

Géosciences de surface (Geomorphologie)

De nouveaux éléments structuraux du complexe aquifère profond du bassin du Rharb (Maroc) : implications hydrogéologiques

Malika Kili, Bouabid El Mansouri *, Jamal Chao, Abderrahman Ait Fora

Équipe « Technologies des ressources en eau », laboratoire des géosciences appliquées, faculté des sciences de Kénitra, université Ibn-Tofail, BP 133, 14000 Kénitra, Maroc

Reçu le 15 mars 2005 ; accepté après révision le 25 septembre 2006

Disponible sur Internet le 25 octobre 2006

Présenté par Ghislain de Marsily

Résumé

Le bassin du Rharb est l'un des plus grands bassins hydrogéologiques du Maroc. Situé au nord-ouest, il s'étend sur une superficie de 4000 km². La nature du remplissage sédimentaire plio-quadernaire, son contexte structural et paléoenvironnemental sont à l'origine d'une variabilité et d'une discontinuité dans la distribution des faciès sédimentaires, ce qui se traduit par une complexité de la géométrie des couches potentiellement aquifères. Cette étude a permis de dresser une image des réservoirs hydrogéologiques potentiels et la mise en évidence de nouvelles structures tectoniques, qui expliquent partiellement cette architecture. **Pour citer cet article : M. Kili et al., C. R. Geoscience 338 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

New structural elements of the deep complex aquifer of the Rharb basin (northwestern Morocco): hydrogeological implications. The Rharb basin is located in northwestern Morocco. It is a part of one of the most important hydrogeological basins of Morocco, and extends over some 4000 km². The nature of its Plio-Quaternary sedimentary fill and its structural and palaeoenvironmental contexts are reflected by great variations in aerial and temporal facies distribution. This distribution, in turn, is a direct cause of the observed complexity in the geometry of potentially water-bearing beds. In the present work, we present an image of potential new hydrogeological reservoirs and define new structures that partially explain their architecture. **To cite this article: M. Kili et al., C. R. Geoscience 338 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Bassin du Rharb ; Dépôts plio-quadernaires ; Structuration ; Aquifères profonds ; Maroc

Keywords : Rharb basin ; Plio-quaternary ; Facies ; Structure ; Deep aquifer ; Morocco

Abridged English version

The geological history of the Rharb basin results from a collapse that has occurred in margin of the Betic and Rif Cordilleras during the Neogene period, from which a very subsident depression has resulted [5,10,

* Auteur correspondant.
Adresses e-mail : m_kili@hotmail.com (M. Kili),
b_elmansouri@yahoo.fr (B. El Mansouri).

14,15]. In this context, the Plio-Quaternary aquifers are characterized by a complex geometry. The objective of this study is to carry out a synthetic analysis of the deep aquifers implying great spaces (Fig. 1). The methodology is based on the exploitation of subsurface data (hydrogeological drillings and geophysical studies [2, 9]).

The Plio-Quaternary series show two types of deposits; the first one is very heterogeneous, formed of continental origin, clays, sands and gravels. The second, related to littoral marine environments, comprises sands, sandstones, and limestones (Fig. 2). Both rest on a Mio-Pliocene, blue marls substrate.

The littoral deposits are levelled in the northern and southern part of the plain and also along the coastal band where the offshore bars are built. These deposits are inserted in-depth under a continental sedimentation from the western and southern edges. They are prolonged towards the centre and juxtapose with a continental, stony sedimentation. This continental unit is developed in the whole eastern sector, where it occupies almost the totality of the series (Fig. 4).

On the remainder of the basin, the later continental deposits are organized in four units. The first one, of Pliocene and Lower Quaternary ages, is composed of interbedded sands and gravels. It occupies the deep central zones of the basin and is surmounted by a second unit dominated by Amirian (stages of the Moroccan Quaternary) clays. The third is made of sands, gravels and clays organized of superimposed lenses particularly developed in the site of the Sebou and Beht Rivers (Figs. 3 and 4). This unit corresponds to the stony phase of the Amirian, the Tensiftian and the beginning of the Soltanian (Fig. 2). The isopach map (Fig. 5), of these deposits highlights the migration of the channels towards the south during the last Holocene transgression, according to Cirac et al. [6]. The last unit is composed of the Upper Soltanian and Rharbien clays that cover most of the plain.

The effects of distensive tectonics are recorded by the marine and continental Pliocene and Lower Quaternary deposits located at the base of the sections. The brutal lateral changes of facies and the vertical shifts are explained by the presence of normal faults (Figs. 3 and 4). Indeed, the site of the sections, compared to the structural map of the Prerifan Nappe [10], shows that the lateral changes of facies mentioned previously often coincide with the site of normal faults while respecting the direction and the plunging. In the southern part of the plain, Zouhri [22] and Zouhri et al. [23–25] identified structures in horsts and grabens affecting, at the same time, the Miocene and the Plio-Quaternary. Ac-

cording to these authors, this geometry continues under the Rharb plain in the North. This is at the origin of the configuration of the basin, rectified brutally on the northern sides, and is raised gradually towards the south and the west. In addition, the continental deposits of the Middle and recent Quaternary, highlighted by drillings, have a significant thickness in the central parts of the basin. These elements attest to the extent of the subsidence that can be explained only by the existence of normal faults affecting, in fact, the Pliocene and Lower Quaternary.

