

## Le système aquifère de la Grande Sebkhah d'Oran : considérations géologiques et hydrogéologiques

### *The aquifer system of the Great Sebkhah of Oran : Geological and hydrogeological considerations*

Ahmed BENZIANE

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-Mohamed Boudiaf, Faculté d'Architecture et de Génie civil, Département de Génie civil, Laboratoire de Matériaux, Sols et Thermique, B.P 1505 El Mnaouer, Oran, Algérie (ah.benziane@gmail.com).

**Résumé.** La Grande Sebkhah d'Oran (lac salé de 300 km<sup>2</sup>) constitue, de par sa nature écologique, un écosystème où se développent une faune et une flore spécifiques des milieux salins. Le site a été classé en 2002, par la convention de Ramsar, comme une zone humide d'importance mondiale. Son bassin de drainage, estimé à 1890 km<sup>2</sup>, est limité par deux imposants reliefs : le Djebel Murdjadjo culminant à plus de 580 m au nord et les Monts des Tessala, à plus de 1050 m au sud. Dans cet ensemble, les écoulements d'eau, aussi bien de surface que souterrains, prennent naissance sur les versants et convergent vers la zone de décharge du lac salé de la Grande Sebkhah d'Oran (environ 80 m d'altitude). L'étude entreprise constitue une synthèse des connaissances accumulées sur différentes zones du bassin depuis la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle. L'essentiel de ces travaux a été retenu pour concevoir, sur un fond topographique numérisé, une carte de l'ensemble du bassin à l'échelle 1/200 000, dressée sur une base de données du type SIG, indispensable pour les futurs travaux de reconnaissance et d'aménagement. Les travaux antérieurs ont été largement exploités pour mettre en évidence le cadre structural du bassin et son système aquifère multicouche. Une campagne de prélèvement d'échantillons d'eau a été faite sur 50 points captant les différents niveaux du système aquifère en vue de l'étude chimique des éléments majeurs. Les résultats d'analyses ont permis d'aborder la problématique de la salinisation du milieu et de classer les eaux sur la base du faciès chimique.

**Mots-clés :** Sebkhah, zone humide, géologie, cartographie, hydrogéologie, aménagement, salinisation.

**Abstract.** The great Sebkhah of Oran (salt lake of 300 km<sup>2</sup>) constitutes a natural developed ecosystem where exist a specific fauna and flora of saline environments. The site was ranked in 2002, as wetlands of international importance by the Ramsar Convention. Its watershed, estimated at 1890 km<sup>2</sup>, is bordered by two large reliefs: Djebel Murdjadjo culminating over 580 m height to the North and Tessala Mountains culminating over 1050 m height to the South. In this set, both surface and underground water flows take place on slopes and flow towards the discharge area of the salt lake of the Great Sebkhah of Oran (about 80 m above sea level). The carried study is a synthesis of the knowledge on different zones of the basin, accumulated during the second half of the 19th century. Much of this work was used to establish, a digital topographic map of the basin at a scale of 1/200 000, built up on a GIS database, useful for future recognition and planning. Previous works have also been used extensively to highlight the structural framework of the basin and its multilayer aquifer system. A campaign of water sampling of 50 points capturing different levels of the aquifer system was done for chemical analyzes of major elements. The results allowed us to approach the problem of salinization and to classify waters based on the chemical profile.

**Keyword :** Sebkhah, wetland, geology, mapping, hydrology, planning, salinization.

#### Abridged English version

The Great Sebkhah of Oran, by its proximity to the second great Algerian city, is an important concern of governments that have followed since the second half of the 19th century (Fig. 1).

#### *Morphological and structural presentation*

The watershed of the Great Sebkhah of Oran extends over an estimated area of about 1890 km<sup>2</sup>. According to Petroleum Geologists (Perrodon 1957), It would be part of the western extremity of the Neogene basin of Lower Cheliff. This area subsided with a sedimentation load rate (largely exceeding 300 meter/million years) (Thomas 1985), presumably presents a major continental alluvial sedimentation in the axial area. It is also asymmetrical due to the difference in dip of the outcrops (gentle in the North, steep in South). The basin is delimited by faults, especially to the South, similar to a "collapsing rift". The basin is thus

composed of three main areas: the southern slopes of Jebel Murdjadjo in the north, the northern slopes of Tessala Mounts in the south and the Sabkhah Mlèta in the central area of the basin, where are accumulated soluble and insoluble products that come from reliefs (Fig. 2).

#### *The aquifer system*

The Neogene basin of the Great Sebkhah of Oran is characterized by a stack of two or three aquifers layers at the central area. The bedrock formations are characterized by water circulation of minor importance in some permeable layers, or in fracture networks. Neogene formations constitute the best groundwater reservoirs of the basin.

The Messenian consists of algae limestone outcropping on the southern slopes of Jebel Murdjadjo and on northern slopes of the Tessala Mountains. These reef limestones are developed on both sides of the Sabkhah-Mlèta area and

constitute the peak of Jebel Tessala. Their extension underneath the lake remains hypothetical.

The Pliocene outcrops in the El Kerma area and in the south of Ain El Arba. These Outcrops are formed of sandstone hills characterized by a good infiltration capacity, easily absorbing rainfalls. The infiltrated water is not drained by water springs, but has to flow northward underneath the Figuier Plaine, and southward in the M'lèta Plaine. In depth, the Pliocene sandstones contain abundant ascending water-table, of which the quality varies depending to the geographical areas. At the south of the M'lèta Plain, the Pliocene outcrops form, along the rupture line of the slope of Tessala Mountains, a more or less narrow band underneath carbonate facies. Under the plains of M'lèta and Maflak, the Pliocene sandstone, associated with the Miocene, form an aquifer complex recognized and captured by deep drilling (3006500 m); this relatively powerful set (150 m) lies locally on impermeable allochthonous formations (Fig. 4).

The Quaternary consists of alluvium extended in plains of the periphery of the Great Sebkhah of Oran. They contain a groundwater table fed by its own catchment and infiltration of runoffs issued from the reliefs. Water from this aquifer is generally heavily loaded and its mineralization increases gradually, when we get close to salt lake. This groundwater layer, which flows generally towards the sebkhah, is captured by farmer wells used for irrigation.

#### *Sampling network*

An inventory campaign, conducted mainly in a transverse direction to the basin (Table 1, Fig. 2), from reliefs towards the sebkhah (discharge area), allowed a selection of some watering points in order to form a sampling network. Fifty water sampling points were dispatched in water springs located on mountain sides and in wells, boreholes and lakes in plains. For chemical analysis, samples were taken in the period of time, starting from February 2002 to May 2003. Physico-chemical measurements were made in situ. Results of these chemical analysis of major elements, are showed in Table 2.

#### *Water temperature*

The temperature varies depending of the period and depth of aquifers. For surface water, it is directly related to the air temperature. It varies from 9 °C to 15 °C in the wet season; in May, it reaches 28.5 °C in lake of the Great Sebkhah of Oran. For the groundwater, it is in general between 18 and 25 °C. Higher temperatures, certainly due to heat flow related to geothermal gradient, affect waters at depths beyond 300 m (33.7 °C at Oued Tlelat OT5 drilling) (Fig. 5). The maximum temperature (65.2 °C) was recorded in the South-West at the edge of the basin, at Ain el Bagra hot water spring, which feeds the hydrothermal complex of Hammam Bou Hajar.

#### *Chemical classification of waters*

Waters derive their composition from rain and reactions with soil minerals and rocks that are more or less resistant

to weathering. The evolution of the chemical composition of these waters is essentially controlled by three phenomena: mineral dissolution, precipitation of other minerals and concentration by evaporation. It is worth to distinguish the irreversible processes, such as dissolution and evaporation, from reversible processes, such as the balance between aqueous species and mineral precipitations.

Although close to the sea, the inland basin of the Great Sebkhah of Oran consists of quite varied lithological facies under a semi-arid climate, where the evaporation phenomenon is relatively intense. Underground flows, as illustrated in the piezometric maps (Figs. 7, 8), tend to move toward the discharge area of the salt lake which constitutes the lowest zone of the basin (altitude of 80 m approximately). The salt load of waters increases in the same direction as we approach to the lake. Taking into account their nature (lakes, water springs, wells, boreholes); analyzed waters present quite dispersed contents of major components (Table 2). The values of dry residue range from 500 mg / l at Belhadri Abdelkader well located on the southern slopes of Jebel Murdjadjo and serving the formation of the Messinian limestone, to 67,880 mg / l at the lake sebkhah. Water salinity is controlled by their initial composition, the processes that occur at the entrance of the hydrological system, and by the dissolution of salts during the transit of the solution in contact with the rocks in the aquifer. Prior to infiltrate into soil, rainwater may dissolve some aerosols such as sodium chloride, as was recorded in the Sabkhah Ben Ziane (Benziane 1983).

Along the line of slope failure of Murdjadjo, the initial chemical composition of calcium bicarbonate type, related directly to the aquifer limestone, has been enriched in sodium and chloride ions after a mixture due to intensive and extended pumping. This is particularly the case for the springs of Brédéah, transformed into a pumping station since 1880. These waters were known for their good quality (less than 1 g/l of salt), became brackish with the time (more than 7 g/l of dissolved salt (Fig. 11).

The deep Mio-Pliocene aquifer complex of the M'lèta and Maflak plains contains waters relatively concentrated at the contact with evaporitic layers. These rocks, by their high solubility (264 g halite/kg of solution, 2 g gypsum/kg of solution) can provide some appreciable amounts of dissolved salts.

Representation of chemical compositions in the Piper diagram (Fig. 9) confirms that water of the surface, as well as groundwater sampled from different aquifer levels of the Great Sebkhah basin of Oran, are characterized by facies where ions of chloride, sulfate, sodium and calcium dominate. These waters are divided into three hydro-chemical poles:

- Sodich chlorinated pole representing the majority of the waters of the basin, particularly waters of the sebkhah lake and those of groundwater table;
- Chlorinated, calcic sulfated and magnesian pole, mostly characteristic of rivers and water springs coming from the slope of the Tessala Mounts;
- bicarbonated calcic pole, characteristic of water from the Miocene limestone formations of Jebel Murdjadjo.

- Surface waters, represented in the diagram of Schoeller-Berkaloff (Fig. 10), are characterized by:

a. sulfated sodic facies for the waters of the main flowing rivers during raining periods on the saliferous and gypsiferous slopes of Tessala Mounts;

b. sodic-chlorinated facies for waters of Kef el Ogab and el Ared rivers of which permanent flows seem to drain aquifers levels, and for those waters of the salt lake of the Great Sebkhia of Oran with high values during the dried season (167.4 g / l of dry residual on a sample taken on 11 May, 2003).

### Conclusion

The present study is a synthesis of knowledge on different parts of the Great sebkhia of Oran, acquired by several generations of geologists, since the second half of the 19th century. They are widely used to demonstrate the structural framework of the basin and its multilayer aquifer system. The most important mapping surveys are those of Doumergue (1908), Gourinard (1958), Perrodon (1957), Fenet (1975) and Thomas (1985). We have retained the essential of their works to design a map representing the entire basin on a digitalized topographic sheet at scale

1/200000. This map, elaborated on the basis of infographic database: GIS type, constitutes an essential document for future-recognition and planning. The deep structure of the basin buried underneath the thick alluvial filling needs to be clarified, particularly underneath the sebkhia. This study should therefore raise doubts about a possible extension of the most important Miocene aquifer level of the system underneath the sebkhia.

