

## **Application du SIG et des méthodes géoélectriques pour la caractérisation géophysiques et modélisation tridimensionnelle des aquifères Sud-Ouest du bassin du Rharb (Maroc NW)**

### **[ Application of GIS and geophysical geoelectric methods for characterization and three dimensional modeling of aquifers Southwest Rharb Basin (NW Morocco) ]**

*Asmaa Mansouri<sup>1</sup>, Ilias Kacimi<sup>1</sup>, Majid Hadri<sup>2</sup>, Youssef Hahou<sup>3</sup>, Nadia Kassou<sup>1</sup>, Radouane Hout<sup>1</sup>, Tarik Bahaj<sup>1</sup>, and Mouad Morarech<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire LO3G, Département de Géologie, Université Mohamed V, Rabat, Morocco

<sup>2</sup>Laboratoire d'Electronique et Traitement du Signal / Géomatique, Département de Géologie, Université Mohamed V, Rabat, Morocco

<sup>3</sup>Département de Géologie, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Morocco

---

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In Morocco, the plio-quaternary aquifers of the Rharb basin are recognized by their high hydro geological potential and by the heterogeneity of their formations. The geological, lithostratigraphical and hydro geological studies allow the optimization of the exploitation of these aquifers. The present work, consist of utilizing a multi-sources data: geological, geoelectrical and hydro geological. The results obtained from the use of this data, concern the tridimensional geoelectrical modeling which helped to highlight the subdivision of South Sebou basin to at least two sub basins: coastal sub basin Ouled-salma-Morgane and sub basin of Rmila center, as well as the visualization of the lithostratigraphical limits in 3D for the first time. Comparative analysis of geoelectric cuts (WE, SW-NE and SSW-NNE) at the level of these two sub basins allows to highlight four big geoelectrical units distinct and more or less continuous.

**KEYWORDS:** Rharb basin, plio-quaternary, hydrogeology, geoelectrical prospection.

**RESUME:** Au Maroc, Les aquifères d'âge plio-Quaternaire du bassin du Rharb sont connu par leur important potentiel hydrogéologique et par l'hétérogénéité de leurs formations. Leurs études géologiques, lithostratigraphiques et hydrogéologiques ont un rôle de les biens caractérisés afin d'optimiser leurs exploitations.

Le présent travail consiste à l'utilisation des données multisources : géologiques, géoélectriques et hydrogéologiques. Les résultats obtenus à partir de l'exploitation de ces données, concernent la modélisation tridimensionnelle géoélectrique qui a permis de mettre en évidence la subdivision du bassin Sud Sebou au moins en deux grands sous bassins : le sous bassin côtier Oulad Slama- Mograne et le sous bassin de Rmila centre, ainsi que la visualisation des limites lithostratigraphiques en 3D pour la première fois.

L'analyse comparée des coupes géoélectriques (WE, SW-NE et SSW-NNE) au niveau de ces deux sous bassin, ont permis de mettre en évidence quatre grandes unités géoélectriques bien distinctes et plus ou moins continues.

**MOTS-CLEFS:** bassin du Rharb, plio-quaternaire, hydrogéologie, géoélectrique.

## 1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La zone d'étude comporte la partie SW du bassin de Rharb, elle a une superficie de 1370 Km<sup>2</sup>, et délimité à l'Est par oued Beht, au Nord et à l'Ouest par Sebou et au Sud par le bassin de Maamoura.