From this history results a very complex geometry of aquifers (Figs. 6 and 7). These comprise both a shallow and a confined water table. The shallow water table is localised in the recent soils of the central part of the plain. The western and southern edges present another groundwater table whose aquifers include Pliocene and Lower Quaternary sandstone formations. It is attached to the deep table owing to the fact that its aquifers are inserted under the plain and are in geological and structural continuity with the deep aquifers. These latter aquifers are composed of sandstone, sands and alluvial stones units, confined under a thick aquiclude argillaceous formation. This system is also integrated in the continental filling of Middle and Upper Quaternary, characterized by a variability and a discontinuity related to its fluvial origin (Figs. 6 and 7).

1. Introduction

Une étude hydrogéologique nécessite en premier lieu la connaissance géologique du terrain, qui a pour but l'identification des aquifères et la mise en évidence de la configuration et de la structure des réservoirs. Dans le contexte d'un bassin à remplissage continental, les études ayant abordé ce sujet sont unanimes quant aux difficultés posées par ce type d'environnement [7,12, 20]. En effet, les processus dynamiques de la mise en place des dépôts fluviaux déterminent, en dehors de la zone des cônes alluviaux constitués de sédiments mal triés, trois catégories, qui correspondent à des milieux bien identifiés : les dépôts de chenaux, de berges et de plaine d'inondation [7]. Cette distribution subit au cours du temps des phases successives d'érosion et d'accumulation contrôlées par les actions interférentes du climat, des apports sédimentaires, de l'eustatisme et de la tectonique. L'architecture qui en résulte est complexe, marquée par une variabilité verticale et latérale des faciès sédimentaires. Ceci rend difficile la détermination et la délimitation des formations constituées par des matériaux perméables susceptibles de correspondre à des niveaux aquifères. Selon Vouvé [20], la planification

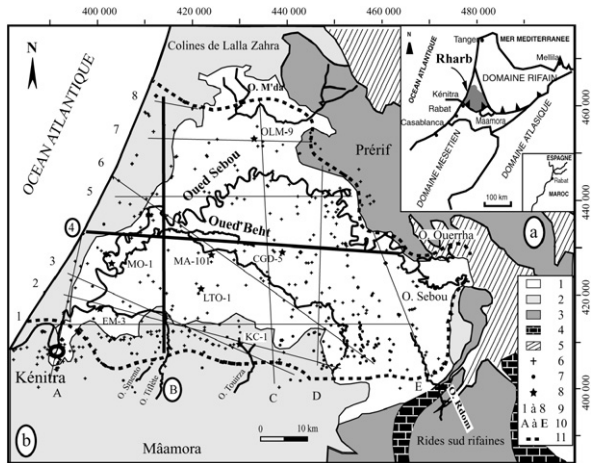


Fig. 1. Contexte géologique et localisation des forages hydrogéologiques étudiés. 1 : Dépôts récents, 2 : Plio-Quaternaire, 3 : Miocène de couverture (marnes), 4 : Secondaire (rides sud-rifaines), 5 : nappes pré-rifaines, 6 : forages hydrogéologiques, 7 : piézomètres, 8 : forages pétroliers, 9 : coupes géologiques est-ouest, 10 : coupes géologiques nord-sud, 11 : secteur d'étude.

Fig. 1. Geological context and location of the hydrogeological drillings studied. 1: Recent deposits, 2: Plio-Quaternary, 3: Miocene cover (marls), 4: Secondary ('rides sud-rifaines'), 5: nappes pré-rifaines, 6: hydrogeological drillings, 7: piezometers, 8: oil drillings, 9: east-west cross-sections, 10: north-south cross-sections, 11: study area.

d'une exploitation de ces aquifères est confrontée aux difficultés posées par l'interprétation de données isolées et disparates, ce qui nécessite des études synthétiques impliquant de grands espaces. Cette approche constitue l'objectif de notre étude concernant la plaine du Rharb. Cette région, située au Maroc nord-occidental, correspond à un bassin subsident à remplissage pliocène et quaternaire, dont une partie est d'origine fluvatile, déposée par le principal cours d'eau de la plaine, représenté aujourd'hui par l'oued Sebou et ses affluents (Fig. 1a et b).

Deux nappes ont été identifiées au sein des dépôts plio-quaternaires [8]. La première est phréatique peu profonde, localisée dans les sols de surface au centre de la plaine. Son mur se situerait entre 8 et 15 m de profondeur. Cette nappe est peu exploitée, à cause de sa faible productivité et de sa qualité chimique défavorable. La seconde, qui fait l'objet de notre étude, est profonde. Son mur peut atteindre 250 m sous le niveau du sol. Il coïncide avec l'apparition des marnes du Mio-Pliocène.

2. Méthodologie

Le bassin du Rharb a connu, depuis longtemps, des campagnes de reconnaissance par forages et des études localisées de reconnaissance par géophysique [2,

