

Apport de la gravimétrie à l'étude de la structure du bassin du Haouz (Maroc)

Contribution of the gravimetry to the structural study of the Haouz basin (Morocco)

N. El Goumi¹, M. Jaffal¹, A. Kchikach¹, A. Manar²

RESUME

La présente étude a pour objectif d'améliorer la connaissance de la structure du bassin du Haouz en se basant sur l'analyse des données gravimétriques. Dans un premier temps, une carte des anomalies résiduelles a été calculée à partir de la carte de l'anomalie de Bouguer, fortement affectée par un gradient régional. La carte calculée fournit des informations sur la variation de la densité du sous-sol, expliquée principalement par des ondulations du toit du socle paléozoïque sous la couverture sédimentaire. Toutefois, afin d'exploiter davantage cette carte, celle-ci a été analysée à l'aide d'une méthode qui permet de mettre en évidence les différentes structures géologiques, en combinant le calcul du gradient horizontal et du prolongement vers le haut. Les résultats obtenus ont permis d'établir une carte structurale du bassin du Haouz qui confirme l'existence de structures déjà reconnues ou supposées par les études géologiques classiques en précisant leur tracés et pendages, et met en évidence de nouveaux accidents, restés au contraire inconnus jusqu'à nos jours. Cette carte montre que le système de failles responsable de la structuration du bassin du Haouz est organisé selon deux familles de directions NE-SW et NW-SE.

Mots-clés : Gravimétrie, analyse des contacts, structure, Haouz, Marrakech, Maroc.

ABSTRACT

The aim of the present study is to improve the knowledge of the Haouz basin structure using gravity data analysis. First of all, a residual anomaly map was computed from the Bouguer anomaly, greatly affected by an important regional gravity gradient. The calculated map provides information on the ground density variations mainly attributed to the top of the Paleozoic basement undulations under the sedimentary cover. However, in order to further study this map, it has been later analyzed with a method that allows evidencing different buried geological structures, combining the horizontal gradient and the upward continuations processing. The obtained results allows us to establish a structural map of the Haouz basin which confirms the existence of structures already recognized or assumed by the classic geological studies, and highlights accidents, as yet, unknown until the present time. This map shows that the fault system of the Haouz basin is organized in two families of directions NE-SW and NW-SE.

Keywords: Gravity, contacts analysis, structure, Haouz, Marrakech, Morocco.

Introduction

La plaine du Haouz se situe dans la partie méridionale de la meseta marocaine occidentale. Elle est allongée en direction E-W entre la chaîne du Haut-Atlas au Sud et le massif hercynien des Jebi-

lets au Nord. Elle s'étend sur une superficie de 6.000 km² environ avec une altitude qui diminue progressivement de 900 m au Sud à 300 m au Nord (fig. 1).

Le Haouz de Marrakech est une cuvette de sédimentation tectonique dans laquelle se sont accumu-

¹ Laboratoire de Géoressources, Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences et Techniques, BP. 549, Marrakech, Maroc. Email: elgouminajib@gmail.com

² Ministère de l'Energie et des Mines, Rabat, Maroc.