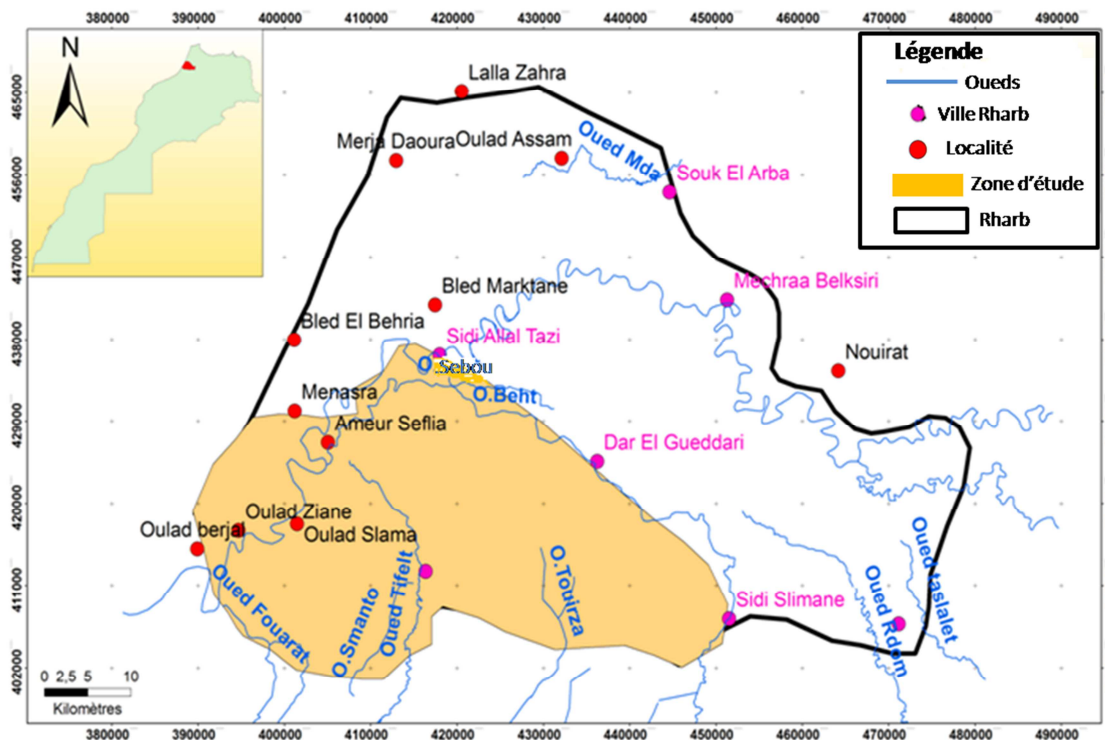


Figure 1 : situation de la zone d'étude

## 2 CADRE GÉOLOGIQUE

La partie SW du bassin du Rharb est située à la limite de deux domaines structuraux: mésétien méridional et rifain septentrional (Fig : 2). Il se présente en vastes plaines alluviales de la partie inférieure de l'Oued Sebou qui correspond à une dépression dissymétrique [1]. Sa structure actuelle est intimement liée aux mouvements tectoniques dont le Rif était le siège ([2] ; [3]) et aux mouvements épirogéniques du socle mésétien ([3] ; [4]). Ces événements tectoniques sont contemporains aux mouvements eustatiques très actifs au Miocène terminal, Pliocène inférieur et Plio-Villafranchien. Le bassin est subsident depuis le Vindobonien moyen et son affaissement a persisté depuis le Quaternaire jusqu'à l'Actuel ([1] ; [5]). Au Pliocène, le bassin se présente en forme de golf dont les limites sont parallèles au front sud rifains et à la limite mésétien pénaplanée. Au Pliocène supérieur, à l'instar du reste du pourtour méditerranéen, le bassin du Gharb est sous l'effet d'une phase tectonique compressive majeure [1] ; en parallèle, une sédimentation continentale marque le centre du bassin alors que sur les bordures, notamment à l'Ouest, la sédimentation est essentiellement formée de calcaires bioclastiques. Au Villafranchien, la structure du bassin côtier se précise avec l'installation de dunes côtières en forme de cordons ([1] ; [3] ; [6] ; [7]).

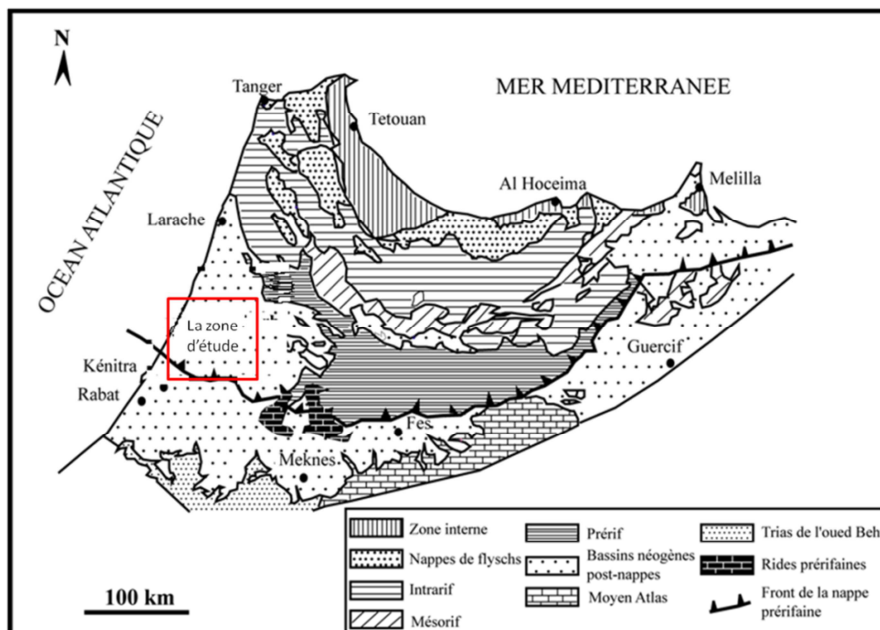


Figure 2 : situation du contexte géologique de la zone d'étude dans le cadre du bassin du Rharb

### 3 CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIE

Pour définir les limites du système aquifères plio-quaternaire et l'architecture du substratum, nous nous sommes basés sur les données sismiques réalisées par [7]. Ces dernières montrent une série des failles régionales qui semblent avoir un contrôle directe sur l'hydrologie de surface et les circulations en profondeur.

L'apport de la sismique réflexion ainsi que les études de surface réalisées sur les périphéries du bassin par ([7] ; [8] ; [9]) montrent que les aquifères seraient le résultat de la juxtaposition de plusieurs blocs tectoniques à évolution distinctes mais complémentaire.

De point de vue hydrologique, la zone d'étude est traversée par un certain nombre de cours d'eau, tel que : Le Sebou, Beht, Touriza, Smanto, Tiflet. (Fig : 3)

Le plus important Oued de la région correspond à celui de l'Oued Sebou. Il prend ses sources dans le Moyen atlas au Sud et débouche dans l'océan atlantique à l'Ouest. Il décrit un trajet en méandre d'une longueur qui peut atteindre 650 km environs.

Les principaux affluents qui drainent les bassins versants les plus importants correspondent à :

- L'Oued Ouerha sur la rive droite composant les deux tiers du volume d'eau.
- L'Oued Beht sur la rive gauche.

Les autres Oueds (Beht, Touriza, Smanto, Tiflet) prennent naissance au niveau de la Meseta, alors que le cours d'eau principal actuel prend naissance au niveau du cause moyenne atlasique.