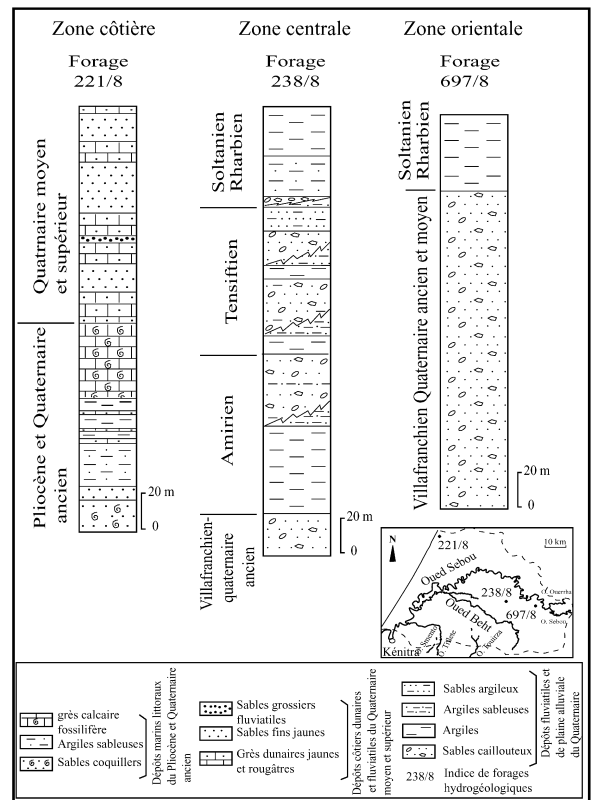


Fig. 2. Stratigraphie et distribution des faciès dans le bassin du Rharb. Fig. 2. Stratigraphy and distribution of the facies in the Rharb basin.

9]. Nous avons pu consulter 376 fichiers de forages, où les données techniques relatives aux faciès géologiques et hydrogéologiques sont disponibles. Les différents forages sont reportés sur une carte topographique au 1:100 000 (Fig. 1). Dix coupes hydrogéologiques ont été dressées (cinq coupes d'orientation est-ouest et cinq d'orientation nord-sud), permettant la réalisation d'un maillage couvrant l'ensemble du bassin. La corrélation du faciès sédimentaire à partir des forages a permis la réalisation de coupes hydrogéologiques à travers le bassin.

Dans le but de trouver une logique dans la répartition des différents faciès, nous avons essayé d'attribuer un âge aux principales formations par corrélations de faciès, en se basant sur les travaux qui ont analysé le Quaternaire du Maroc [1,3,8,13,16–18], particulièrement celui du bassin du Rharb [1,5,7,13]. L'analyse lithostratigraphique des séries révélées par les forages nous a permis de constater que les dépôts continentaux du Quaternaire de la plaine du Rharb, en ce qui concerne les faciès, répondent au schéma de la stratigraphie classique du Maroc (Fig. 2), selon laquelle on attribue au Quaternaire ancien (équivalent Günz),

un pluvial très marqué, à l'origine de dépôts grossiers. L'Amirien (équivalent du Mindel), est décrit comme un pluvial doux et humide favorisant des limons argileux rouges et de petits cailloutis. Le Tensiftien et le Soltanien (équivalant respectivement au Riss et au Würm), correspondent à des pluviaux assez rigoureux déposant des cailloutis en abondance, en particulier pour le Tensiftien. Le dernier pluvial, le Rharbien, est légèrement plus humide que l'Actuel; la sédimentation est essentiellement limoneuse [3].

3. Résultats et discussions

3.1. Répartition des faciès

Le bassin du Rharb correspond à une zone d'effondrement, formée en marge de la chaîne bético-rifaine. Depuis sa formation, il constitue une zone très subsidente [5,10,11,14,15]. Le substratum du remplissage plio-quatenaire est représenté par une épaisse formation marneuse déposée dans un environnement marin profond, au cours du Miocène supérieur et du Pliocène moyen [5,21]. Des changements importants surviennent au cours du Pliocène supérieur, avec une répartition différenciée de trois principaux faciès : des conglomérats d'origine fluvio-estuarienne à l'entrée du bassin vers l'est, des sables et des grès marins dans la partie centrale et des calcaires bioclastiques littoraux sur la bordure côtière [5]. Le Quaternaire ancien (Messaoudien) débute par une sédimentation littorale, qui n'intéresse que la frange côtière sur une largeur d'une vingtaine de kilomètres [13]. Deux faciès sont distingués : des biocalcarénites littorales accumulées dans de petits golfes, au nord (golfe de Lalla Zohra) et au sud (golfe de Kénitra); entre les deux s'étendent, parallèlement à la côte, des sables et grès dunaires [5]. Le reste du bassin est occupé par une sédimentation caillouteuse continentale [13].

De cette histoire paléogéographique résulte une répartition des faciès déterminée à partir des forages hydrogéologiques (Figs. 3 et 4). Une première analyse des séries plio-quaténaires permet de distinguer deux types de dépôts : le premier, très hétérogène, d'origine continentale, formé d'argiles, de sables et de cailloutis; le second, lié à des environnements marins littoraux avec des sables, grès calcaires ou calcaires gréseux. Le substratum de ces dépôts est représenté par le toit des marnes bleues du Mio-Pliocène, qui présente généralement une architecture en demi-cuvette fortement redressée sur les bordures nord et est, se relevant progressivement vers l'ouest et vers le sud. La sédimentation à dominance sablo-gréseuse affleure au nord sur la marge pré-rifaine,