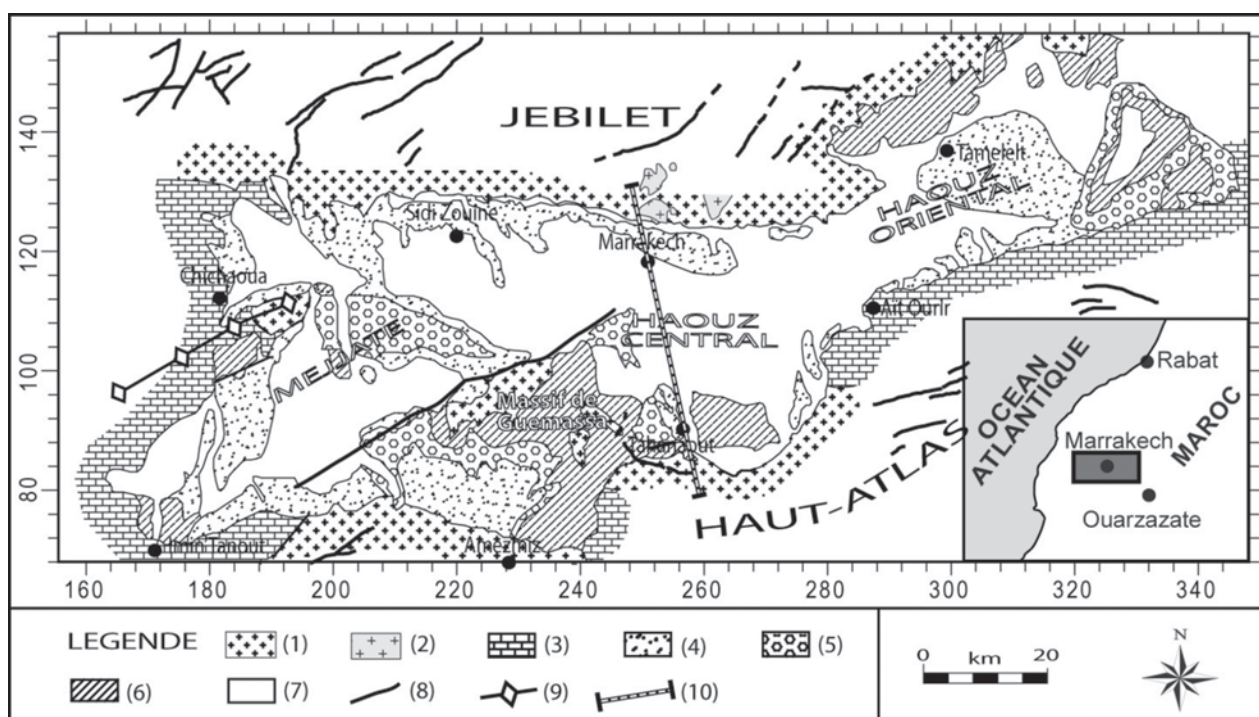


Fig. 1.—Carte géologique du bassin du Haouz. 1. Paléozoïque (schistes grés et quartzite); 2. Granite hercynien; 3. Mésozoïque et cénozoïque (alternance de séries carbonatées et de formations détritiques continentales); 4. Mio-pliocène (dépôts encroûtés); 5. Villafranchien (conglomérats); 6. Quaternaire moyen (dépôts encroûtés); 7. Quaternaire (alluvions-limons); 8. Faille; 9. Axe anticlinal; 10. Localisation de la coupe géologique de la figure 2.

lées durant le Tertiaire et au Quaternaire d'importantes formations détritiques, résultant de l'érosion de la chaîne du Haut-Atlas mise en place lors de l'orogénèse atlasique (fig. 2) (Ferrandini et Marrec, 1982). Ces formations reposent en discordance sur un substratum constitué d'un socle hercynien qui affleure à la faveur des massifs paléozoïques des Jebilets et des Guemassa. La structure de ces massifs anciens est relativement bien connue grâce aux nombreuses études dont ils ont fait l'objet en raison notamment de leur potentiel minier. Ces études sont souvent basées sur les observations classiques du terrain à l'échelle de l'affleurement, ou sur des techniques d'interprétation indirectes qui se sont développées au cours de ces dernières décennies, telle que l'analyse des images spatiales (Felenc *et al.*, 1985; M. H. Boummane, 1987; J. Bamoumen, 1988; Leblanc, 1993; Hibti, 2001; El Harti *et al.*, 2004).

La présente étude concerne le bassin du Haouz où ce genre d'étude demeure très limité, notamment, à cause du manque d'affleurements. Une reconnaissance de la structure de ce bassin est proposée en se basant sur l'analyse et l'interprétation des données gravimétriques.