Salinization of water and soil is closely related to their deposit conditions and water circulation. Waters of the sebkhia, under the effect of temperature, evaporate leaving at some locations, salt crusts in summer. For waters of the groundwater table, concentration by evaporation, under a semi-arid climate, remains the leading cause. This phenomenon is often supported by human activity. This water table is exploited intensively by pumping for irrigation purposes. For waters of deep aquifers, we retain the dissolution of salts and minerals as a source of concentration and possibly water mixtures made by leakage. The qualitative component of these waters remains weak. The use of isotopic techniques is essential in order to clarify the origin of these waters, their conditions of deposit and circulation and mechanisms of their salinization.

## INTRODUCTION

La Grande Sebkhia d'Oran constitue, de par sa proximité de la 2<sup>e</sup> métropole de l'Algérie, une préoccupation, non moins importante, des pouvoirs publics qui se sont succédés depuis la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle (Fig.1). De nombreuses études scientifiques de milieu en vue de son aménagement ont ainsi été effectuées. Néanmoins, aucun des schémas techniques concernant son assèchement n'a vu le jour. Cet espace endoréique est devenu avec le temps, un terrain expérimental de prédilection. Le lac constitue, de par sa nature écologique, un écosystème où se développent une faune et une flore spécifiques des milieux salins. En 2002, le site a été classé par la convention de Ramsar (1971) comme étant une zone humide d'importance mondiale.

hydrogéologiques, limités à l'espace du bassin hydrographique, effectués depuis le siècle dernier. Ce document de base est accompagné d'une carte numérisée. L'étude est complétée par un échantillonnage d'eaux de surface et souterraines prélevées dans l'ensemble du bassin. Les résultats d'analyse obtenus ont permis de classer les eaux en fonction de leurs faciès chimiques et de discuter l'évolution de la composition chimique dans les principaux aquifères.

## PRESENTATION MORPHOLOGIQUE ET STRUCTURALE DU BASSIN

Le bassin hydrographique de la Grande Sebkhia d'Oran s'étend sur une superficie estimée à 1890 km<sup>2</sup>. Il fait partie, selon les géologues pétroliers (Perrodon 1957), de l'extrémité occidentale du bassin néogène du Bas Chelif. Il pourrait aisément être assimilé à une aire synclinoïdale d'orientation SW-NE. Cette aire subsidente, avec un taux d'alluvionnement dépassant largement les 300 m/MA (Thomas 1985), présenterait vraisemblablement une importante sédimentation alluvionnaire dans sa zone axiale. Elle est aussi dissymétrique du fait de la différence de pendage des terrains (plus doux au nord, plus redressé au sud). La cuvette est limitée par des failles bordières, notamment vers le Sud, rappelant le schéma d'un «fossé d'effondrement». Le bassin est ainsi constitué de trois principaux domaines : les versants sud du Djebel Murdjadjo formant sa partie septentrionale, les versants nord des Monts des Tessala formant sa partie méridionale et la zone Sebkhia d'Oran au centre où s'accumulent les produits solubles et insolubles issus des reliefs (Fig.2).

### Djebel Murdjadjo

Le versant sud du Djebel Murdjadjo culmine à 584 m au sommet de la forêt de M'Sila. Il fait partie de la zone de

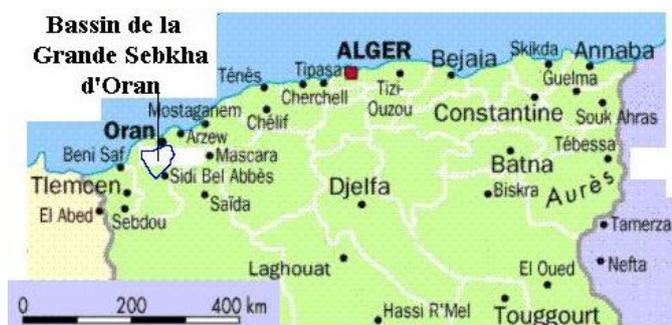


Figure 1. Carte de situation du bassin de la Grande Sebkhia d'Oran.  
Figure 1. Location map of the Great Sebkhia basin of Oran.

D'autres études et travaux de reconnaissance (géophysique, carottage mécanique, etc.) en vue de préciser la nature et la structure des formations géologiques profondes et de sub-surface sont à l'ordre du jour. L'étude présentée ici pourrait constituer une étape préliminaire indispensable aux futurs travaux de reconnaissances et d'aménagements. Cela consiste en une synthèse de travaux géologiques et

horsts du littoral oranais. Ces horsts résultent de mouvements tectoniques verticaux datés de la période néogène (Gourinard 1958). Ces reliefs sont constitués d'un ensemble rigide composé de terrains schisteux avec des écaillés calcaro-dolomitiques et des niveaux de quartzite.

L'ensemble, tectonisé, métamorphisé et entrecoupé, par endroits, d'intrusion de roches vertes, est attribué par Doumergue (1908) à l'ère mésozoïque. D'âge jurassico-crétacé, ces reliefs sont qualifiés de massifs à schistosité par

Fenet (1975). Considérés, dans l'ensemble, comme étant relativement imperméables, ils jouent le rôle de substratum pour la série sédimentaire miocène sus-jacente où l'on y relève vers le sommet une importante couche aquifère connue sous l'appellation de «calcaires miocènes du Murdjadjo». Cette série est formée de calcaires construits biogènes à algues du genre *lithothamnium*. Ces calcaires fissurés et karstiques plongent sous les alluvions quaternaires de la sebkha.

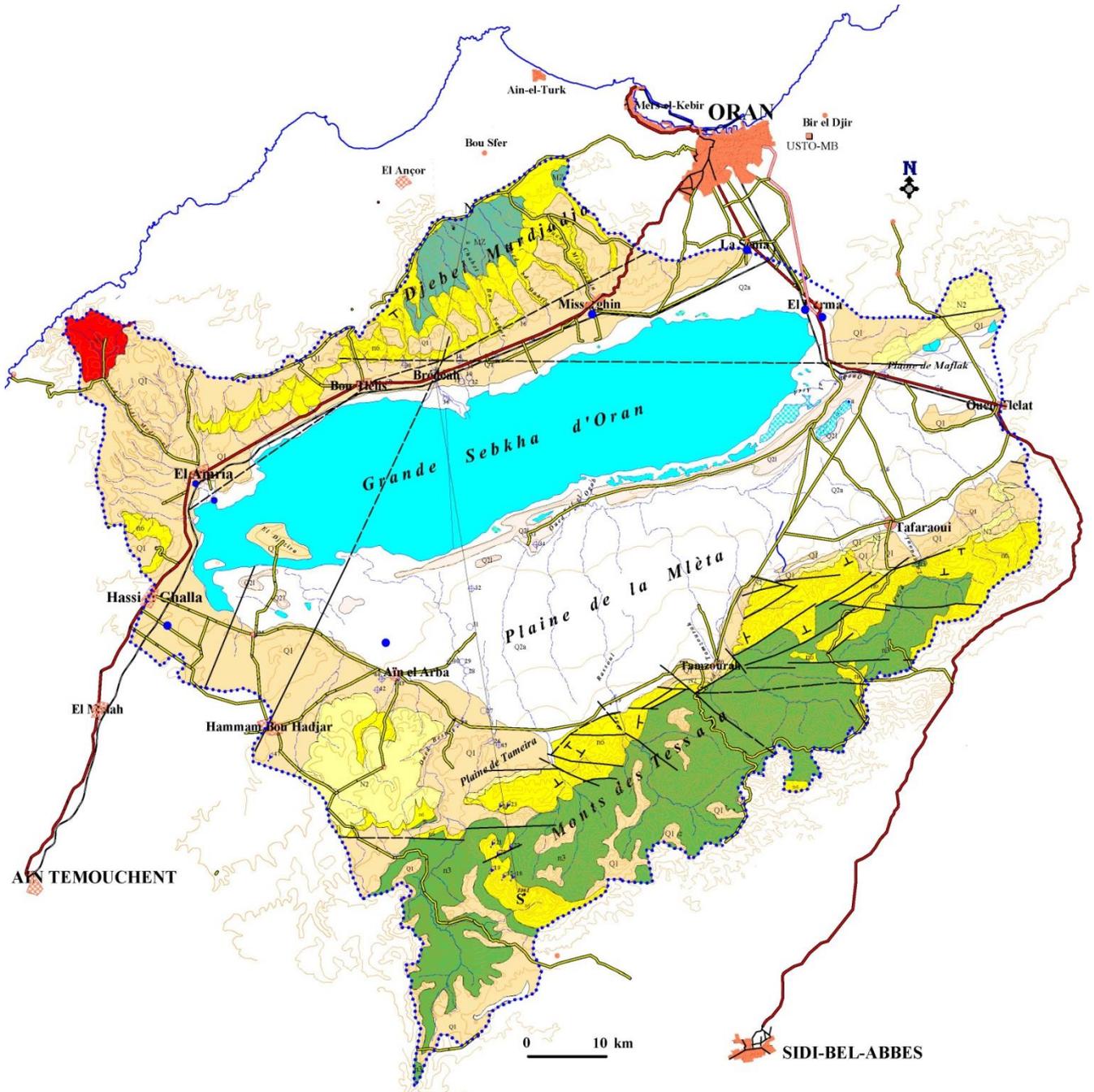


Figure 2 A. Carte du système aquifère de la Grande Sebkhja d'Oran.

Figure 2 A. Aquifer system map of the Great Sebkhja of Oran.