au sud dans la zone de Maâmora et également le long de la bande côtière où sont édifiés les cordons littoraux. Ces dépôts s'enfoncent en profondeur sous une sédimentation continentale. À partir des bordures ouest et sud, ils se prolongent vers le centre, où ils sont juxtaposés à une sédimentation caillouteuse (d'âges Pliocène et Quaternaire indifférenciés). Cet ensemble continental est développé dans tout le secteur oriental, où il occupe presque la totalité des séries (Fig. 4). Sur le reste du bassin, les dépôts continentaux ultérieurs s'organisent en quatre ensembles, définis sur une base lithostratigraphique. Le premier, d'âge Pliocène et Quaternaire ancien, est composé de sables intercalés de lits de graviers et de galets parfois conglomératiques. Il occupe les zones centrales les plus profondes du bassin. Il est surmonté par un second ensemble, dominé par des argiles grises ou jaunes, pouvant comporter des niveaux argilo-sableux ou sableux attribués à l'Amirien. Le troisième est formé de sables, de cailloutis et d'argiles. Cet ensemble composite sous forme de lentilles superposées est particulièrement développé au sous-sol des principaux oueds Sebou et Beht (Figs. 3 et 4). Il correspond à la phase caillouteuse de l'Amirien, au Tensiftien et au début du Soltanien. La carte isopaque de ces dépôts met en évidence la migration des chenaux vers le sud, qui s'est déroulée durant la dernière transgression holocène, comme l'ont signalé Cirac et al. [6].

Vers l'ouest les galets et les graviers sont peu représentés au profit des sables, organisés en corps allongés intercalés de minces niveaux argileux (Fig. 3). Le dernier ensemble intègre la partie supérieure du Soltanien et l'étage ultime du Rharbien, qui recouvre la plus grande partie de la plaine. Le faciès est argileux, interstratifié de lentilles caillouteuses d'extension limitée.

4. Analyse structurale

Dans le contexte du bassin du Rharb, où interfèrent durant le Plio-Quaternaire des dépôts marins et continentaux, la répartition des faciès est contrôlée par une multitude de facteurs dont ceux liés à l'eustatisme, au climat et également à la tectonique. L'importance de cette dernière se manifeste, d'une part, par une structuration distensive, mise en évidence dans les dépôts du fond attribués au Pliocène et Quaternaire ancien et, d'autre part, par la puissance des séries du Quaternaire moyen et récent dans la partie centrale du bassin par rapport aux bordures, ce qui reflète l'importance de la subsidence. Plusieurs travaux antérieurs effectués sur le pourtour du bassin, ont révélé des failles normales qui touchent presque toute la sédimentation post-nappe et dont l'origine est liée à la structuration de la nappe pré-

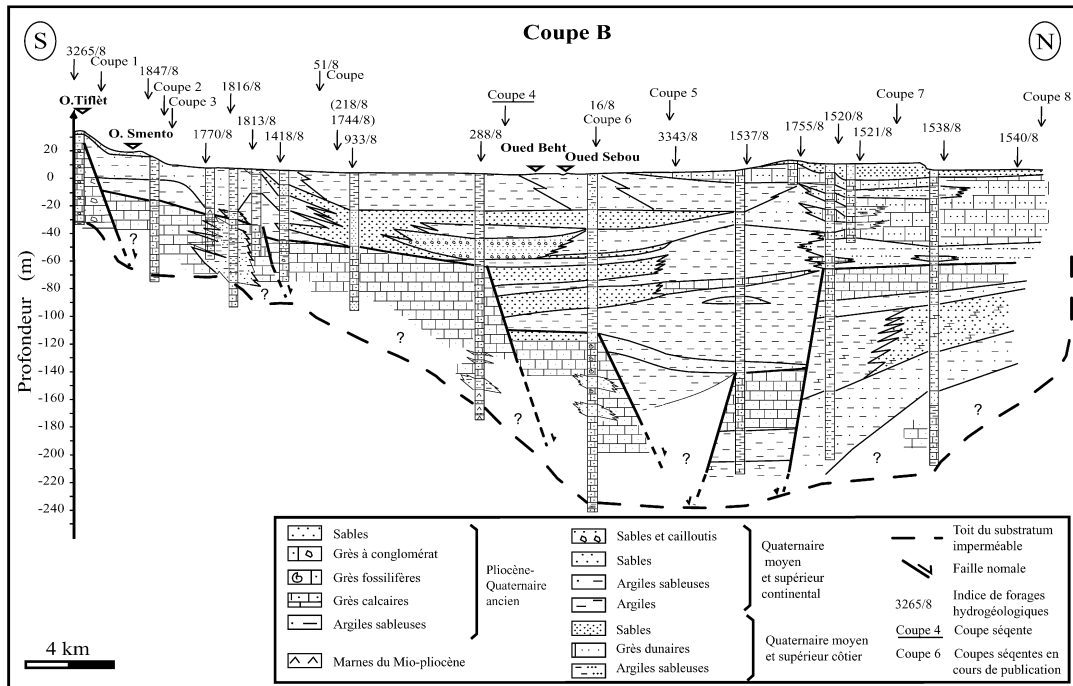


Fig. 3. Coupe géologique (B) orientée nord-sud, réalisée à travers les dépôts plio-quaternaires de l'Ouest de la plaine.

Fig. 3. North-south geological cross-section (B) made through the Plio-Quaternary deposits of the western area.