Contexte géologique

L'histoire géologique du bassin du Haouz est marquée par la succession de plusieurs événements, initiés au mésozoïque, par l'arasement d'un socle paléozoïque fraîchement structuré par l'orogénèse hercynienne. Ensuite, les jeux de failles et de flexures liées à des mouvements tectoniques tertiaires ont conduit à la mise en place d'une importante fosse entre le Haut-Atlas et les Jebilets (fig. 1). Celle-ci a constitué une aire d'accumulation de sédiments récents issus de l'érosion de la chaîne de l'Atlas lors de sa surrection à l'Oligo-Miocène et au Pliocène. Ces sédiments sont principalement constitués d'alluvions qui se présentent sous forme de dépôts détritiques polygéniques de type continental ou torrentiel, ayant noyé les principaux traits structuraux d'un paléorelief ancien (fig. 2). D'après les informations fournies par les forages profonds et par les zones d'affleurements limitrophes du bassin du Haouz, la série stratigraphique se montre assez complète, elle est notamment marquée par l'existence d'importants dépôts stéphano-triasiques à la base et néogènes au sommet. Le socle hercynien qui en constitue le substratum, affleure au Nord dans le massif des Jebilets, au Sud

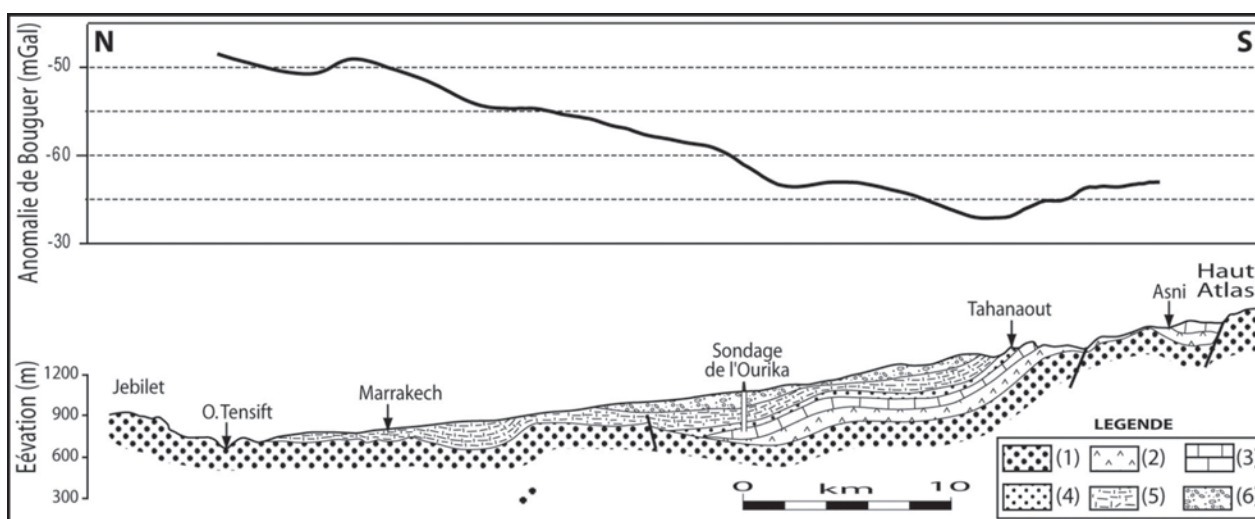


Fig. 2.—Coupe géologique du bassin du Haouz. 1. Paléozoïque (schistes non différenciés); 2. Permo-Trias (grès rouges); 3. Crétacé moyen (calcaires et marnes); 4. Eocène et Maestrichtien (sables calcaires et marnes phosphatées); 5. Miocène (marnes gréseuses); 6. Villafranchien (conglomérats) (d'Après Ambroggi et Thuille, 1952).

au niveau de la chaîne du Haut-Atlas ainsi qu'au sein du bassin sous forme de pointements de socle qui constituent le massif des Guemassa au sens large. Ces pointements correspondent à des blocs tectoniques qui percent la couverture mio-plio-quaternaire et forment un jalon entre les grands massifs mésésitiens au Nord et ceux du Haut-Atlas au Sud (Oujou, 1997).

La lithologie de ce socle est principalement à dominance sédimentaire et volcano-sédimentaire. Au niveau des Jebilet, elle est constituée d'une série de métapélites dans laquelle s'intercalent des bancs de grès et de calcaires. Cette série est attribuée au Viséen moyen à supérieur (Essaifi *et al.*, 2003). Plus au Sud, dans le massif de Guemassa, le socle hercynien est formé de séquences de type flyshoïdes (alternances de pélites et de grès) au sein desquelles s'intercalent des passées carbonatées (fig. 1).