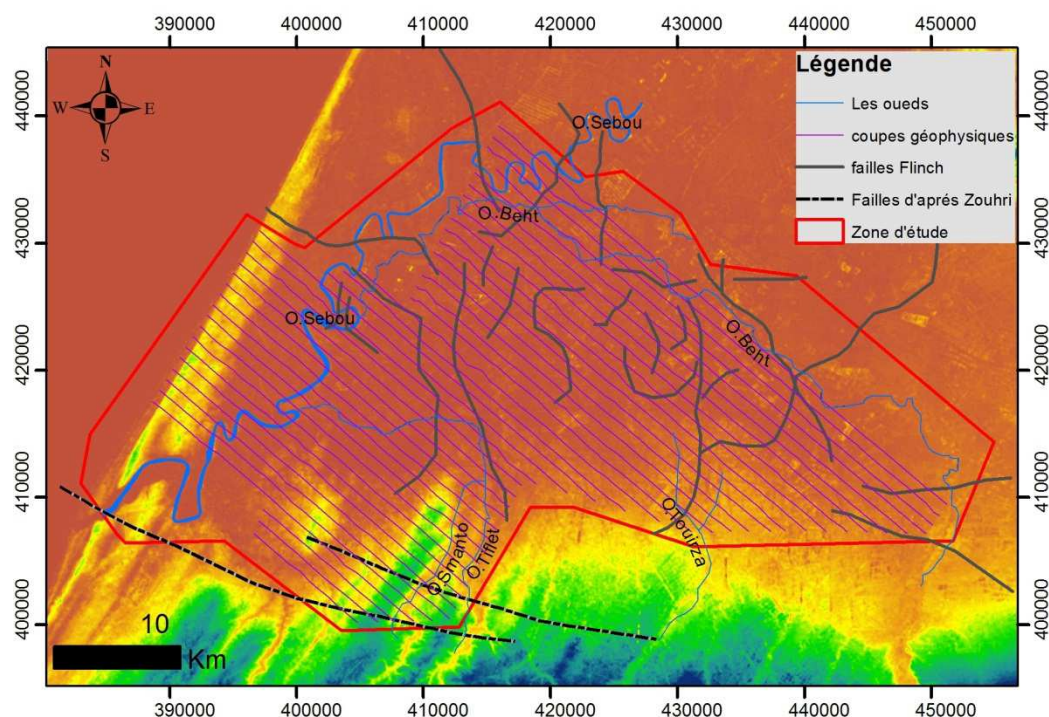


Figure 3 : localisation de la zone d'étude dans son contexte paléogéographique et structurale (Flinch [7] ; Zouhri [9])

#### 4 MATÉRIEL ET MÉTHODE

Dans ce travail, nous avons effectué une synthèse des études géologiques, hydrogéologiques et une réinterprétation des données géophysiques antérieures.

Dans le but d'établir un modèle tridimensionnel qui représente la répartition spatiale des unités géoélectriques dans la zone d'étude depuis l'âge de plio-villafranchien à l'actuel. Dans ce travail, nous avons élaboré une base de données sous le système d'information géographique (SIG) qui comporte : 918 sondages électriques verticaux, et 40 coupes géoélectriques en différentes directions construites à partir de l'interprétation de 1150 sondages électriques. La litho-stratigraphie des couches traversées par les sondages est interpolée à partir des forages hydrogéologiques qui sont au nombre de 79 tout en tenant compte des valeurs de résistivités apparentes des intervalles géoélectriques.

#### 5 LITHOSTRATIGRAPHIE ET NIVEAUX GÉOÉLECTRIQUES

La sédimentation dans le bassin du Rharb-Maamora est la conséquence de l'instabilité de la marge méridionale pré-rifaine ainsi que, l'effet du mouvement de basculement dû à la surrection de la chaîne rifaine. Ces événements exercent une influence majeure sur l'organisation de plusieurs systèmes hydrogéologiques dans ce bassin [10].

Dans ce travail, nous présentons le cadre lithostratigraphique des aquifères localisés au SW du bassin du Rharb, établi par corrélation entre lithofaciès et électrofaciès. Ceci nous a été possible, grâce à plusieurs coupes géoélectriques effectuées dans cette région à partir des forages mécaniques. Le calage des coupes géologiques sur les coupes géoélectriques nous a permis de faire des corrélations à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude. (Fig : 4A et 4B).

Ainsi, l'interprétation de la lithostratigraphie nous a montré que : la série sédimentaire débute à la base par le dépôt d'une puissante séquence marneuse de plusieurs centaines de mètres d'âge Miocène terminal [1], qui constitue le substratum, représentée par des valeurs de résistivité avoisinant 5 ohm.m. Cette série est surmontée par une unité géoélectrique dont les valeurs de résistivités varient de 50 à 600 ohm.m (unité géoélectrique 1). Cette unité est composée d'argile sableuse, de sable argileux, de calcaire et sable, d'âge pliocène inférieur-moyen. (Figure 4A et 4C)

Ces niveaux sont surmontés par des sables à matrice carbonatée et/ou des argiles sableuses dont la résistivité varie entre 20 à 50 ohm.m de l'unité géoélectrique 2 d'âge Pliocène supérieur au Villafranchien, Cependant la séquence du Amérien-Tensiftien est représentée par des faciès gréseux, sableux et argiles sableuses, et des sables à matrice carbonatée dont la résistivité varie entre 40 et 100 ohm.m de l'unité géoélectrique 3.

Dans la zone côtière, régionalement, on note une augmentation de la granulométrie de ces lentilles en allant de la base vers le sommet [1]. Sur le plan géoélectrique, Elles s'expriment par des niveaux de fortes résistivités pouvant atteindre 3600 ohm.m, valeurs qui diminuent au centre de la zone côtière pour avoir une moyenne de 100 ohm.m.