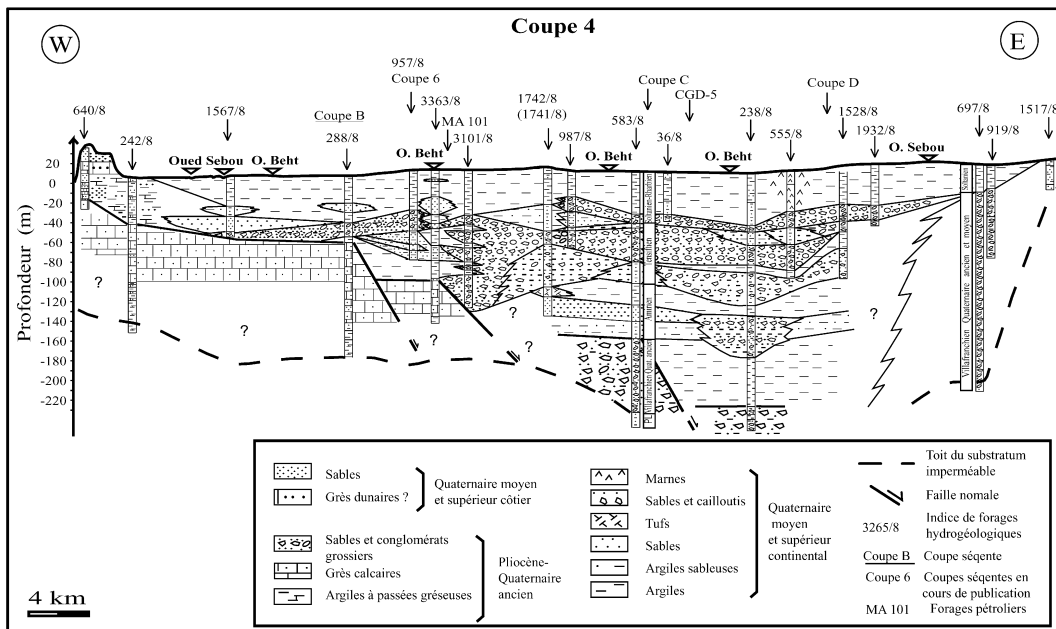


Fig. 4. Coupe géologique (4) orientée est-ouest réalisée à travers les dépôts plio-quaternaires au centre de la plaine.

Fig. 4. East-west geological cross-section (4) made through the Plio-Quaternary deposits of the central area.

rifaine. Les coupes réalisées dans le cadre de ce travail, qui intéressent les derniers dépôts pliocènes et quaternaires, révèlent que le premier ensemble lithostratigra-

phique défini plus haut et qui est situé à la base des coupes montre des changements brutaux de faciès dans le sens latéral et des décalages expliqués par la pré-

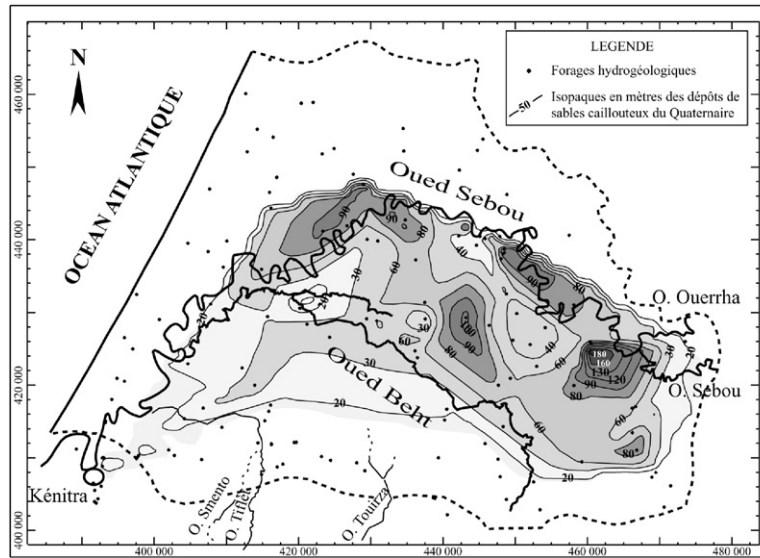


Fig. 5. Carte des isopaches des dépôts de sables caillouteux fluviaux d'âge Quaternaire liés aux oueds Sebou et Beht.

Fig. 5. Isopach map of the Quaternary fluvial stony silts settled by Sebou and Beht Rivers.

sence de failles normales. En effet, l'emplacement des coupes par rapport à la carte structurale du toit de la nappe pré-rifaine [10] montre que les changements latéraux de faciès mentionnés précédemment coïncident, dans la plupart des cas, avec l'emplacement de failles normales, tout en respectant la direction et le plongement de celles-ci. Au sud de la plaine dans la région de Maâmora, Zouhri [22], Zouhri et al. [23–25], ont identifié des structures en horsts et grabens affectant à la fois le Miocène et le Plio-Quaternaire. Ces failles sont le résultat de la réactivation de structures anciennes (hercyniennes). Selon ces auteurs, malgré la particularité de la plaine du Rharb par rapport à la région de Maâmora, due à l'existence de mouvements gravitationnels de la nappe pré-rifaine, la géométrie mise en évidence pour les dépôts plio-quaternaires au sud se poursuit sous la plaine du Rharb au nord. Ceci est à l'origine de la configuration en cuvette des flancs du bassin plio-quaternaire, redressée brutalement sur les côtés nord et est, et relevée progressivement vers le sud et vers l'ouest. Par ailleurs, les dépôts continentaux du Quaternaire moyen et récent mis en évidence par les forages présentent des épaisseurs importantes dans les parties centrales du bassin. Ces éléments attestent l'ampleur de la subsidence, qui ne peut être expliquée que par l'existence de failles normales affectant en l'occurrence les dépôts du Pliocène et du Quaternaire ancien.