Sur le plan structural, l'histoire de la zone d'étude est caractérisée par la succession de plusieurs épisodes tectoniques engendrés principalement par la succession des deux cycles orogéniques hercynien et atlasique (Soulaïmani, 1991; Oujou, 1997) :

— Une structuration précoce distensive d'âge viséen: elle correspond à une phase d'ouverture du bassin matérialisée par une instabilité sédimentaire et tectonique, avec le développement de failles à composante normale s'organisant en hémigrabens à effondrement Est à Sud-Est.

— Une compression synschisteuse: il s'agit de la phase majeure de serrage hercynien, marquée au

Namuro-Wesphalien par une importante compression responsable d'une schistosité régionale de direction générale NNE-SSW.

— Une phase déformation cassante tardi-hercynienne dont l'âge précis n'est pas mentionné dans les études antérieures. Cette phase s'est produite dans un climat non métamorphique et qui se matérialisée par le rejeu de grands accidents N70, accompagné de plissements cartographiques

— Après l'orogénèse hercynienne, la région a été soumise au serrage atlasique qui a notamment engendré la surrection des massifs paléozoïques du Haouz de Marrakech. Ce serrage se manifeste principalement par une tectonique cassante de direction moyenne ENE-WSW.

Données géophysiques et approche méthodologique

Les données gravimétriques utilisées dans la présente étude sont disponibles depuis la fin des années 1960 (fig. 3). Elles ont été acquises dans le cadre d'un programme de cartographie nationale lancé à l'époque par la direction de la géologie du ministère marocain de l'énergie et des mines. Les mesures gravimétriques avaient été effectuées au sol par la Compagnie Africaine de Géophysique (CAG) selon des stations espacées de 500 m et disposées le long des routes et des pistes selon un réseau qui offre une bonne couverture de la plaine du Haouz. La réalisation des levés a nécessité la mobilisation de deux

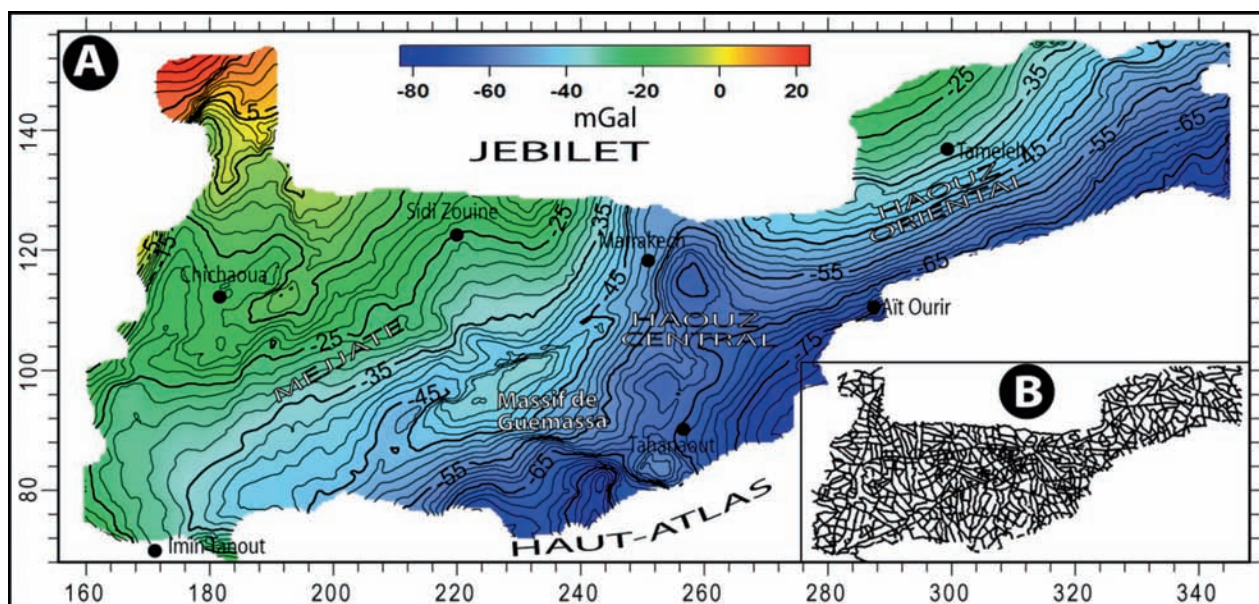


Fig. 3.—A) Carte de l'anomalie de Bouguer du bassin du Haouz; B) Réseau des stations de mesures.