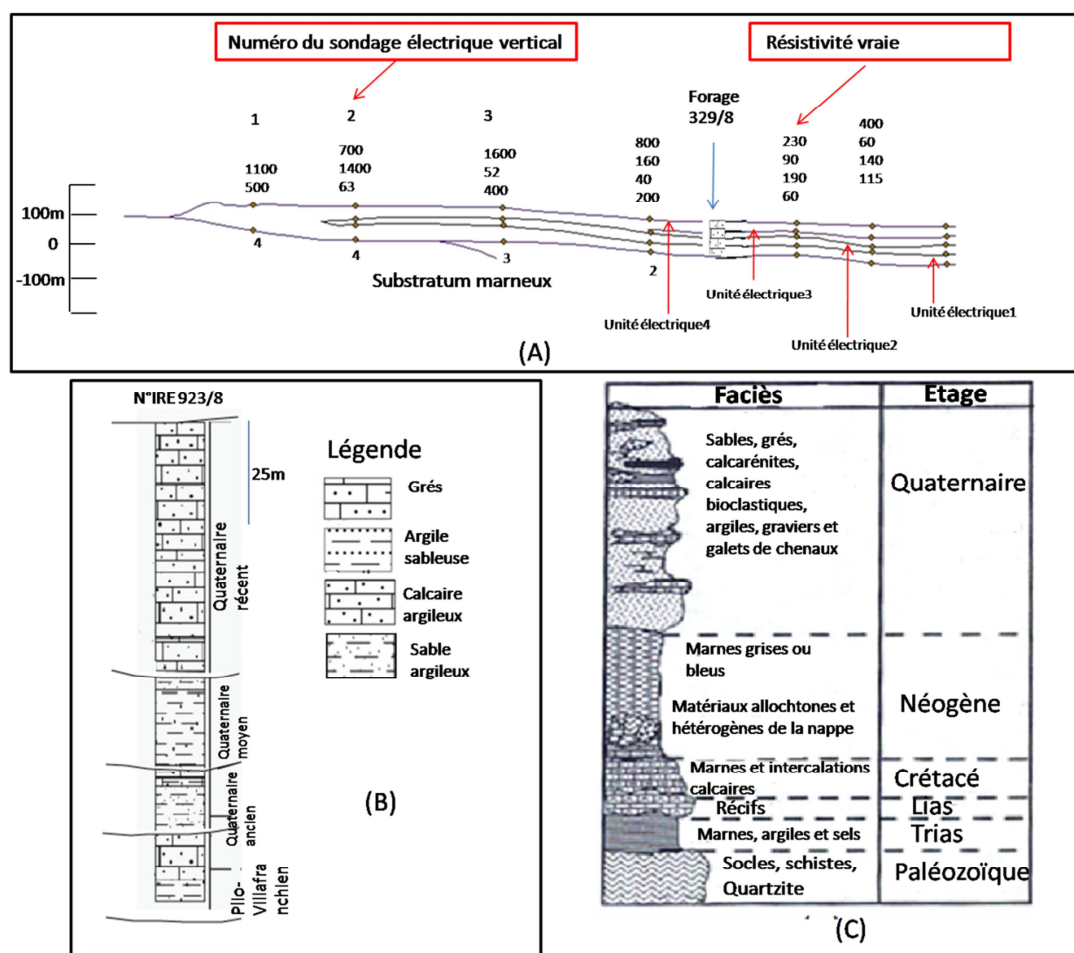


Figure 4 : Coupe géoélectrique corrélée à un forage mécanique (923\8) (A), détail des unités géoélectriques corrélées au forage (B) et coupe lithologique synthétique de la zone étudiée (C)

## 6 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 6.1 MODELE TRIDIMENSIONNEL DES AQUIFERES SW DU BASSIN DU GHARB

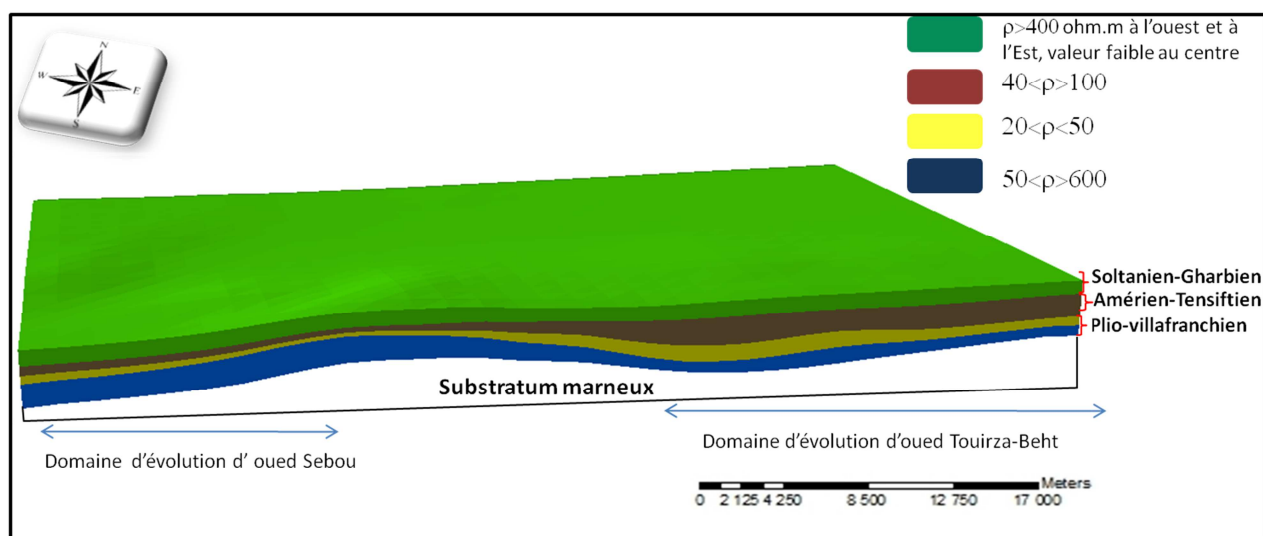


Figure 5 : Bloc diagramme des niveaux géoélectriques de la zone d'étude

On a établi un modèle 3D des aquifères se trouvant au SW du bassin du Gharb. La géométrie tridimensionnelle de ces aquifères a été mise en évidence par corrélation de deux types de données : les coupes géoélectriques et les coupes lithostratigraphique réalisées à partir des forages hydrogéologiques existant dans cette région. Ce modèle intègre les données de résistivité électrique et ce depuis le plio-villafranchien jusqu'à l'actuel. (Fig : 5)

Les résultats obtenus à partir de la superposition des deux unités géoélectriques U1 et U2, d'âge plio-villafranchien, ont permis de montrer une configuration architecturale qui met en évidence l'existence de deux grands sous bassins séparés par une zone haute; l'ensemble compose le grand bassin de l'oued Sebou. (Fig : 6)

Le premier sous- bassin correspond à la dépression côtière d'Oulad Slama-Mograne à l'Ouest d'une orientation NE-SW. Le second sous-bassin correspond à la dépression de centre Rmila d'orientation NW-SE. (Fig : 6)

Le modèle ainsi établie a permis la mise en évidence d'une architecture en zones hautes et zones basses qui vont influencer le remplissage des deux dépressions. Ce remplissage est selon [3] trouve son origine au niveau des domaines de Zemour et le front des rides Sud-rifaine à l'Est et au Nord-Est.

L'ensemble des travaux réalisés dans la partie SW du bassin du Gharb, ont permis d'établir un modèle tridimensionnelle (Fig : 6) permettant de subdiviser le bassin SW en deux sous bassins séparés par une ride (pli de sidi yahya).