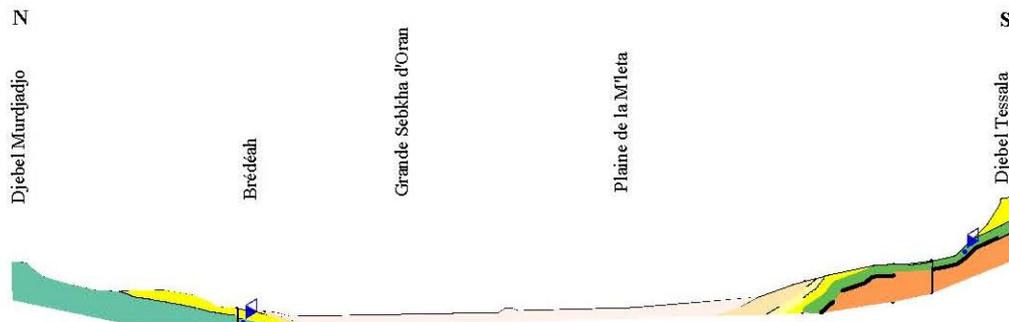
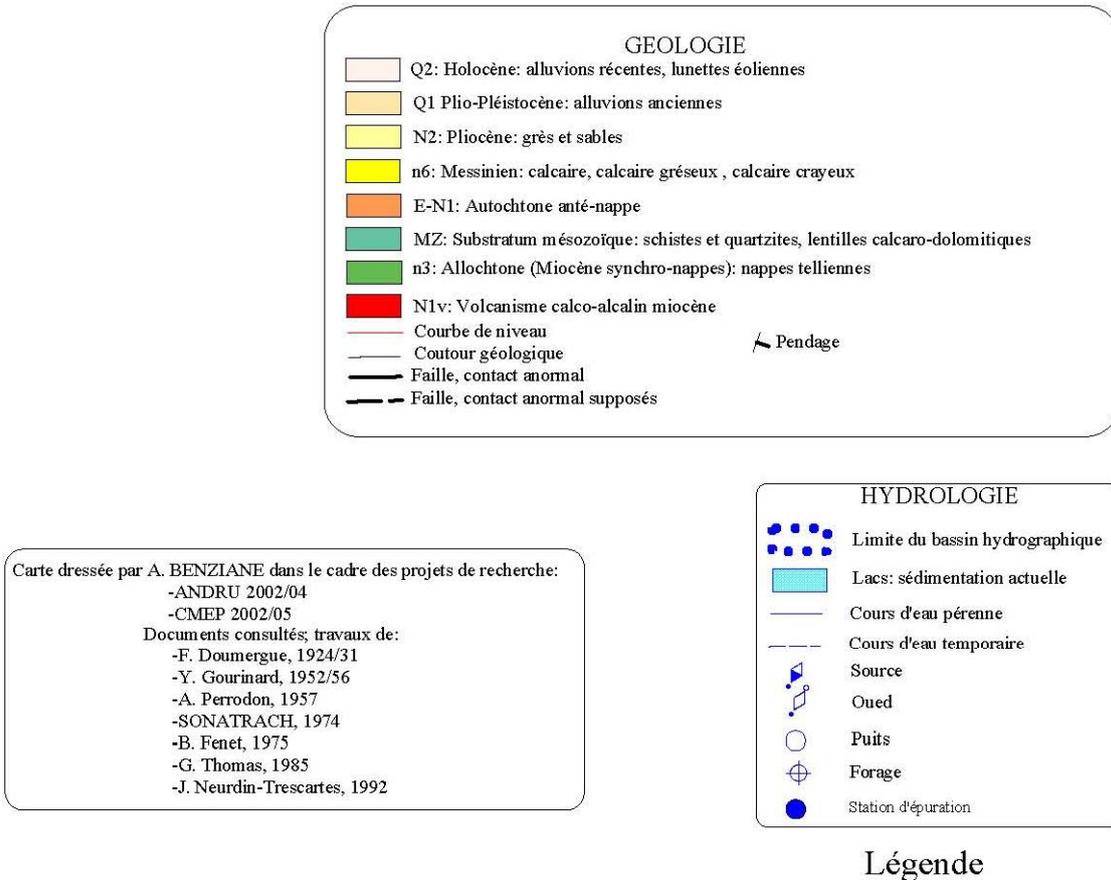


Figure 2 B. Légende de la carte du système aquifère de la Grande Sebkhja d'Oran.

Figure 2 B. Legend of the aquifer system map of the Great Sebkhja of Oran.

Les affleurements de cette formation sont étendus à tout le versant sud du Murdjadjo, depuis la ville d'Oran jusqu'à la hauteur de Bou Tlélis. Vers le Sud-Ouest, la formation passe latéralement à un faciès marneux. À l'extrémité nord-ouest du bassin, affleurent des formations volcaniques de type andésitique. Ces affleurements, largement répandus autour du marabout de Sidi Médiouni, témoignent d'une intense activité volcanique durant la période néogène (Fig.2). Le versant sud du Murdjadjo est entaillé par des cours d'eau dont les principaux sont, du Nord-Est vers le Sud-Ouest, l'Oued Misserghin, l'Oued ed Dahlia, le Chabet bou Yakor et l'Oued Sidi Mediouni.

### Monts des Tessala

Le versant nord des Monts des Tessala dont l'altitude

moyenne est de l'ordre de 800 m, culmine à 1061 m à Djebel Tessala. Constituant, sur une longueur d'une cinquantaine de kilomètres, la partie méridionale du bassin, il est à rattacher aux reliefs du Tell oranais. Il se distingue du Massif d'Oran (Djebel Murdjadjo) par la nature de ses terrains et la complexité de leur structure. Beaucoup moins rigides dans l'ensemble, à l'exception de quelques chicots comme le Pic de Tafaraoui, le Djebel Hadjar et le Djebel Tessala, ces reliefs sont constitués essentiellement par de formations argilo-marneuses avec de nombreux affleurements de gypse triasique. Des gisements de sel sont rencontrés dans le diapir d'Arbal. La tectonique de cet ensemble est beaucoup plus complexe. Fenet (1975) y a mis en évidence, au cours des années 70, la mise en place de nappes de glissements au Miocène inférieur et moyen (Fig.4).

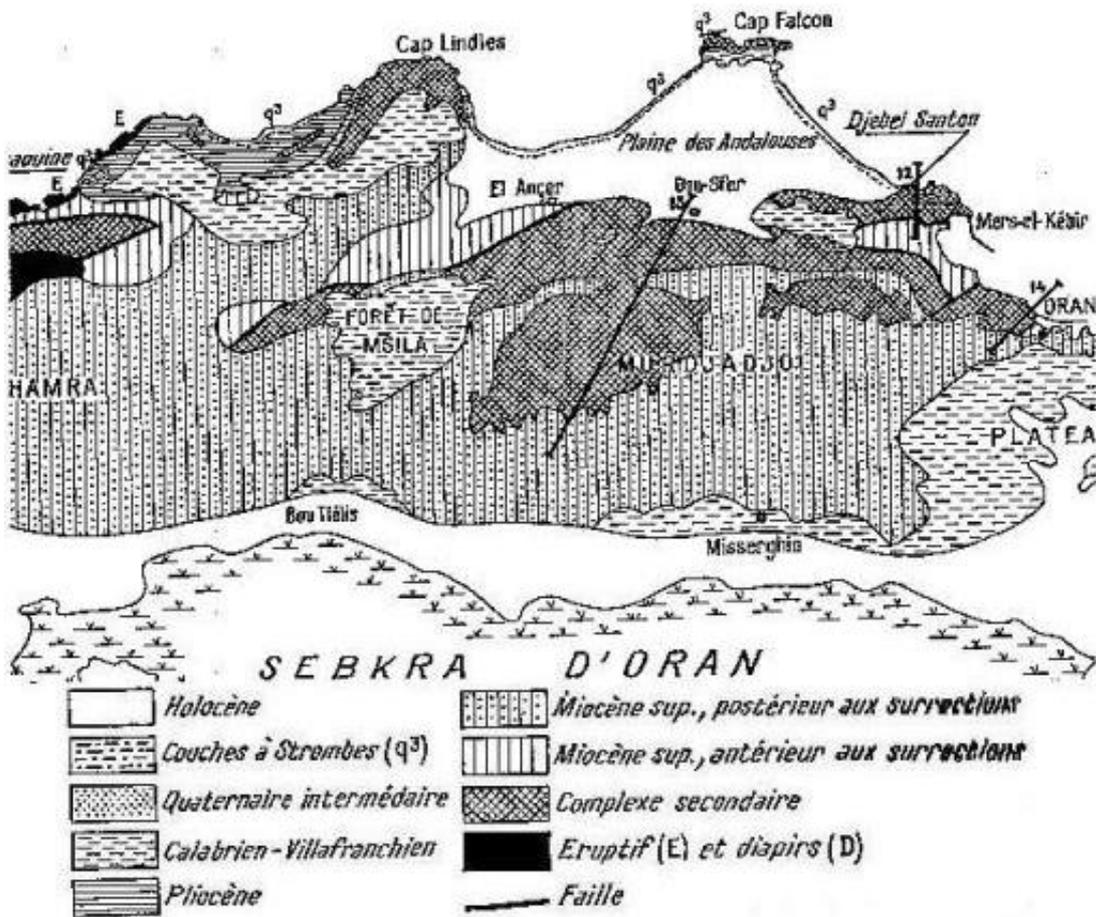


Figure 3. Schéma géologique simplifié du Djebel Murdjadjo (Gourinard, 1958).

Figure 3. Simplified Geological map of Djebel Murdjadjo (Gourinard, 1958).

Le Trias dont les affleurements sont largement répandus aurait joué le rôle de semelle de décollement. De plus, cet ensemble est affecté d'accidents tectoniques majeurs (failles normales et inverses et décrochements) suivant trois directions N20°E, N60°E et N80°E. Cette intense activité tectonique liée à l'orogénèse alpine est caractérisée par la présence de sources thermales importantes (sources de Hammam Bou Hadjar et la source d'Arbal). Ce versant présente dans l'ensemble, à part quelques niveaux perméables de moindre importance, des terrains imperméables à la faveur desquels le ruissellement de surface a développé un important réseau hydrographique. Les principaux cours d'eau sont, du Nord-Est vers le Sud-Ouest, l'Oued el Ared, l'Oued Tafaraoui, l'Oued Rassoul, l'Oued el Haïmeur et l'Oued Besbès.

### Zone centrale Sebkhia-Mlèta

La partie centrale du bassin, allongée suivant une direction SW-NE, est occupée par un épais remplissage alluvial plio-quaternaire avec en surface la plaine de la Mlèta vers le Sud et le lac salé de la Grande Sebkhia d'Oran vers le Nord.

### Plaine de la Mlèta

La Plaine de la Mlèta dont l'altitude se maintient de façon assez constante à une centaine de mètres, se raccorde vers le Nord-Est à la Plaine de Maflak et vers le Sud à la

Plaine de Tameira. Les plaines de la Mlèta et de Maflak présentent à l'affleurement des alluvions récentes attribuées à l'Holocène. La Plaine de Tameira présente quant à elle des alluvions anciennes attribuées au Pléistocène.

Ces plaines ont été recoupées, durant les deux dernières décennies, par quelques forages qui ont mis en évidence, sous les alluvions renfermant une nappe phréatique saumâtre (voire salée sur les bords de la sebkhia), deux niveaux aquifères superposés relativement profonds : la nappe des grès et sables de l'Astien et la nappe des calcaires à algues du Miocène supérieur. Ces forages confirment, en outre, le fort taux d'alluvionnement.

### Grande Sebkhia d'Oran

La Grande Sebkhia d'Oran est une dépression de forme elliptique, bordée vers le Nord, entre Bou Tlélis et Misserghin, par la plaine de Bou Yacor et vers le Nord-Est par la plaine du Figuier. Longue de 40 km et large de 6 à 13 km, elle s'étend sur une superficie de 300 km<sup>2</sup>.

Elle est bordée, vers le Sud, par un bourrelet de collines (les Coteaux d'El Hamoul) dominant le lac d'une quarantaine de mètres. Localisée au sud-ouest d'Oran, à quelque distance de la zone urbaine, elle présente une topographie plane, avec un point bas à +80 et un point haut à +82 selon le nivellement général de l'Algérie. Inclivée vers l'Ouest, cette étendue consiste en une dépression dont l'origine remonterait au début du Quaternaire. Elle est

occupée temporairement par un lac salé dont la teneur moyenne de la saumure est estimée, par endroit, à plus de 100 g/l de sels dissous (l'eau de mer en contient de 35 à 37 g/l). Dans son extrémité occidentale émerge un îlot (El Djezira) culminant à 136 m. Cet îlot constituerait vraisemblablement une butte témoin de la sédimentation continentale pléistocène.