gravimètres de type *Worden* et trois *tachéomètres de type WILD T0*. La mise en œuvre du levé gravimétrique a nécessité la mise en place d'un réseau de bases gravimétriques locales par rattachement à huit bases du réseau national. La précision des mesures aux stations, déduite de l'étude des points repris lors de la mise en œuvre du levé, a été estimée à 0,059 mGal. Les données gravimétriques ont été réduites en utilisant la formule classique de l'anomalie Bouguer dans laquelle une série de corrections sont appliquées aux mesures brutes afin d'éliminer les causes non géologiques de variations de la gravité, y compris la correction topographique.

La production de ce type de données par le ministère de l'énergie est des mines était nécessaire à l'époque, afin de mettre en place une infrastructure géoscientifique de base utile à tout programme d'exploration minière ou pétrolière dans cette région. Toutefois, les techniques d'analyse et d'interprétation de ces données, qui sont en perpétuel développement, permettent au mieux de les exploiter à la lumière des nouvelles connaissances géologiques du sous-sol. C'est dans cette perspective que nous avons entrepris la compilation des données gravimétriques du bassin du Haouz.

Les données gravimétriques sont généralement riches en renseignements sur les structures géologiques. Elles sont notamment très utiles pour l'identification des failles profondes, et la caractérisation de leur extension et de leurs ramifications (Eve-

raerts & Mansy, 2001). Ces failles, qui mettent en contact des blocs de densités différentes, se présente sur une carte de l'anomalie de Bouguer sous forme de zones de gradients. L'application de la méthode du gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut permet la localisation de ces discontinuités et la détermination de leur pendage (Archibald & Bochetti, 1999). En effet, l'anomalie gravimétrique au-dessus d'un contact vertical est matérialisée par une courbe ayant un minimum du côté des roches de faible densité et un maximum du côté des roches de densité élevée. Le point d'inflexion de la courbe se trouve à l'aplomb de ce contact. Après calcul du gradient horizontal, cette anomalie devient un maximum, ce qui facilite la cartographie du contact.

Dans la présente étude, nous avons utilisée une technique de localisation automatique des maxima du gradient horizontal basée sur la méthode de Blakely & Simpson (1986). L'application de cette technique à une carte gravimétrique montre que les maxima locaux des gradients horizontaux forment des rides étroites au-dessus des changements abrupts de densité.

Pour déterminer le sens du pendage des contacts mis en évidence, on part du principe que plus on prolonge les données gravimétriques vers le haut, plus on met en évidence des structures profondes. La procédure consiste donc à réaliser une série de continuations analytiques vers le haut des données gravimétriques. Ensuite, pour chaque niveau, on calcule