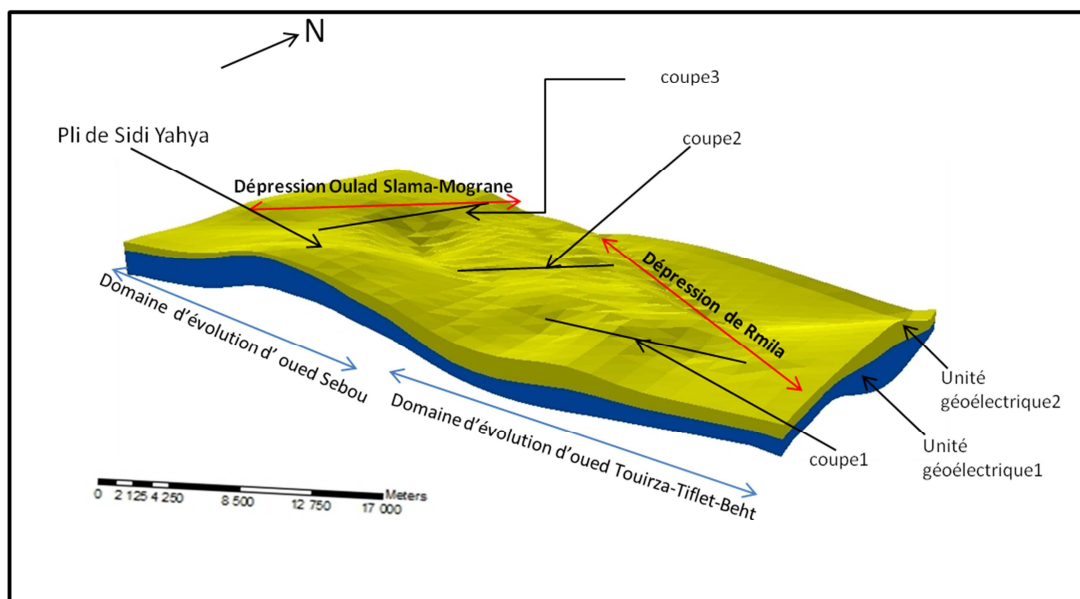


Figure 6 : Modèle tridimensionnelle des unités géoélectriques 1 et 2 avec localisation des coupes 1,2 et 3.

L'analyse détaillée des coupes transverses au sein des dépressions montre un remplissage différentiel qui s'échelonne depuis le plio-villafranchien jusqu'au quaternaire moyen.

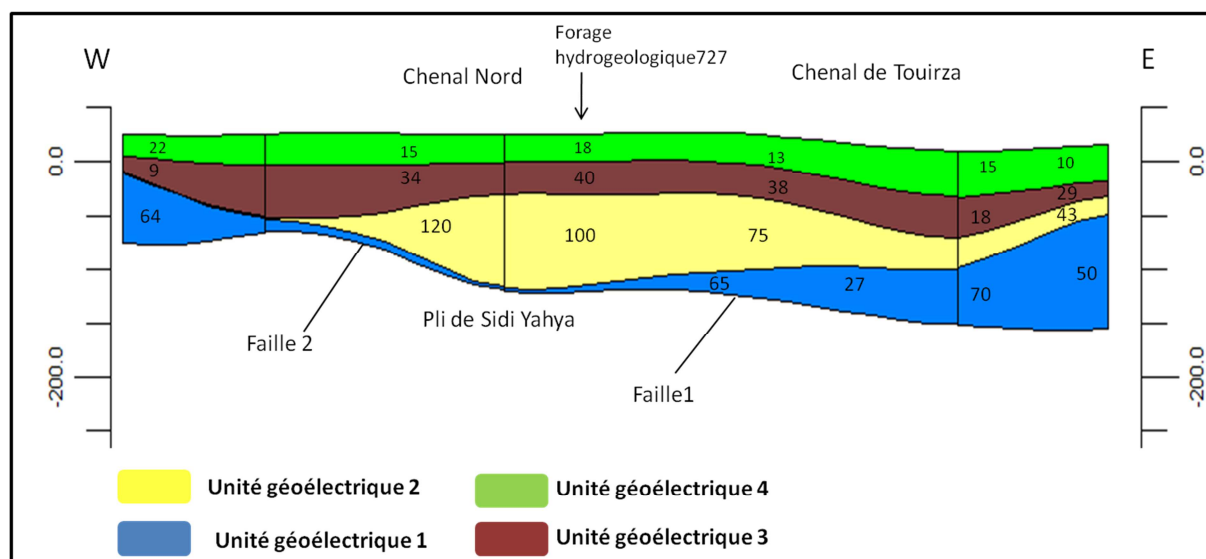


Figure 7 : coupe de corrélation géoélectrique 1 (voir localisation figure 6)

La coupe de corrélation géoélectrique 1 réalisée dans le centre du sous bassin de Sebou, montre que l'unité 1 d'âge plio-villafranchien basale présente un épaissement de part et d'autre du pli de Sidi Yahya. La répartition latérale d'Est vers Ouest des valeurs de résistivités de part et d'autre du pli de Sidi Yahya sont faibles (27 à 70 ohm.m) ; cependant une tendance à l'élévation de la résistivité en direction de l'Ouest vers l'emplacement de l'oued Touriza.

En revanche la partie supérieure du Villafranchien représentée par l'unité géoélectrique 2 montre un épaissement à l'Est du pli de Sidi Yahya, et une diminution à l'emplacement des anciennes zones profondes, voir même une disparition complète de cette unité ; les données du forage hydrogéologique (727/14) permettent d'évaluer le plancher de l'unité 2 à -

100m. Les valeurs de résistivités varient entre 75 et 100 avec un maximum de 120 ohm.m vers l'Ouest. Ceci permet de considérer cette unité comme un réservoir potentiel ([1] ; [11])

Pendant le Quaternaire moyen (Amerien-Tensiftien), l'unité géoélectrique 3, représentée par des argiles à passage sableux et caillouteux [11]. Cette unité s'homogénéise sur la grande partie du bassin. La répartition des valeurs de résistivités sur l'ensemble de cette unité sont faibles, de l'ordre de 9 ohom.m à 40 ohom.m.