### PRESENTATION DU SYSTEME AQUIFERE

Le bassin sédimentaire néogène de la Grande Sebkhā d'Oran est assimilable à une cuvette synclinale. Ce bassin est caractérisé par l'empilement de deux à trois couches aquifères dans sa zone centrale. A l'échelle du temps et des surfaces, ces couches peuvent communiquer entre elles soit par les assises faiblement perméables, soit par des accidents stratigraphiques ou structuraux (Castany 1968). Nous avons ainsi qualifié ce type de structure hydrogéologique de système aquifère dans lequel les versants des reliefs du pourtour constituent la zone de recharge et le lac de la sebkhā, la zone de décharge, du moins pour les eaux de surface et souterraines de la nappe phréatique. Les formations du substratum sont caractérisées par des circulations d'eau de moindre importance dans les quelques

niveaux perméables ou réseaux de fractures. Les formations du Néogène constituent les réservoirs d'eau souterraine les plus importants du bassin.

### Miocène

Le Messinien est formé de calcaire à algues affleurant sur le versant méridional du Djebel Murdjadjo et le versant septentrional des Monts des Tessala. Ces calcaires récifaux se développent de part et d'autre de la zone Sebkhā-Mlèta et constituent le sommet du Djebel Tessala. Leur extension sous le lac reste hypothétique.

### Djebel Murdjadjo

Au Djebel Murdjadjo, la formation messinienne dont l'épaisseur peut dépasser une centaine de mètres constitue un excellent aquifère du fait de ses caractéristiques physiques de milieu (fissuré et karstique) et de sa position topographique sommitale dans le paysage. Naguère, c'était vraisemblablement le château d'eau de la proche région d'Oran. Les calcaires sont alimentés directement par leur impluvium et par le ruissellement issu des formations schisteuses du substratum. Les eaux s'y infiltrent rapidement à la faveur des fissures. Ces calcaires sont aussi

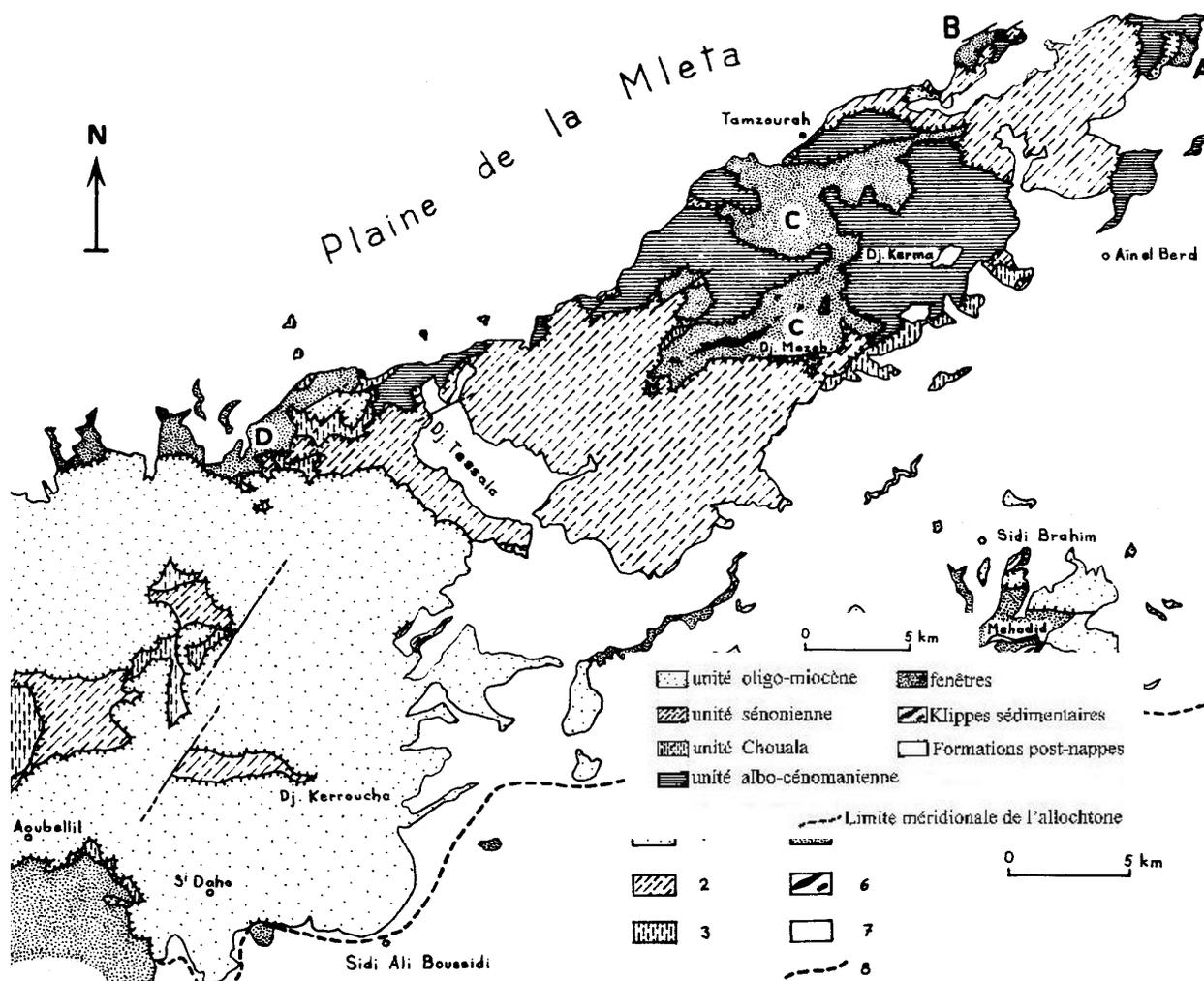


Figure 4. Les fenêtres du Miocène synchro-nappes des Monts des Tessala (Fenet, 1975).

Figure 4. Miocene synchro-sheet Windows of the Tessaala Mountains (Fenet, 1975).

karstiques et les eaux de ruissellement s'engouffrent dans les cavités le long du lit des cours d'eau. A partir de 1978, nous avons lancé, sur la base des travaux de Sourisseau (1976), un programme de réalisation de forages d'exploitation localisés sur les affleurements calcaires. Les prélèvements sont effectués dans des secteurs situés en amont de la station de pompage de Brédéah. Le débit global de ces ouvrages qui produisent de l'eau relativement plus douce reste beaucoup plus faible que celui de la station de Brédéah. Les études de Soletanche (1950) nous ont permis d'individualiser deux zones; Misserghin et Brédéah.

### 1. Zone de Misserghin

Sur la rive droite du ravin de Misserghin émerge une série de sources avec de longues galeries drainantes, pouvant aller jusqu'à 1000 m de longueur. Ces galeries ont été creusées au contact des marno-calcaires à tripolis et des marnes jaunes à silex imperméables. Toutes ces sources captées fournissent un débit global de l'ordre d'une quinzaine de litres par seconde.

### 2. Zone de Brédéah

L'impluvium de la nappe de Brédéah est sensiblement limité à l'ouest, à la hauteur de Bou Tlélis, par un passage latéral de faciès marneux ou crayeux, et à l'est par le ravin de la Vierge dans le secteur de Misserghin, où affleurent la craie et les marnes blanches. Les sources de Brédéah constituaient, à l'origine, des émergences naturelles d'eau douce au niveau du sol formant ainsi un vaste marécage, assaini plus tard par la réalisation de digues débouchant sur le lac de la sebkha. L'eau provient de la nappe des calcaires du Messinien; les sources en constituaient le principal exutoire du bassin dont la surface de drainage est estimée à 113 km<sup>2</sup>. Les émergences d'eau consistent, dans ce cas de figure, soit en un trop plein, soit en un débordement de la nappe qui ne peut s'infiltrer en totalité dans les alluvions lorsque ces dernières viennent recouvrir les calcaires en bordure de la sebkha. En 1880, le débit naturel des sources était estimé à 80 l/s environ avec une minéralisation des eaux de l'ordre de 0,7 g/l (Benziane, 1984).

L'accroissement des besoins de la ville d'Oran a amené les pouvoirs publics de l'époque à envisager le captage de ces sources. Ces dernières ont, donc, été captées par une série de puits, qui en l'espace de quelques années, deviendront une station d'exhaure avec un débit trois à quatre fois plus important. Le débit d'exhaure fut alors porté à plus de 300 l/s pendant plus d'un demi-siècle. Un tel régime d'exploitation fut à l'origine d'un rabattement de la nappe de plus de 5 m avec une forte augmentation de la minéralisation (6 g/l de sels dissous en 1950). De 1880 à 1952, les eaux de Brédéah constituaient une des principales ressources de la ville d'Oran (Benziane 1984). Le 14 juillet 1952, fut inaugurée la mise en service de l'adduction du barrage-réservoir des Beni Bahdel dans les Monts de Tlemcen.

### Monts des Tessala

Dans les Monts des Tessala, les calcaires présentent des faciès plus gréseux et constituent une multitude d'aquifères perchés. Ces aquifères, alimentés directement par les

précipitations, sont vidangés par des sources dont certaines sont captées pour alimenter par gravité de petites localités. Le débit peut atteindre plus de 5 l/s. C'est particulièrement le cas de la formation sommitale, reposant sub-horizontalement sur les unités allochtones du Djebel Tessala (plus de 1000 m), qui renferme une nappe perchée, d'extension restreinte. L'exutoire de cette nappe est constitué par une série de sources de trop plein dont l'écoulement est régulier avec de faibles fluctuations saisonnières.

La principale source « Al Attouche » est captée pour alimenter le centre de santé des enfants asthmatiques. C'est aussi le cas de la source de Tangroutah, localisée au sud du domaine d'Arbal, dont le débit a été suivi par l'Entreprise de Recherches et d'Exploitations Minières (EREM). Vers le Nord et l'Est, les calcaires plongent sous les plaines de la M'deta et Maflak où une grande partie des eaux météoriques s'infiltrer dans ces formations caractérisées par une bonne perméabilité de fissures. Les eaux sont arrêtées vers le bas, soit par les intercalations des niveaux marneux à tripolis, soit par les marnes bleues. L'aquifère est libre au droit des affleurements. Son impluvium s'étendrait, à l'est de l'Oued Besbes, sur un secteur constitué par les premiers contreforts des Monts des Tessala et l'amont de la vallée de l'Oued Tlélat, tout à fait au sud-est du bassin. Il comprend non seulement les affleurements de calcaires mais encore les assises perméables qui peuvent les alimenter. Le trop plein de cet aquifère est évacué par une série de sources de débordement situées en bordure de la plaine. Ces sources dont le débit aurait considérablement baissé depuis la sollicitation de l'aquifère captif par pompage, émergent au contact du toit des calcaires et le mur des formations quaternaires.