La répartition des faciès profonds de la plaine a été longtemps considérée comme capricieuse et difficile à déterminer. Elle est le résultat d'une architecture com-

posée d'un fond structuré, formé de dépôts marins et continentaux d'âge Pliocène et Quaternaire ancien et d'un remplissage quaternaire exclusivement continental. La nature et la disposition de celui-ci sont gérées à la fois par la position et la nature méandrique des chenaux fluviaux, par les caractéristiques climatiques des différents pluviaux, ainsi que par les effets de la tectonique. Ces facteurs locaux interfèrent avec des phénomènes régionaux tectoniques et glacio-eustatiques. En effet, Flinch et Vail [11] ont mis en évidence, sur le plateau continental, en marge de la plaine du Rharb, neuf séquences sismiques de quatrième ordre, exprimant des oscillations marines liées au glacio-eustatisme et qui ont été mises en parallèle avec les étages continentaux (au sens de Texier et al. [19]). Dans cette étude, une place importante a été accordée à l'Amirien, corrélé avec quatre séquences sismiques. Le Tensiftien et le Soltanien sont respectivement mis en parallèle avec deux et une séquence. La géologie de surface décrit souvent l'Amirien comme un étage discret probablement érodé par la rigueur du pluvial ultérieur ; ce dernier s'exprime cependant en participant considérablement au remplissage des parties profondes du bassin.

5. Implications hydrogéologiques

Dans la plaine du Rharb, il est d'usage courant de distinguer une nappe phréatique et une nappe profonde en charge. La réalité du terrain révèle la nature complexe de ce système. La nappe phréatique, comme il a

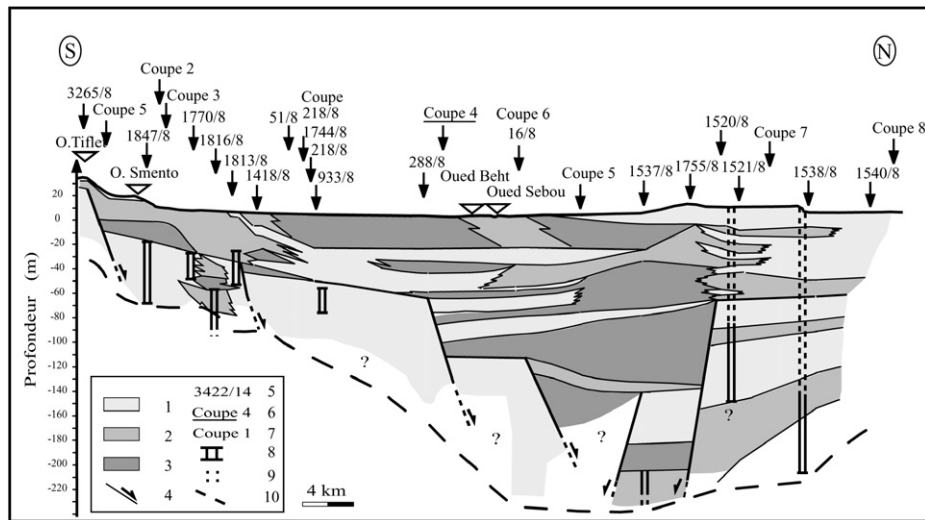


Fig. 6. Interprétation hydrogéologique de la coupe (B) réalisée dans la partie ouest du bassin du Rharb. 1 : Faciès perméables, 2 : faciès semi-perméables, 3 : faciès imperméables, 4 : failles normales, 5 : indice de forages hydrogéologiques, 6 : coupes sécantes, 7 : coupes sécantes en cours de publication, 8 : aquifères exploités d'après les données de la DGH (direction générale de l'Hydraulique), 9 : absence de données, 10 : toit du substratum marneux imperméable.

Fig. 6. Hydrogeological interpretation of section (B) through the western area of the Rharb basin. 1: Permeable facies, 2: semi-permeable facies, 3: impermeable facies, 4: normal faults, 5: index of hydrogeological drillings, 6: secant sections, 7: secant sections (publishing in progress), 8: exploited aquifers according to the data of the hydraulic administration (DGH), 9: absence of data, 10: marly aquifer basement.

été cité précédemment, est une nappe superficielle localisée dans les sols récents de la partie centrale de la plaine. Elle n'est pas à confondre avec la nappe phréatique de nature généralement sablo-gréseuse située sur les bordures, en particulier occidentale et en partie méridionale. Celle-ci, de plus en plus exploitée, est rattachée à la nappe profonde, du fait que ces aquifères s'enfoncent sous la plaine et sont en continuité géologique et structurale avec des niveaux aquifères profonds et captifs sous d'épaisses formations argileuses, qui sont mal connues. À ce système s'intègre également le remplissage continental du Quaternaire (moyen et supérieur), caractérisé par sa variabilité et sa discontinuité liées à son origine fluviale (Figs. 6 et 7). On peut donc diviser le système en deux types d'aquifères qu'on peut désigner par un ensemble inférieur et un ensemble supérieur. Ils sont séparés, dans la plupart des cas, par une série argileuse (d'âge Amirien), mais sans être totalement isolés. Ils communiquent, en particulier, dans la zone méridionale ou dans la zone centrale, là où les chenaux fluviaux ont suffisamment creusé pour atteindre les grès en profondeur. Ces deux ensembles sont distingués par plusieurs points :

- la profondeur du mur de l'ensemble inférieur se situe à -250 m. Le mur de l'ensemble supérieur se maintient en général entre -80 et -100 m. Dans le cas le plus extrême, il atteint -180 m ;