Les changements de puissance des unités une et deux sont le résultat d'une inversion de polarité des bassins engendré par le jeu néotectonique de failles F1 et F2 (Fig : 8) de directions NE-SW à l'emplacement du pli de Sidi Yahya. Les travaux de néotectonique réalisés par [12] sont en faveur de cette hypothèse.

L'épaississement de l'unité géoélectrique 3 noté vers l'W, à l'emplacement du pli de Sidi Yahya, s'explique par l'action combinée d'un ravinement intense de l'Oued Tourza-Smanto au cours de cette période et au jeu néotectonique enregistré sur l'ensemble du domaine rifain et pré-rifain ([12] ; [13]).

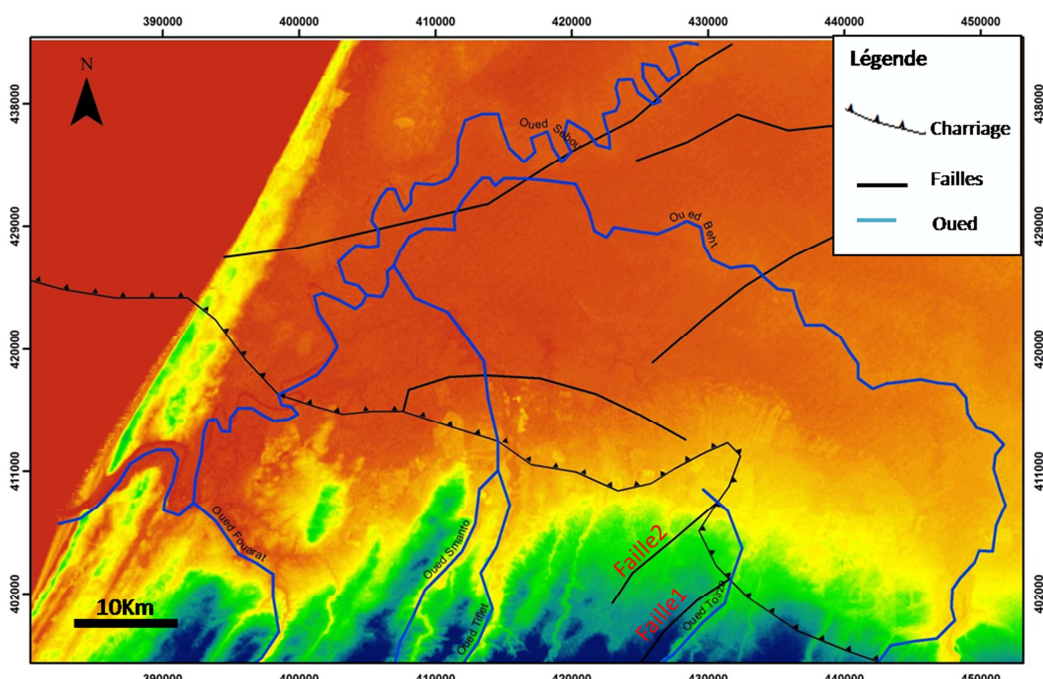


Figure 8 : position des failles 1 et 2 à partir de la carte néotectonique de Morel 1994

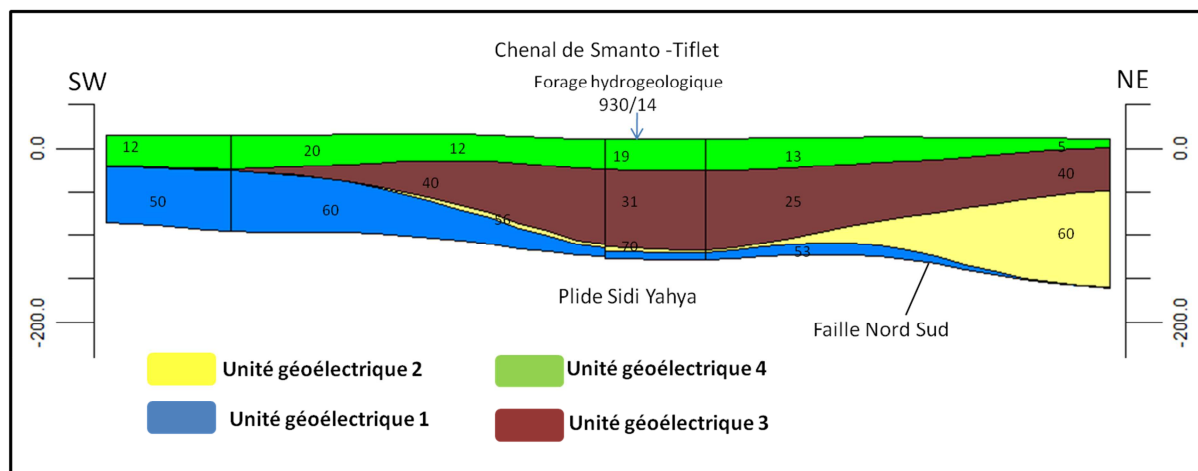


Figure 9 : Coupe de corrélation géoélectrique 2 (voir localisation figure 6)



La coupe de corrélation géoélectrique 2 (Fig : 9), orientée NE-SW permet de voir quatre unités géoélectriques différentes et montrant des variations latérales assez importantes.

L'unité géoélectrique 1 montre un épaissement important vers le SW et une réduction au niveau de pli de Sidi Yahra vers le NE.

En revanche l'unité géoélectrique 2 prend de l'importance en s'épaississant vers le centre de la dépression de Beht. La réduction d'épaisseur de ces deux unités au niveau de pli de Sidi Yahya témoigne toujours de l'exhaussement de cette région.

L'organisation architecturale de l'unité 3 montre un épaissement maximum dans la partie centrale qui correspondait à la zone haute du pli de Sidi Yahya. Ceci peut être expliqué par une inversion de la polarité des failles récentes responsables de la mobilité de la zone en question. Elle montre cependant une réduction d'épaisseur en direction du NE et une disparition totale dans la partie SW. Cette unité correspond donc au remplissage du chenal de l'Oued Smanto-Tiflet. De point de vue lithologique, les données du forage hydrogéologique (forage 930/14) effectué le long de cette unité montrent une prédominance des sables (niveau généralement résistant). Ceci permet de considérer cette unité comme un réservoir potentiel ; attribuée à l'intervalle d'âge quaternaire ancien.