### Pliocène

Le Pliocène affleure dans la zone d'El Kerma et au sud d'Aïn el Arba. Les affleurements forment des coteaux gréseux caractérisés par une bonne capacité d'infiltration, absorbant facilement les précipitations. L'eau infiltrée n'est drainée par aucune source. Elle doit s'écouler, au nord-est, sous la plaine du Figuier, et au sud, sous la plaine de la M'deta. En profondeur, les grés du Pliocène contiennent une nappe ascendante abondante dont la qualité varie selon les secteurs géographiques. Vers le Sud-Ouest, le forage artésien d'Aïn El Arba, capte 24 m de grés astien, sous une succession d'argiles sableuses. Au sud de la plaine de la M'deta, les affleurements du Pliocène constituant, le long de la ligne de rupture de pente des monts des Tessala, une bande plus ou moins étroite, se présentent sous un faciès carbonaté. Sous les plaines de la M'deta et Maflak, le Pliocène est plutôt gréseux et associé au Miocène avec lequel il forme un complexe aquifère reconnu et capté par forage profond (300 à 500 m); cet ensemble relativement puissant (150 m), repose localement sur les formations allochtones imperméables (fig.5).

### Quaternaire

Le Quaternaire, constitué d'alluvions étendues aux plaines du pourtour de la Grande Sebkhā d'Oran, renferme une nappe phréatique alimentée par son propre impluvium et par les infiltrations du ruissellement issu des reliefs.

L'eau de cette nappe est en général fortement chargée et sa minéralisation s'accroît au fur et à mesure que l'on s'approche du lac salé. Cette nappe dont les écoulements convergent généralement vers la sebkha, est captée par des puits fermiers à des fins d'irrigation. Dans la plaine de la Moudeta, les formations du Pléistocène sont formées essentiellement d'argiles rouges. Elles constituent un mauvais aquifère. Toutefois, en bordure du bassin, s'intercalent des conglomérats qui constituent des aquifères d'extension réduite; comme le montrent les coupes de forages réalisés dans le secteur de Tafaraoui où la formation conglomératique, intercalée entre les couches d'argiles atteint la quarantaine de mètres de puissance (Fig.6). La nappe est captive et son niveau piézométrique se stabilise à

30 m de profondeur (Fig. 7). L'eau présente toutefois une minéralisation acceptable de l'ordre de 1,35 g/l. Au nord du lac de la sebkha, les formations de l'Holocène tapissent la plaine bordière comprise entre les affleurements calcaires du Murdjadjo et la sebkha. Dans la plaine de Bou Yakor, des colluvions à galets calcaires du Pléistocène inférieur, en amont, présentent une bonne porosité. Elles sont relayées à l'aval par des formations sableuses rouges (Pléistocène supérieur), puis par des alluvions récentes constituées de limons gris (Holocène). Ces formations puissantes de quelques dizaines de mètres sont de plus en plus fines d'amont en aval, d'où une perméabilité de plus en plus faible.

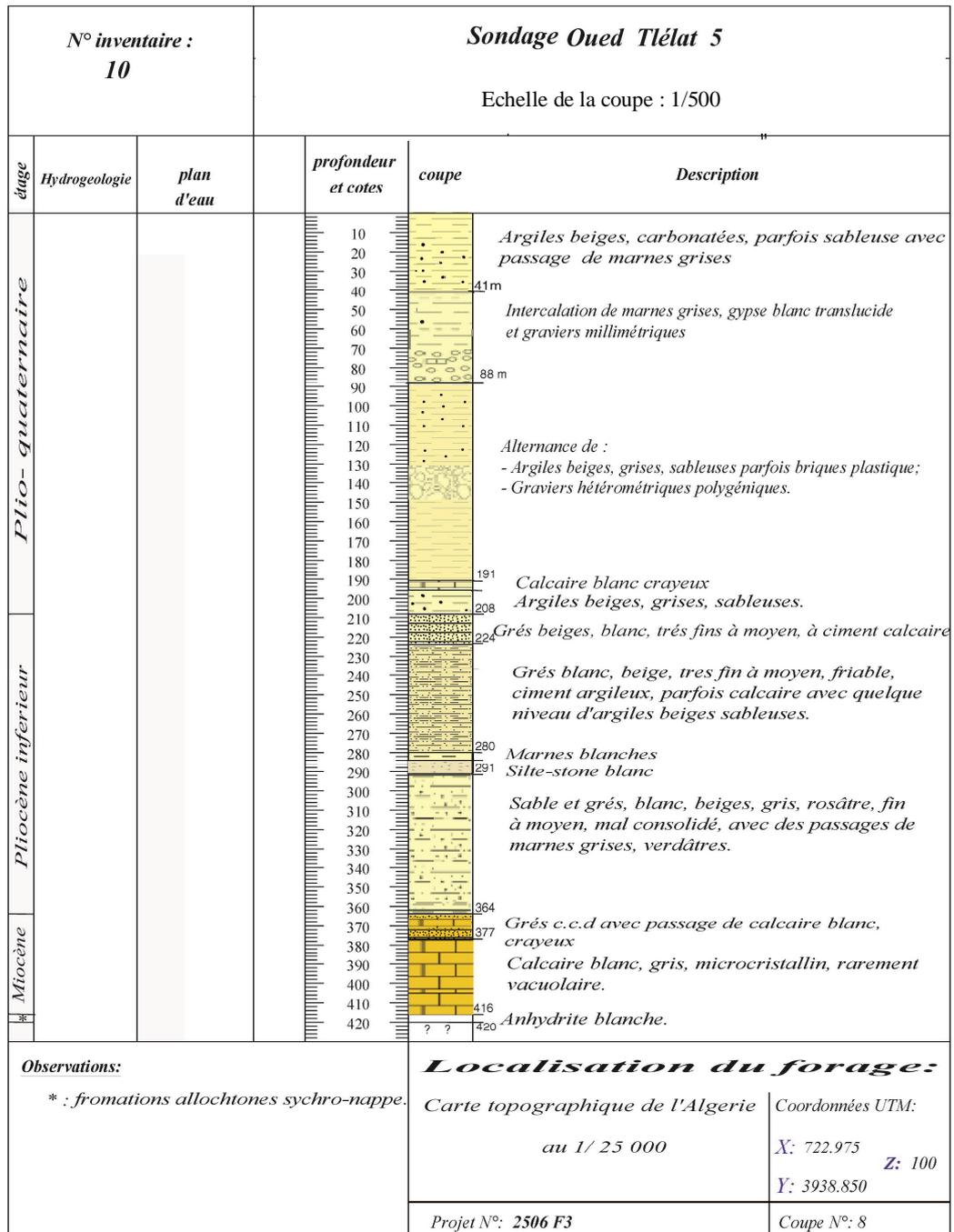


Figure 5. Coupe du forage d'Oued Tlélat (OT5).

Figure 5. Borehole section of the Tlelat River (OT5).

La rupture de pente du Djebel Murdjadjo est marquée par une ligne mettant en contact les affleurements calcaires avec les alluvions rouges du Pléistocène. Les calcaires plongent sous les alluvions. L'absence d'écran étanche entre les deux couches facilite les phénomènes de drainance selon les régimes de pression des nappes (recharge, exploitation). En effet, le pompage prolongé dans l'aquifère des calcaires est souvent accompagné d'un appel d'eau beaucoup plus minéralisée provenant de la nappe des alluvions. Ce phénomène est réellement rencontré à la station de pompage de Brédéah.

**MATERIEL ET METHODES**

Une campagne d'inventaire menée principalement selon une direction transversale au bassin (Tab.1, Fig.2), allant des reliefs vers la sebkha (aire de décharge), a permis de sélectionner des points d'eau pour constituer le réseau d'échantillonnage. Ces points d'eau au nombre de 50 sont répartis en sources localisées sur les flancs des montagnes; les puits, forages et lacs localisés sur les plaines. Les prélèvements destinés aux analyses chimiques se sont étalés de février 2002 à mai 2003. Les mesures physico-chimiques

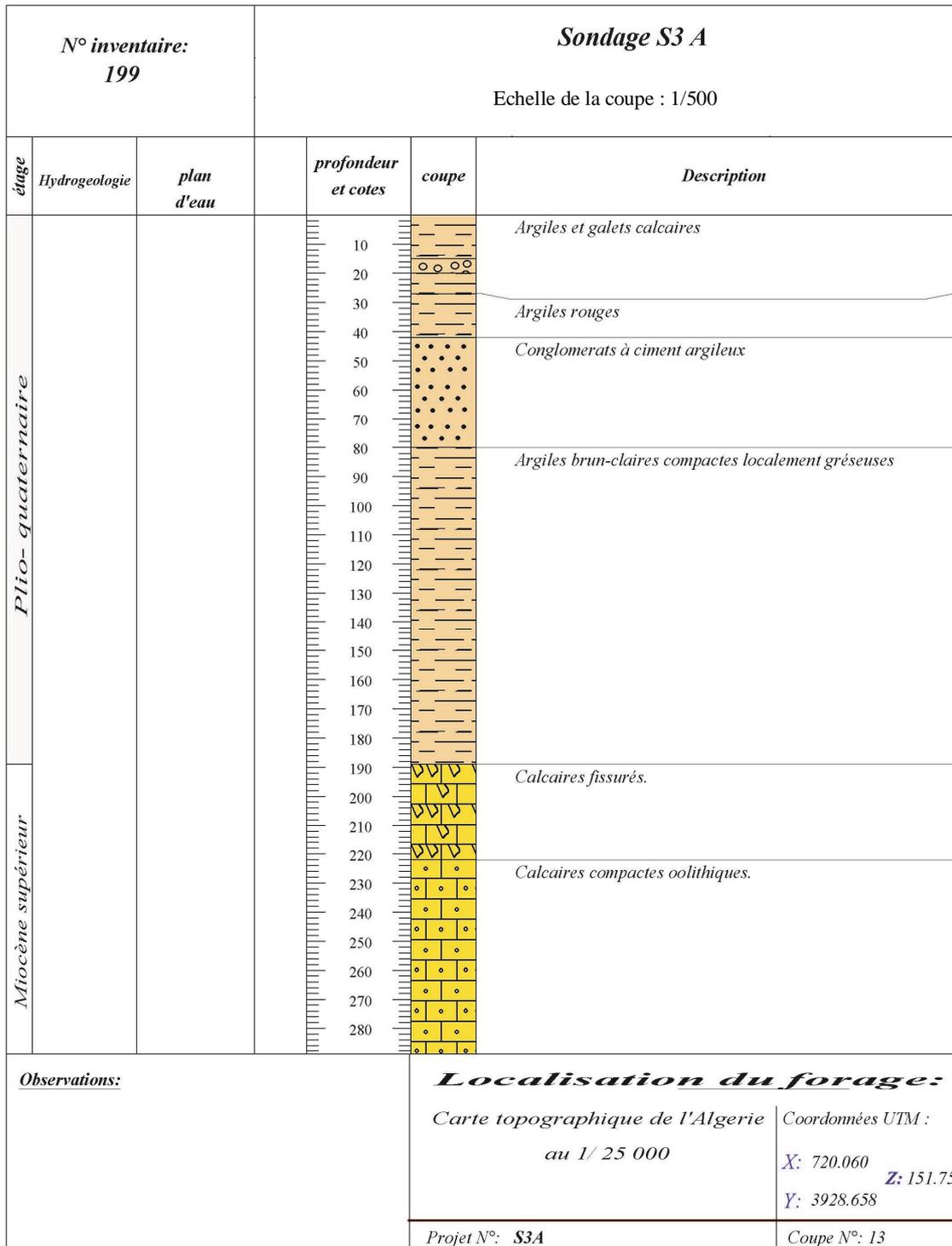


Figure 6. Coupe du forage de Tafaraoui (S3A).

