37	-29,5			-12,48	
Cherif Nammouchi	-5,42	-30,4	67 ± 1,2	3195 ± 1,5	-11,13	
Mohamed Bousmina	-5,71	-31,5	70,5 ± 1,2	2800 ± 136	-11,88	
Habib Bousmina	-5,28	-30,5	93 ± 1,3	555 ± 112	-11,39	
Mohamed Boumayla	-5,04	-30,1	60 ± 1	4083 ± 133	-11,85	
AIC Bayoub	-5,82	-33,6			-12,56	
Lotfi Khsairi	-5,79	-32,5	98,2 ± 1,3	140 ± 107	-14,35	
Touhami Ben Rhouma	-5,71	-31,6	63 ± 1,2	3735 ± 155	-13,05	
Mohamed Bennis	-5,57	-31,8	50 ± 1,1	5580 ± 145	-12,29	
Jamil Khayrallah abessi	-5,39	-30	58,5 ± 1	4306 ± 145	-12,23	
Jalila	-5,48	-31,4				
Pépière Grombalia	-5,33	-31	71 ± 1,1	2744 ± 133	-12,98	
Mongi Jlaïl	-5,86	-34,7	52 ± 1	5231 ± 152	-13,13	
Noureddine Chaabani	-5,51	-32	51 ± 1,1	5410 ± 175	-13,02	
AIC el Oulja	-5,99	-32,5	26 ± 0,8	10909 ± 255	-12,46	
Khmais Slama	-5,92	-33,7	19,7 ± 0,7	13033 ± 294	-11,49	
Helmi ben chida	-5,6	-31,5	69,5 ± 1,1	2920 ± 127	-12,72	
SMVDA Narjess	-5,82	-32,9			-13,48	
Saoussen Bel Khiria	-5,54	-31	27,3 ± 0,9	10415 ± 284	-10,04	

Tableau 6 : Résultats des analyses isotopiques des eaux du système aquifère phréatique de Grombalia

N Ech	^{18}O (‰ V-SMOW)	^2H (‰ V-SMOW)	Activité ^{14}C ‰	Age apparent (ans BP)	^{13}C (‰ PDB)	Tritium TU
G2070	-5,11	-28,9	118 ± 2	Actuel		4,5 ± 0,4
G2008	-4,84	-27,5				
G2198	-3,1	-28,2	119,4 ± 1,3	Actuel		4,1 ± 0,3
G1424	-5,33	-35,6				
G2551	-5,35	-29				
G2543	-5,19	-30,2				1,2 ± 0,3
G2537	-5,31	-31				
G337	-3,75	-22,7	68 ± 1,4	3098 ± 171		
G2171	-4,65	-28,4				
G2102	-5,01	-29,3				3,7 ± 0,3
G8589	-5,03	-30,1	76,3 ± 1,1	2167 ± 118		
G1985	-4,73	-26,7				
G1187	-4,87	-29,8	118 ± 1,3	Actuel		
G8585	-4,29	-25,8				
G1867	-4,7	-27,8				
G3300	-4,19	-24,4	115,6 ± 1,3	Actuel		
G1781	-5,36	-30,8	101,2 ± 1,5	Actuel		3,1 ± 0,3
G7856	-4,42	-27				
G8564b	-4,6	-35,4				2,1 ± 0,5
G8543	-3,83	-23,9				
G8536b	-3,34	-22	82,9 ± 1,06	1506 ± 103		
G7149	-4,1	-32,6				3,7 ± 0,4
G336	-5,32	-29,8	80,5 ± 1,3	1738 ± 128		
G1930	-3,8	-27,1				3,9 ± 0,3
G8588	-4,56	-28,3				
G8582	-4,89	-28,6				3,9 ± 0,4
G1937b	-4,51	-26				
G8580	-2,8	-24,2	94,7 ± 1,1	439 ± 95		3,4 ± 0,4
G3779	-4,18	-24,7				
G8583	-5,33	-31,7				
G8581	-4,59	-28	114 ± 1,4	Actuel		3,3 ± 0,3
G2234b	-3,9	-31,3				2,8 ± 0,3
G2228b	-5,1	-29	39 ± 0,85	7537 ± 173		
G1404	-4,43	-27,3				
G2223	-4,95	-30,8	106 ± 1,2	Actuel		3,6 ± 0,4
G2534	-4,9	-35				1,5 ± 0,4
G2020	-3,9	-29				
G8844	-4,84	-27,5	103 ± 1,2	Actuel		
G2025	-4,74	-27,9	104 ± 1,4	Actuel		
G1933	-4,93	-27,5				
G2183	-5,1	-29,1	97,8 ± 1,3	173 ± 104		
G6922	-5,55	-31,9				
G2481	-5,5	-30,4	115 ± 1,4	Actuel		2,5 ± 0,3
G1467	-5,16	-28,1				
G8584	-4,44	-26,8				3,8 ± 0,5
G5558	-4,5	-28,1				