- l'ensemble inférieur est composé de dépôts sablo-gréseux et sablo-conglomératiques. Des faciès plus variés – sable, cailloutis et argile associés différemment – composent le second ensemble ;
- plus homogène et continu, l'ensemble inférieur est affecté par une structure cassante, matérialisée par des failles normales à l'origine de demi-grabens qui s'enfoncent vers le centre, favorisant ainsi les écoulements du sud vers le nord et également de l'ouest vers l'est. Une formation argileuse (d'âge Amirien) le sépare dans les zones les plus profondes de l'ensemble supérieur. Celui-ci est hétérogène, et interrompu verticalement et, dans certains cas, latéralement par des niveaux imperméables. Les aquifères, au niveau de la plaine proprement dite, sont captifs et mis en charge sous une série argileuse plus récente (d'âge Soltanien). Par définition, une nappe suppose l'existence de liaisons hydrauliques entre toutes les parties des aquifères [4]. L'existence de ces deux ensembles pourrait suggérer la présence de deux ou plusieurs nappes, d'autant plus que dans la moitié nord du bassin, des dépôts argileux de forte puissance séparent des aquifères superposés. Cette hypothèse paraît tout à fait plausible lorsqu'on néglige les liaisons hydrauliques latérales qui assurent l'alimentation à partir des bordures. Toutefois, les circulations peuvent s'opérer plus aisément dans les sens est-ouest et du sud vers le nord que dans

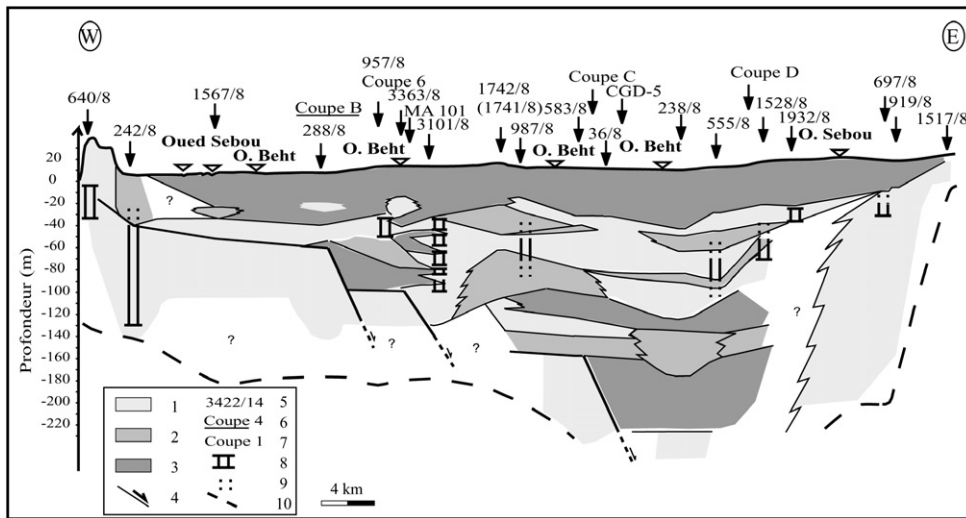


Fig. 7. Interprétation hydrogéologique de la coupe (4) réalisée dans la partie centrale du bassin du Rharb. 1 : Faciès perméables, 2 : faciès semi-perméables, 3 : faciès imperméables, 4 : failles normales, 5 : indice de forages hydrogéologiques, 6 : coupes sécantes, 7 : coupes sécantes en cours de publication, 8 : aquifères exploités d'après les données de la DGH (direction générale de l'Hydraulique), 9 : absence de données, 10 : toit du substratum marneux imperméable.

Fig. 7. Hydrogeological interpretation of section (4) through the central area of the Rharb basin. 1: Permeable facies, 2: semi-permeable facies, 3: impermeable facies, 4: normal faults, 5: index of hydrogeological drillings, 6: secant sections, 7: secant sections (publishing in progress), 8: exploited aquifers according to the data of the hydraulic administration (DGH), 9: absence of data, 10: marly aquifer basement.

le sens opposé, c'est-à-dire du nord vers le sud, à cause du développement d'une sédimentation argileuse aquiclude entre les deux secteurs.

6. Conclusion et perspectives

La méthode adoptée nous a permis de tracer une image du sous-sol du bassin du Rharb et de dégager la géométrie des couches potentiellement aquifères sur la base des données de forages. Ceci a révélé la réalité complexe du système aquifère profond, composé par plusieurs niveaux de nature et d'âge différents qu'on peut intégrer dans deux grands ensembles : le premier correspond aux grès et conglomérats structurés du fond, qui affleurent sur les bordures, le second est assimilé à un ensemble lithostratigraphique qui intègre les dépôts sableux et caillouteux du Tensiftien et du début du Soltanien. Cet ensemble, particulièrement développé au niveau du passage des oueds Sebou et Beht, est interstratifié de couches argileuses de faible épaisseur. Il est séparé, dans la zone centrale, par une épaisse série d'argile imperméable (Amirien), des niveaux aquifères profonds, et mis en charge sauf sur les bordures, par une autre série de même faciès (Soltanien–Rharbien).

Cette étude, en grande partie géologique, a permis d'éclaircir la configuration géométrique complexe des aquifères profonds de plaine du Rharb. C'est une étape qui a été réalisée en perspective d'une analyse hydro-

géologique plus poussée, visant à la mise au point d'un modèle mathématique de simulation des écoulements souterrains. Cette modélisation constitue un outil nécessaire à la gestion et à la préservation des ressources en eaux souterraines.