Figure 6. Borehole section of Tafaraoui (S3A).

ont été opérées *in situ*. Les résultats d'analyses obtenus concernent la chimie des éléments majeurs (Tab.2).

Le système d'information géographique [SIG] utilisé dans le cadre de la cartographie du bassin de la Grande Sebkhā d'Oran, comprend une base de données géographiques et un logiciel de gestion et d'accès aux informations dont le but est d'organiser, de gérer et d'analyser les données et leur mise à jour.

Pour constituer un fond cartographique numérisé du bassin, nous avons utilisé les feuilles d'Oran et de Ghazaouet de la carte topographique du Nord algérien au 1/200 000. Cette carte, établie par l'IGN sur la base de l'ellipsoïde de Clarke (1880) et de la projection UTM, dérive de l'ancienne cartographie au 1/50 000. Les logiciels utilisés sont AutoCad Map pour la vectorisation et Map Info pour le traitement et la structuration.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Température des eaux

La température est variable selon la période et la profondeur des aquifères. Pour les eaux de surface, elle est directement liée à celle de l'air. Elle varie de 9 à 15°C en saison humide; en mai, elle est de 28,5°C au lac de la Grande Sebkhā d'Oran. Elle se situe, dans l'ensemble, pour les eaux souterraines entre 18 et 25°C. Les températures plus élevées, dues certainement à un flux de chaleur provenant de l'intérieur lié au gradient géothermique, concernent les eaux dont la profondeur de gisement se situe au delà de 300 m (33,7°C au forage d'Oued Tlélat OT5) (Fig. 5). La température maximale (65,2°C) est rencontrée à l'extrémité SW du bassin, à la source d'Aïn el Bagra qui alimente le complexe thermal de Hammam Bou Hadjar.

### Classification chimique des eaux

Les eaux tirent leur composition des pluies et des réactions avec les minéraux du sol et des roches plus ou moins résistantes à l'altération. L'évolution de la composition chimique de ces eaux est contrôlée essentiellement par trois phénomènes: la dissolution des minéraux, la précipitation d'autres minéraux et la concentration par évaporation. Il convient de distinguer les processus irréversibles comme la dissolution et l'évaporation, des processus réversibles comme les équilibres entre espèces aqueuses et les précipitations des minéraux.

Bien que proche de la mer, le bassin endoréique de la Grande Sebkhā d'Oran est constitué de faciès lithologiques assez variés sous climat semi aride. Le phénomène évaporatoire y est relativement intense. Les écoulements dans le sous-sol, comme le montrent les cartes piézométriques, ont tendance à se diriger vers l'aire de décharge du lac salé qui constitue la zone la plus basse du bassin (80 m d'altitude environ). La charge saline des eaux augmente dans le même sens, au fur et à mesure que l'on s'y approche. Les eaux ainsi analysées présentent, compte tenu de leur nature (lac, sources, puits, forages) des teneurs en composants majeurs assez dispersées (Tab. 2). Les valeurs du résidu sec varient de 500 mg/l au puits Belhadri

Tableau 1. Réseau de mesure et d'échantillonnage.

Table 1. Measurement and sampling network.

Bassin de la Grande Sebkhā d'Oran Réseau de mesure et d'échantillonnage					
Point d'eau			Coordonnées UTM		
N°	Nature	Nom	X	Y	Z
1	Lac	Grande Sebkhā d'Oran	697.75	3934.775	85
2	Puits	Station de pompage de Brédéah (P1)	694.975	3 938.82	88
3	Forage	Temsalmet (EPEOR)	701.22	3 941.12	105
4	Lac	Daïet el Bagrat	721.575	3937.175	100
5	Forage	Oued Tlélat OT3	723.9	3938.825	95
6	Forage	Oued Tlélat OT4	723.85	3932.85	123
7	Forage	Oued Tlélat OT5	722.975	3938.85	100
8	Forage	Oued Tlélat OT6	727.3	3938	106
9	Puits	BENDRIA Abdelkader	692.049	3 938.40	87
10	Puits	Sidi Ali Bou Tlélis	697.195	3 938.70	90
11	Puits	NACER Mohamed	697	3 939.37	95
12	Puits	TEMMAR Ali	697.365	3 938.33	87
13	Puits	TOUATI	696.707	3 938.44	92
14	Puits	Orangerie	696.585	3 939.83	112
15	Puits	TALEB Kouider	698.853	3 940.04	102
16	Puits	BELHADRI Abdelkader	700.725	3942.35	143
17	Source	Aïn Haddar	699.475	3907.375	835
18	Source	Aïn el Oukrif	700.037	3907.325	770
19	Source	Aïn ed Dalia	698.7	3907.75	753
20	Source	Aïn Temimounet	699.075	3908.775	610
21	Source	Aïn Ben Djafer	698.75	3909.45	575
22	Source	Aïn Mourra	699.887	3909.2	555
23	Source	Aïn el Ksob	699.737	3911.85	390
24	Source	Aïn Bel Ouanzar	699.237	3911.825	350
25	Source	Aïn Beida	683.525	3922.55	94
26	Puits	Douar Ahl Bradai	698.625	3915.825	170
27	Puits	EAC Chenafi Mohamed	698.125	3917.8	136
28	Puits	Sidi Djilali	697.05	3920.3	123
29	Puits	LARBI BOUNSABIA Amar	696.75	3920.85	120
30	Forage	Moulin Mokhtar el Oumda	695.975	3920.875	113
31	Puits	CHEHEIDA Belgacem	697.25	3923.05	109
32	Forage	MOULAY Saïd	697.325	3925.425	101
33	Puits	Kratsa	700.85	3928.85	98
34	Forage	Kratsa	701.475	3928.2	97
35	Oued	Oued Kef el Oglat	704.175	3930.675	87
36	Puits	EAC Bousmaha Salah	695.725	3937.35	86
37	Puits	DELLA-KRACHAI Boumediene	694.975	3939	100
38	Forage	FELLAH Kouider	693.075	3939.5	155
39	Puits	Aïn el Kerma	693.125	3943.875	420
40	Forage	BOUDINAR Ahmed	693.625	3944.05	480
41	Puits	CHELLALI Mustapha	694.925	3947.975	572
42	Forage	Ferme des frères Aziz F2	691.3	3919.075	117
43	Source	Aïn el Arba	692.6	3919.75	110
44	Forage	Ferme des frères Aziz F1	691.575	3919.75	105
45	Forage	Oued Sebbah OS1	699.1	3915.575	180
46	Oued	Oued el Ared	720.875	3938.575	89
47	Source	Hammam Bou Hadjar (Aïn el Bagra)	684.475	3914.875	158
48	Oued	Oued Besbes	696.625	3917.05	150
49	Oued	Oued Rassoul	706.45	3918.475	160
50	Oued	Oued Tamzourah	713	3920.8	182

Tableau 2. Résultats d'analyses chimiques.  
 Table 2. Results of chemical analyzes.

Bassin de la Grande Sebkhā d'Oran															
Résultats d'analyses chimiques (mg/l)															
Nom	Libellé	Groupe	Ca	Mg	Na	K	HCO3	CO3	Cl	Br	SO4	NO3	T°C	pH	c25°C
Grande Sebkhā d'Oran	1	1	220	3362	20930	134	67	0	37488	32	11700	5		6,5	57600
Grande Sebkhā d'Oran	1	1	220	2164	42780	361	117	0	84348		6540	3	28,4	6,9	131500
Station de Brédéah (P1)	2	2	390	289	1415	19	456	0	2667	5,9	880	26		7,4	8110
Temsalmet (EPEOR)	3	3	221	163	552	9	369	0	1108		470	39		7,1	4250
Oued Tlélat OT5	7	3	327	96	301	8	512	0,.	537		814	3	33,7	7,1	2990
BENDRIA Abdelkader	9	2	543	347	1116	11	356	0	3008		705	37		7,2	8150
TEMMAR Ali	12	2	423	163	704	12	344	0	1764		422	12	21,9	7	6500
Orangerie	14	2	144	93	403	7	309	0	801		204	14		7,3	3080
TALEB Kouider	15	2	380	271	1150	14	376	0	2096		1035	43		7	6980
BELHADRI Abdelkader	16	2	72	26	41	2	248	0	102		51	9		7,7	747
Ain Haddar	17	4	87	23	35	2	248	0	85		30	25	18,5	7,2	778
Ain el Oukrif	18	4	96	44	55	15	221	0	111		170	53	19	7,4	1000
Ain ed Dalia	19	4	111	41	60	5	309	0	94		174	10	18,6	7,2	1060
Ain Temimounet	20	4	154	114	506	4	282	0	596		832	3	20,9	7,9	3390
Ain Ben Djafer	21	4	67	61	147	3	201	0	256		164	20	19,2	7,4	1430
Ain Mourra	22	4	625	88	242	4	188	0	332		1930	5	25,2	7,2	3700
Ain el Ksob	23	4	96	161	814	18	537	0	1448		200	5	18,2	7,4	4780
Ain Bel Ouanzar	24	4	164	155	350	6	470	0	980		148	71	19,2	7,1	3530
Ain Beida	25	4	135	47	846	39	409	0	1227		146	72	22,1	7	4700
ARBI BOUNSABIA Am	29	2	311	121	920	5	344	0	1363		1000	23	21,3	7,3	5360
Moulin Mokhtar el Oum	30	3	311	141	823	4	322	0	1653		762	33	20,9	7,3	5760
CHEHEIDA Belgacem	31	2	752	455	2875	6	395	0	4013		3670	6	19,6	7,4	12600
MOULAY Said	32	3	220	202	1691	4	578	0	2087		1240	5	21,3	7,2	7620
Kratsa (forage)	34	3	115	99	1116	4	425	0	1014		1032	5	23,9	7,7	4800
Oued Kef el Ogab	35	5	2505	1527	11960	12	132	0	20252		6520	6	22,1	8,4	45400
EAC BOUSMAHA Salah	36	2	230	158	754	14	205	0	1491		505	7	21,3	7,5	5140
LA-KRACHAI Boumed	37	2	188	149	451	8	351	0	1039		293	23	22,5	7,5	3340
FELLAH Kouider	38	3	82	35	76	2	271	0	170		60	10	24	7,8	894
FELLAH Kouider	38	3	80	59	69	3	322	322	145		78	10		7,2	864
Ain el Kerma (puits)	39	2	130	20	53	2	315	0	102		54	29	14,9	7,6	901
BOUDINAR Ahmed	40	3	160	31	129	3	295	0	273		72	64	19,8	7,5	1460
Ain el Arba	43	4	170	101	520	11	373	0	1005		126	19	22,8	7	3450
Ain el Arba (Freres Aziz F	44	3	220	65	501	14	490	0	1065		154	10	26	6,9	3670
Oued Sebbah OS1	45	3	120	79	292	9	315	0	613		149	7	27,9	7	2200
Oued el Ared	46	5	341	216	978	9	615	0	1355		1200	3	14,4	7,1	5270
Ain el Bagra (HBH)	47	4	278	50	851	49	671	0	1182		628	4	65,2	6,5	5680
Oued Besbes	48	5	62	64	143	5	141	0	153		334	17	9,2	7,3	1300
Oued el Rassoul	49	5	128	90	212	4	161	0	275		670	16	11,2	7,3	2260
Oued Tamzourah	50	5	106	109	228	5	235	0	262		614	8	12,6	7,3	2350

Abdelkader, localisé sur le versant sud du Djebel Murdjadjo et captant la formation des calcaires messiniens à 67 880 mg/l au niveau du lac de la sebkha. La salinité des eaux est régie par leur composition initiale et par les processus qui interviennent à l'entrée du système hydrologique et par la mise en solution des sels au cours du transit de la solution au contact des roches dans l'aquifère. Avant de s'infiltre dans le sol, l'eau de pluie peut aussi dissoudre des aérosols tels que le chlorure de sodium, comme cela a été constaté dans la Sebkhā de Ben Ziane (Benziane 1983).