L'unité géoélectrique 4, d'épaisseur constante sur la majorité de la coupe, d'âge quaternaire récent (soltanien-Rharbien) ([5] ; [11]). Elle est constituée par un ensemble argileux. Par endroit on note la présence de passage de niveaux carbonatés qui correspond à des concrétionnements ultérieurs. Dans la partie supérieure il ya développement de sol. De point de vue géoélectrique, les valeurs de résistivités sont généralement faibles (niveau conducteur), elles ne dépassant pas 20 ohm.m.

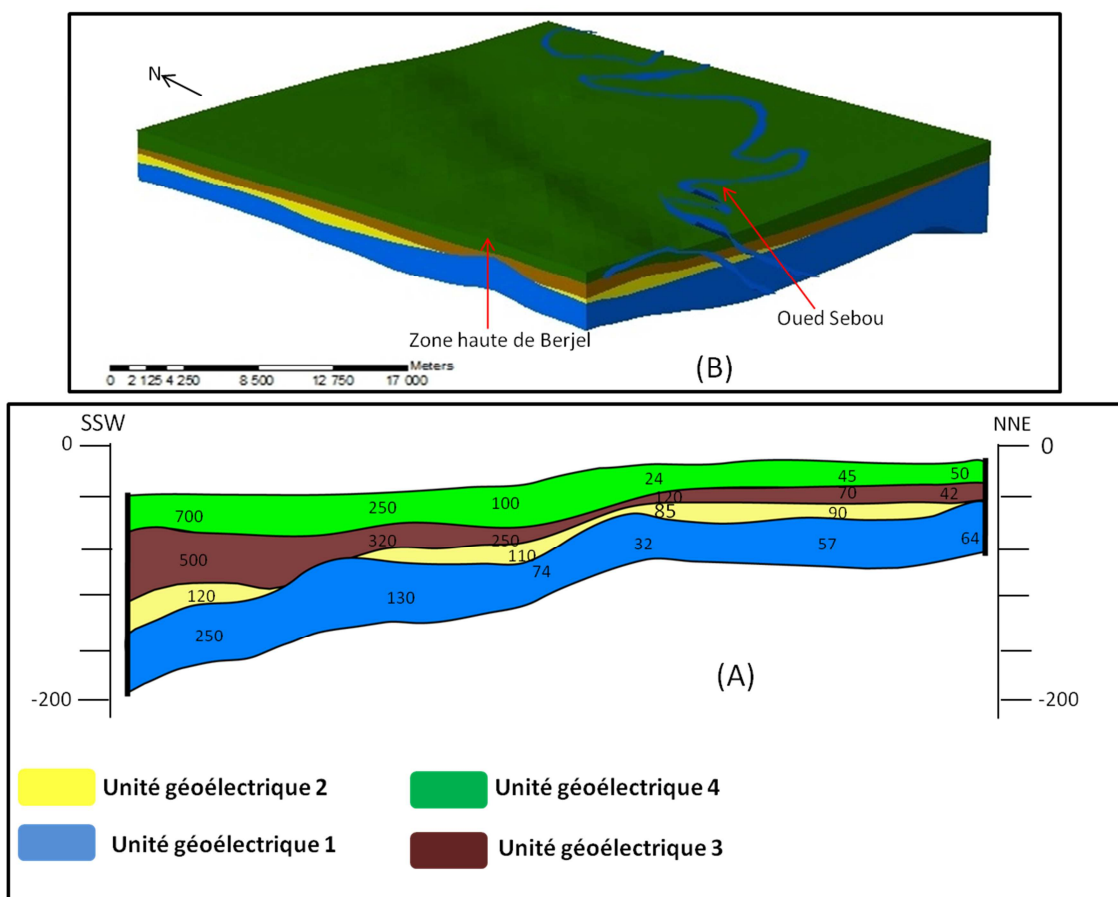


Figure10 : Coupe de corrélation géoélectrique 3 (A), Modèle tridimensionnelle de la zone côtière des aquifères SW du bassin du Rharb (B)

La coupe géoélectrique 3 (Fig : 10.A) située sur la rive droite d'Oued Sebou qui correspond à la partie de la zone côtière du bassin. Elle est orientée SSW-NNE (Fig : 6) et montre également la distribution latérale des 4 unités géoélectriques reconnues ailleurs et qui sont de bas en haut :

Unité géoélectrique 1, d'âge plio-villafranchien basale constituée par une succession de marnes, de grés et de marnes argileuses d'épaisseur constante sur l'ensemble du profil (d'après le forage hydrogéologique (533/8)). Néanmoins les valeurs de résistivités montrent des variations depuis NNE (30 à 150 ohm.m) vers le SSW (10 à 400 ohm.m).

Unité géoélectrique 2, se répartie en escalier autour de la zone haute d'Oulad Berjal (Fig : 10. B) [14]. Elle se présente sous forme de plusieurs lentilles d'axe NW-SE parallèles aux directions des oueds Fouarat et Smanto. L'organisation architecturale de cette unité autour de zones hautes et basses est le résultat du jeu néotectonique des failles conjuguées de direction NE-SW. La répartition des valeurs de résistivités sont de l'ordre de 14 à 200 ohm.m, ceci défère à cette unité un potentiel aquifère élevé.

Unité géoélectrique 3, représentée par des sables et des grés à passages argileux, attribuée au quaternaire moyen (Amerien-Tensiftien). L'évolution latérale de cette unité montre une réduction de SSW vers le NNE. Elle correspond au remplissage de la dépression de Mograne-Oulad slama; ceci témoigne d'une stabilité tectonique de la zone étudiée. Cette unité est généralement résistante (40 à 700 ohm.m).

L'unité géoélectrique 4, montre une épaisseur constante sur l'ensemble de la coupe. Elle est d'âge quaternaire récent (soltanien-Rharbien) ([5] ; [11]) Elle est représenté par des sables d'origine éoliennes au sein des quelles se rencontrent des daya et tirs. Les valeurs de résistivités atteignent particulièrement à certain endroit de fortes valeurs (1000 ohm.m) témoignant ainsi du fort potentiel hydrique de cette unité.