Remerciements

Nous remercions la direction générale de l'Hydraulique de Rabat (DGH) d'avoir mis à notre disposition les données utilisées dans cet article. Nous remercions aussi le Pr. G. de Marsily de l'université Paris-6, pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail, et pour ses remarques et ses suggestions constructives.

Références

- [1] M. Aberkan, Étude des formations quaternaires des marges du bassin du Rharb (Maroc nord-occidental), thèse d'État, université Bordeaux-1, France, 1989 (290 p.).
- [2] Anonyme, Reconnaissance par prospection électrique, région du Gharb, document inédit, Administration de l'hydraulique, Ministère des travaux publics, Rabat, Maroc, 1994 (21 p., 14 pl.).
- [3] G. Beaudet, G. Maurer, A. Ruellan, Le Quaternaire marocain. Observations et hypothèses nouvelles, *Rev. Geogr. phys. Geol. dyn.*, Paris (2) IX (4) (1967) 269–310.
- [4] G. Castany, Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Bordas, Paris, 1982 (236 p.).
- [5] P. Cirac, Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Évolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie

- au cours d'une phase de comblement, thèse d'État, université Bordeaux-I, France, 1985 (283 p.).
- [6] P. Cirac, M. Frappa, E.B. Jaaidi, Évolution morphostructurale récente de la plate-forme continentale ouest-rifaine (Maroc nord-atlantique), *Oceanol. Acta* 16 (1) (1993) 1–9.
- [7] I. Cojan, M. Renard, *Sédimentologie*, Édition Dunod, Paris, 1999 (418 p.).
- [8] M. Combe, Le bassin Rharr-Mamora et les petits bassins septentrionaux des oueds Dradère et Soueire, in: *Ressources en eaux du Maroc. T2. Plaines et bassins du Maroc atlantique*, Éd. Serv. Géol. Maroc, 1975, pp. 93–128.
- [9] B. El Mansouri, Développement d'outils et concepts pour la gestion des eaux souterraines. Application à l'aquifère côtier du Rharr, thèse d'État, université Ibn-Tofail, Kénitra, Maroc, 1999 (142 p.).
- [10] J.F. Flinch, Tectonic evolution of the Gibraltar arc, PhD thesis, Rice University, Houston, Texas, États-Unis, 1993 (212 p.).
- [11] J.F. Flinch, P.R. Vail, Plio-Pleistocene sequence stratigraphy and tectonics of the Gibraltar arc, in: *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*, SEMP Spec. Publ. 60 (1998) 119–208.
- [12] P. Homewood, F. Guillocheau, R. Eschard, T.A. Cross, Corrélations haute résolution et stratigraphie génétique : une démarche intégrée, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Bous-sens France* (1992) 357–381.
- [13] J. Le Coz, Le Rharr, Fellahs et colons. Étude de géographie régionale, Tome 1, Les cadres de la nature et de l'histoire, Rabat, 1964 (482 p., 83 fig., 23 pl. phot.).
- [14] J.L. Morel, Évolution récente de l'orogène rifaine et de son avant-pays depuis la fin de la mise en place des nappes, thèse d'État, Mém. Géodifusion, Paris, 1988 (584 p.).
- [15] A. Michard, Éléments de géologie marocaine, *Notes Mem. Serv. Geol. Maroc*, n° 4078, 1976 (252 p.).
- [16] J.-P. Raynal, J.-P. Texier, D. Lefèvre, Essai de corrélation de l'océan au continent pour le Quaternaire du Maroc, *Rev. Geol. dyn. Geogr. phys.*, Paris 27 (2) (1986) 141–147.
- [17] J. Riser, *Le Quaternaire. Géologie et milieux naturels*, Édition Dunod, Paris, 1999.
- [18] E. Saaidi, *Géologie du Quaternaire marocain*, Edition Eller, Rabat, Maroc, 1988.
- [19] J.-P. Texier, J.-P. Raynal, D. Lefèvre, Nouvelles propositions pour un cadre chronologique raisonné du Quaternaire marocain, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 301 (3) (1985) 183–188.
- [20] J. Vouvé, Développements sur la caractérisation géoélectrique des dépôts profonds en milieux continentaux et celle des réservoirs hétérométriques associés, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 322 (1996) 109–116.
- [21] R. Wernli, Micropaléontologie du Néogène post-nappes du Maroc septentrional et description systématique des Foraminifères planctoniques, *Notes Mem. Serv. Geol. Maroc*, n° 331, 1987 (265 p.).
- [22] L. Zouhri, L'aquifère du bassin de la Mamora, Maroc : géométrie et écoulement souterrain, *J. Afr. Sci.* 32 (4) (2001) 837–850.
- [23] L. Zouhri, C. Lamoureux, C. Buret, La Mamora, charnière entre la Meseta et le Rif : son importance dans l'évolution géodynamique post-paléozoïque du Maroc, *Geodin. Acta* 14 (2001) 361–372.
- [24] L. Zouhri, C. Gorini, C. Lamoureux, D. Vachard, M. Dakki, Interprétation hydrogéologique de l'aquifère des bassins sud-rifains (Maroc) : apport de la sismique réflexion, *C. R. Geoscience* 335 (2003) 319–326.
- [25] L. Zouhri, C. Gorini, B. Deffontaines, J. Mania, Relationships between hydraulic conductivity distribution and synsedimentary faults, Rharr-Mamora basin, Morocco; hydrogeological, geostatistical and modeling approaches, *Hydrogeol. J.* 12 (5) (2004) 591–600.