Le long de la ligne de rupture de pente du Murdjadjo, la composition chimique initiale, de type bicarbonaté calcique en rapport direct avec l'aquifère calcaire, s'est enrichie en ions chlorures et sodium suite à un mélange du à des pompages intensifs prolongés. C'est particulièrement le cas des sources de Brédéah, transformées en station d'exhaure depuis 1880. Ces eaux, autrefois réputées pour leur bonne

qualité avec moins d'un gramme par litre de sels, sont devenues saumâtres au fil des temps avec plus de 7g/l de sels dissous (Fig.11). L'aquifère profond du complexe miocène des plaines de la Mèta et Maflak renferme des eaux relativement chargées au contact avec des niveaux évaporitiques. Ces roches, de par leur solubilité élevée (264 g d'halite/kg de solution, 2 g de gypse/kg de solution, í ), peuvent fournir des quantités appréciables de sels dissous. La représentation des compositions chimiques dans le diagramme de Piper (Fig. 9) confirme que les eaux, aussi bien de surface que souterraines, prélevées dans les différents niveaux aquifères du bassin de la Grande Sebkhā d'Oran, sont, dans l'ensemble, caractérisées par des faciès où dominant les ions chlorures, sulfates, sodium et calcium. Ces eaux se répartissent entre trois pôles hydrochimiques: -un pôle chloruré sodique représentant la majorité des eaux du bassin, particulièrement les eaux du lac de la sebkha et

celles de la nappe phréatique ;

- un pôle chloruré et sulfaté calcique et magnésien caractéristique surtout des eaux d'oueds et sources issues du versant des Monts des Tessala ;

- un pôle bicarbonaté calcique caractéristique des eaux issues des formations calcaires miocènes du Djebel Murdjadjo.

Les eaux de surface, représentées sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig.10), sont caractérisées par:

- un faciès sulfaté-sodique pour les eaux des principaux oueds ruisselant, lors des épisodes pluvieux, sur les versants salifères et gypsifères des Monts des Tessala;

- un faciès chloruré-sodique pour les eaux des oueds Kef el Ogab et el Ared dont les écoulements permanents semblent drainer des niveaux aquifères, et par celles du lac salé de la Grande Sebkha d'Oran avec des valeurs hyper élevées à l'approche de la saison sèche (167,4 g/l de résidu sec sur un prélèvement effectué le 11/05/03).

### CONCLUSION

Cette étude constitue une synthèse des connaissances acquises sur le bassin de la Grande Sebkha d'Oran. Ces connaissances accumulées dans différentes zones de cet espace depuis la deuxième moitié du 19<sup>e</sup> siècle sont le fruit des travaux de plusieurs générations de géologues. Elles sont largement exploitées pour mettre en évidence le cadre structural du bassin et son système aquifère multicouche. Les levés cartographiques les plus importants sont de Doumergue (1908), Gourinard (1958), Perrodon (1957), Fenet (1975) et Thomas (1985). Nous avons retenu

l'essentiel de ces travaux pour concevoir, sur un fond topographique numérisé à l'échelle 1/200 000, une carte représentant l'ensemble du bassin. Cette carte, dressée sur une base de données infographiques de type SIG, constitue un document indispensable pour les futurs travaux de reconnaissance et d'aménagement.

La structure profonde du bassin, enfouie sous un épais remplissage alluvionnaire, demande à être précisée, particulièrement sous le lac de la sebkha, par des travaux de prospection géophysique soutenus par quelques forages de reconnaissance. Cette étude devrait, par conséquent, lever le doute sur une éventuelle extension sous la sebkha du niveau aquifère miocène le plus important du système.

La salinisation des eaux et des sols est intimement liée à leurs conditions de gisement et de circulation. Les eaux de la sebkha, sous l'effet de la température, s'évaporent en laissant, par endroit en été, la place à des croûtes de sel. Pour les eaux de la nappe phréatique, la concentration par évaporation, sous un climat semi-aride, demeure la principale cause. Ce phénomène est souvent soutenu par l'action anthropique. En effet, les riverains du lac salé exploitent cette nappe par pompage intensif à des fins d'irrigation. Pour les eaux des nappes profondes, nous retenons la dissolution des sels et des minéraux comme source de concentration et éventuellement des mélanges d'eaux opérés par les phénomènes de drainance.

Le volet qualitatif de ces eaux reste cependant insuffisant. L'utilisation des techniques isotopiques s'avère incontournable pour mieux préciser l'origine des eaux, leurs conditions de gisement et de circulation et les mécanismes de leur salinisation.

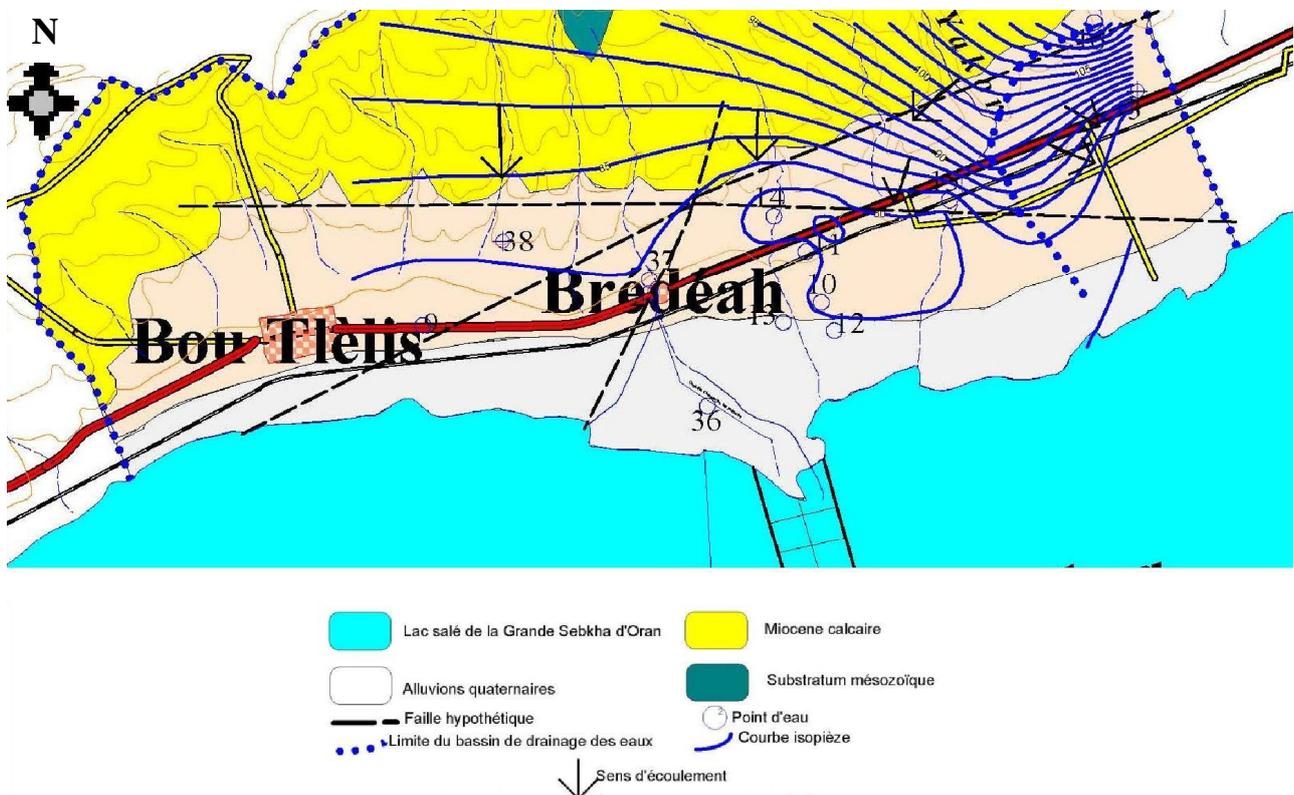


Figure 7. Carte piézométrique de la zone de Brédéah (avril 2003).

Figure 7. Piezometric map of the Brédéah area (April 2003).