## **7 CONCLUSION**

Dans ce travail, nous avons procédé à une modélisation tridimensionnelle des formations géologiques plio-quaternaires de la partie SW du bassin du Gharb dans le but d'identifier les différents niveaux potentiellement aquifères. Celle-ci a nécessité l'utilisation de données multisources; géophysique hydrogéologiques et géologiques et leur intégration dans une base de données sous le système d'information géographique (SIG). Les résultats obtenus auxquels nous nous sommes parvenus permettent de mettre en évidence la répartition spatio-temporelle de ces aquifères.

La modélisation géoélectrique a permis de mettre en évidence la subdivision du bassin Sud Sebou au moins en deux grands sous bassin : Le sous bassin côtier Oulad Slama- Mograne et le sous bassin de Rmila centre.

L'analyse comparée des coupes géoélectriques (WE, SW-NE et SSW-NNE) intéressant les dépôts plio-quaternaires au niveau de ces deux sous bassin, ont permis de mettre en évidence quatre grandes unités géoélectriques bien distinctes et plus ou moins continues à l'échelle de la zone d'étude :

Unité géoélectrique 1, généralement conductrice dont les valeurs de résistivités varient entre 20 et 50 ohm.m dans un milieu argilo-sableux à argileux ou argilo-gréseux. Ces valeurs sont généralisées sur l'ensemble de la formation.

Unité géoélectrique 2, caractérisée par une résistivité importante qui est de l'ordre 50 à 200 ohm.m. Elle est représentée par plusieurs lentilles sableuses avec des passages latéraux de faciès gréseux calcaires, sablo-gréseux ou calcaires sableux. Elle est généralement résistante d'où l'importance du potentiel aquifère.

Unité géoélectrique 3, moyennement résistante, la répartition latérale des valeurs de résistivité ne dépasse pas 150 ohm.m. Elle est représentée par des sables à passages argileux et gréseux.

Unité géoélectrique 4, généralement conductrice dont les valeurs de résistivité varient entre 10 et 45 ohm.m. Elle est représentée par des dépôts récents qui sont soit des limons plus au moins sableux (dess), soit des sols noirs argileux qui recouvrent l'ensemble de la plaine. Elle correspond la phase du comblement du bassin.

Les grandes variations des valeurs de la résistivité notées entre la partie W (zone côtière) et partie E (zone de Rmila) concernant les quatre unités géoélectriques s'expliquent par un régime de mise en place différent d'une partie à l'autre. Elles peuvent être expliqué d'une part par un transport différentiel d'amont en aval, et notamment par l'influence d'un grand apport éolien depuis l'Ouest (côte atlantique) jusqu'au relief représenté par l'anticlinal de Sidi Yahya qui jouait un obstacle pour le transport vers l'Est.

Les variations verticales de la puissance des quatre niveaux sont le résultat de l'action combinée entre le jeu néotectonique enregistré sur l'ensemble du domaine rifain et pré-rifain et le ravinement intense et dépôt des Oued dans les zones profondes au cours du temps.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les responsables de l'Administration de l'Hydraulique et l'Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau Potable-Branche Eau (ONEE) pour leur soutien à la réalisation de ce travail.

## REFERENCES

- [1] P.Cirac: Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. . Mem. Inst. Géol. Bassin d'aquitaine, Université de Bordeaux 1, n° 21, 287p. 1985
- [2] P.Piqué, et A.Michard,,: Moroccan hercynides: A synopsis, The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa, American Journal of Science, Vol. 289, pp 286-330. 1989
- [3] A. Michard : Eléments de géologie marocaine. Notes & Mém. Serv. Géol. n°252, 408p. 1976
- [4] P.Thauvin : Monographie hydrogéologique de la Mâamora. Notes et mem. Ser. Geol. N° 195, Maroc, 120p.1966
- [5] M. Combe : Bassin du Gharb –Maâmora. In ressources en eau du Maroc. Tome2, Notes et mem. Serv. Géol., Maroc. N° 231, pp 93-128. 1975
- [6] M.ABERKAN : Le Quaternaire littoral de la bordure méridionale du Rharb (Maroc nord-occidental) Aspects sédimentologiques, pédologiques et néotectoniques.1986
- [7] J.F. Flinch: Tectonic evolution of the Gibraltar Arc. Ph.D Dissertation, Rice Univ., Houston, 381p. 1993
- [8] L.Zouhri : L'aquifère du bassin de la Maamora, Maroc : géométrie et écoulement souterrain, Journal of African Sciences, Vol. 32, n°4, pp. 837-850. 2001
- [9] L.Zouhri ; C.Gorini , C.Lamouroux et al : Interprétation hydrogéologique de l'aquifère des bassins sud-rifains (Maroc): apport de la sismique réflexion. C. R. Géosci. Paris, Série II (3), (35), 319–326. 2003
- [10] B. El mansouri : Développement d'outils et concepts pour la gestion des eaux souterraines. Applications à l'aquifère côtier du Gharb. Thèse de doctorat d'état, Faculté des Sciences de Kénitra. 152p. 1999
- [11] M. Killi : Les Aquifères profonds du bassin du Rharb (Maroc) Géométrie, Bilan et Modélisation. Thèse d'Etat Es-Sciences. Univ. Ibn-Tofail, Kénitra, 203 p. 2007
- [12] L.J. Morel: Evolution récente de l'orogène rifain et de son avant pays depuis la fin de la mise en place des nappes. Thèse de doctorat. Univ.de Paris-Sud, 584p. 1987
- [13] L.J. Morel: Carte néotectonique du Maroc, Edition du Service Géologique du Maroc. Notes et Memoires n°368. 1994
- [14] A. Mansouri, A.Mridekh, I. Kacimi, N.Kassou, M.Killi and T.Bahaj: « Three-dimensional modeling of aquifers of the coastal basin gharb, NW Morocco) Water rock interaction 14, Elsevier Procedia Earth and Planetary Science 7, 397 – 400. 2013.