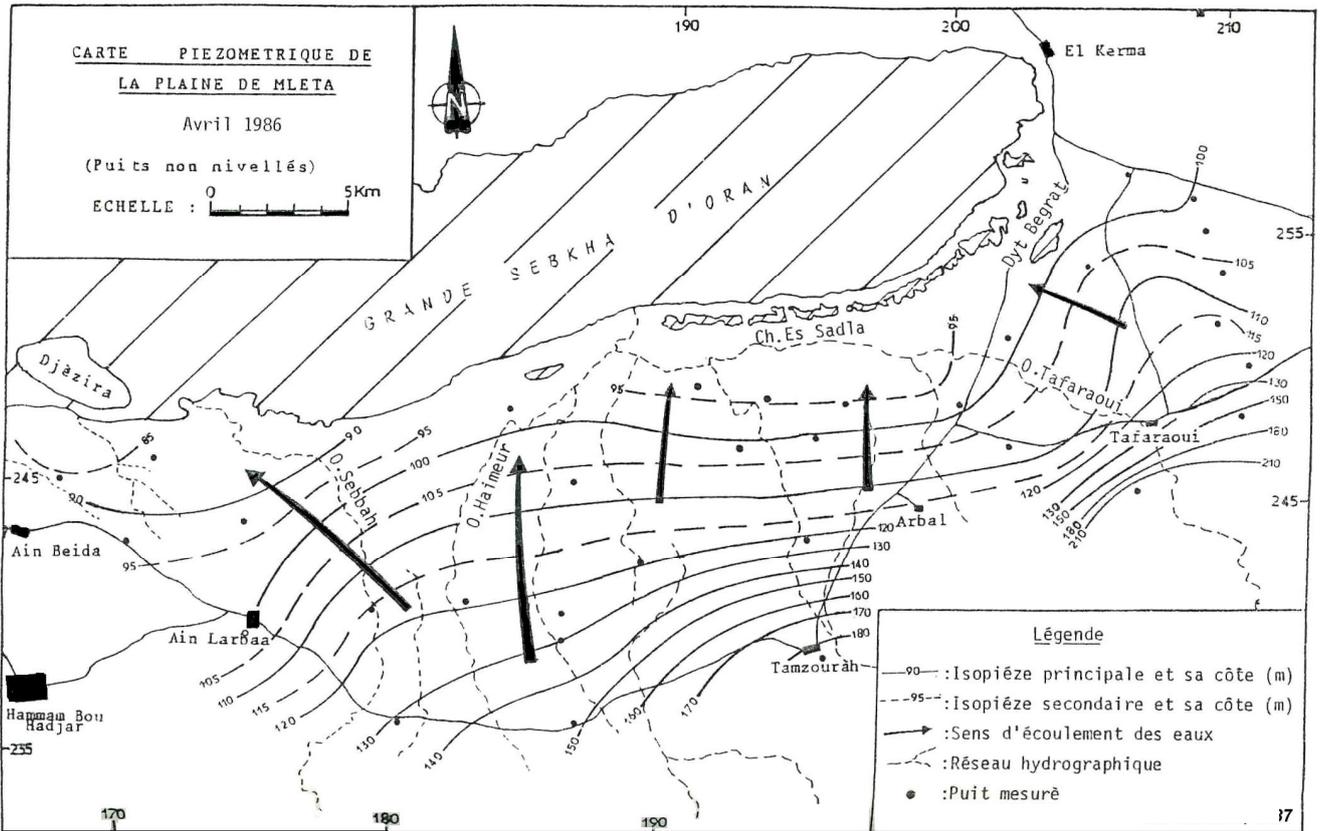


Figure 8. Carte piézométrique de la Plaine de la M'leta (avril 1986; Hassani, 1987).

Figure 8. Piezometric map of the M'leta Plain (April 1986; Hassani, 1987).

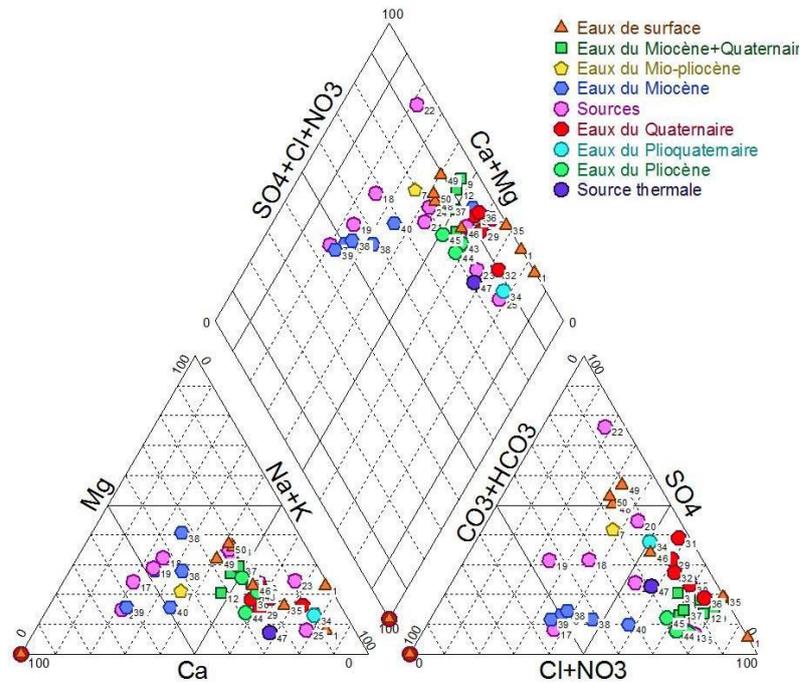


Figure 9. Diagramme de Piper (eaux du bassin de la Grande Sebkhha d'Oran).

Figure 9. Piper diagram (waters of the Great Sebkhha basin of Oran).

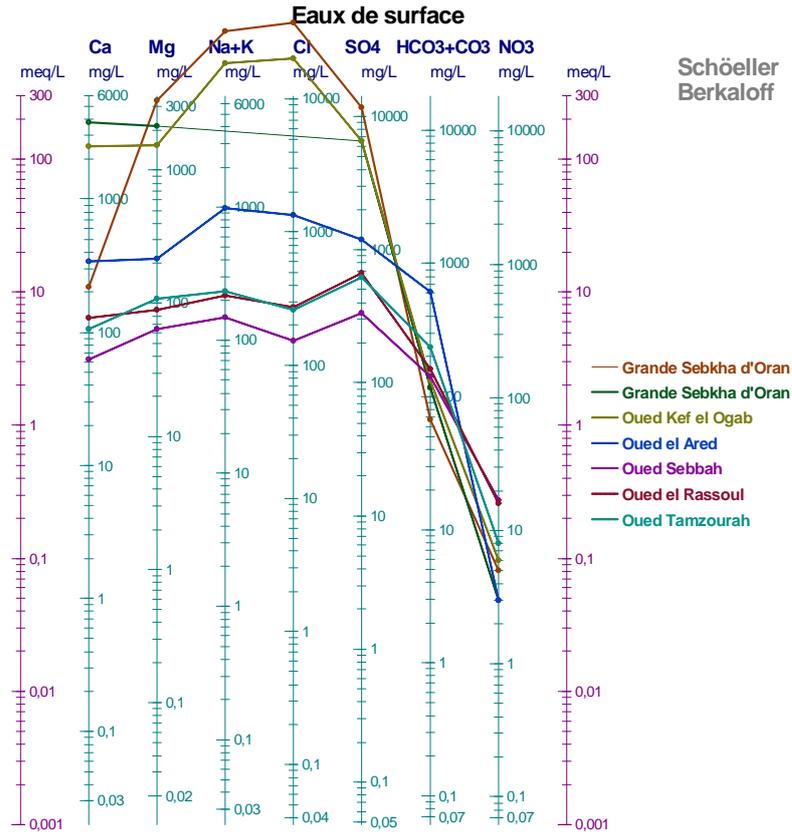


Figure 10. Diagramme de Schoeller-Berkaloff (eaux de surface).

Figure 10. Schoeller-Berkaloff diagram (surface waters).

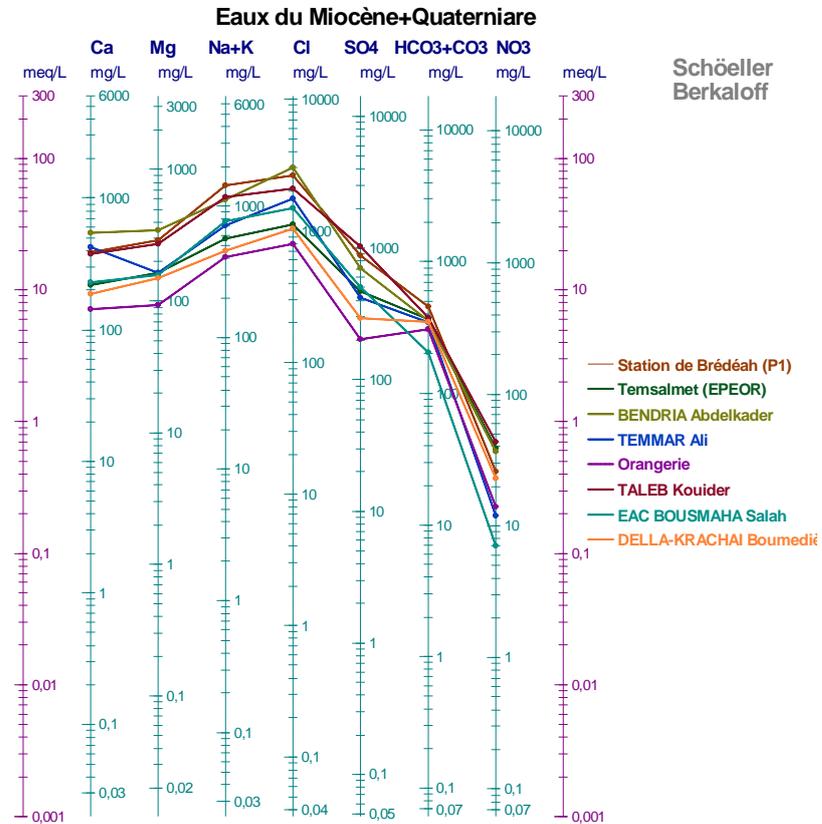


Figure 11. Diagramme de Scholler-Berkaloff (eaux du Miocène et du Quaternaire).

Figure 11. Schoeller-Berkaloff diagram (Miocene and Quaternary waters).

### REMERCIEMENTS

Je remercie l'Agence Nationale pour le Développement de la Recherche Universitaire en Algérie pour le financement de cette étude. Je tiens aussi à remercier l'évaluateur anonyme pour ses remarques et suggestions, et aussi le Comité Editorial du Bulletin de l'Institut Scientifique pour ses conseils et corrections.

### REFERENCES

- Benziane A. 1983. *Problèmes géologiques et hydrogéologiques de la Sebkhha de Ben Ziane (Nord-Ouest algérien)*. Thèse Doct. 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Claude Bernard-Lyon I, 280 p.
- Benziane A. 1984. *Hydrogéologie du versant sud du Djebel Murdjadjo (problèmes d'exploitation et de gestion des eaux)*, communication au Colloque international: L'Eau, clef du développement au Maghreb, les Andalouses (Oran), octobre 1984, 13 p.
- Castany G. 1968. *Prospection et exploitation des eaux souterraines*, édition Dunod, Paris, 717 p.
- Doumergue F. 1908. *Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000 ó Feuille n°152 Oran*. Pub. Serv. carte géol. Algérie.
- Fenet B. 1975. *Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'Orogène nord-maghrébin : Les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais*. Thèse Doct. es-Sciences, Univ. Nice, 301.p.
- Gourinard Y. 1958. *Recherches sur la géologie du littoral oranais*. Pub. Serv. Carte géol. de l'Algérie, 6, 111 p.
- Hassani M.I. 1987. *Etude hydrogéologique d'un bassin semi-aride, le bassin versant de la Grande Sebkhha d'Oran*. Thèse Doct. 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Grenoble, 304 p.
- Perrodon A. 1957. *Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale*. Publ. Serv. Carte géol. de l'Algérie, 12, 328 p.
- Soletanche 1950. *Grande Sebkhha d'Oran. Géologie et Hydrologie*. Rapport inédit du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique, Alger, 84 p.
- Sourisseau B. 1976. *Etude hydrogéologique du massif du Murdjadjo. Région Brédéah-Bou Sfer (Oran)*. Rapport inédit de la Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique, Alger, 49 p.
- Thomas G. 1985. *Géodynamique d'un bassin intramontagneux : le bassin du Bas Chélif occidental (Algérie) durant le Mio-plio-quatenaire*. Thèse Doct. es-Sciences, Univ. Pau et Pays de l'Adour, 594 p.

Manuscrit reçu le 15/01/2012

Version révisée acceptée le 18/09/2014

Version finale reçue le 13/10/2014

Mise en ligne le 20/10/2014