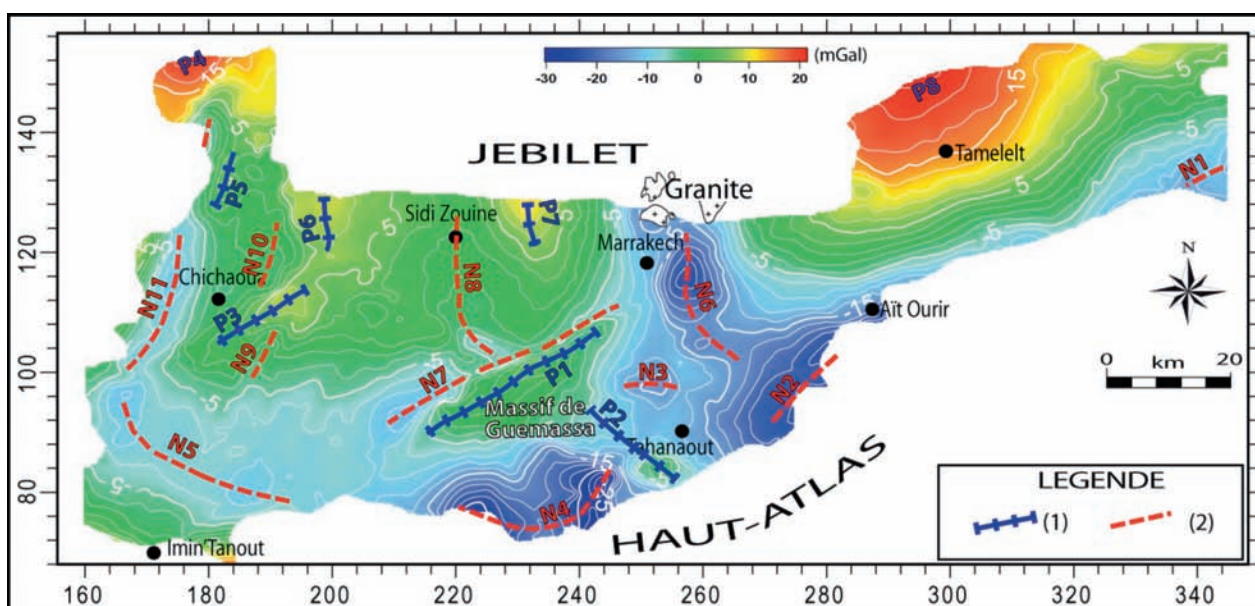


Fig. 4.—Carte gravimétrique (anomalies résiduelles) du bassin du Haouz. 1. Axe gravimétrique positif; 2. Axe gravimétrique négatif.

le gradient horizontal et on détermine ses maxima. Si les structures sont verticales, tous les maxima issus des différents niveaux se superposent. En revanche, le déplacement de ces maxima, lorsque la hauteur des prolongements vers le haut augmente, indique le sens du pendage. Cette démarche est valable pour des structures en deux dimensions correspondant à des contacts linéaires qui séparent des blocs de densités différentes, c'est le cas des structures qu'on cherche à mettre en évidence.

Résultats et discussion

L'examen de la carte gravimétrique de l'anomalie de Bouguer de la plaine du Haouz révèle l'existence d'un gradient régional souligné par des valeurs croissantes de -85 mGal au Sud-Est à 25 mGal au Nord-Ouest (fig. 3). Les premières tentatives de détermination de ce gradient en utilisant soit des filtres passe-bas, soit des prolongements vers le haut n'ont pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants. C'est pourquoi, nous avons opté pour l'estimation de celui-ci à l'aide de la technique d'interpolation par régression polynomiale (Draper & Smith, 1998). Le gradient déterminé a été ensuite soustrait des données initiales, ce qui a permis d'obtenir une carte résiduelle sur laquelle les anomalies sont plus clairement mises en évidence et plus facilement corrélables avec les structures géologiques. L'analyse

détaillée de cette carte permet de se rendre compte de l'existence de plusieurs anomalies positives (P1 à P8) et négatives (N1 à N11) qui reflètent les variations latérales de la densité dans le sous-sol et qui sont dues à des structures géologiques de dimension variable (fig. 4). La superposition de ces anomalies avec les grands traits géologiques et structuraux de la zone d'étude permet de se rendre compte que celles-ci sont principalement liées à des variations de la topographie du toit du socle paléozoïque. En effet, on s'aperçoit que tous les affleurements de ce socle coïncident avec des anomalies positives. Cependant, les anomalies négatives seraient dues à des épaissements locaux de la série sédimentaire engendrés par des dépressions du toit du socle hercynien. Par ailleurs, le secteur étudié est régionalement connu par l'existence de granite hercynien qui pourrait également expliquer certaines anomalies gravimétriques négatives telle que l'anomalie N6 située près de la ville de Marrakech.

Afin de mieux comprendre l'origine des anomalies mises en évidence, les données gravimétriques ont été superposées à la carte géologique du bassin du Haouz. Pour se faire, nous avons choisi le gradient vertical de la carte d'anomalie résiduelle qui permet d'avoir des anomalies plus étroites qui circonscrivent mieux les sources qui les ont provoquées. La carte du gradient vertical a fait l'objet d'un lissage à l'aide du filtre de Hanning dans le but d'adoucir l'effet de ce traitement qui amplifie

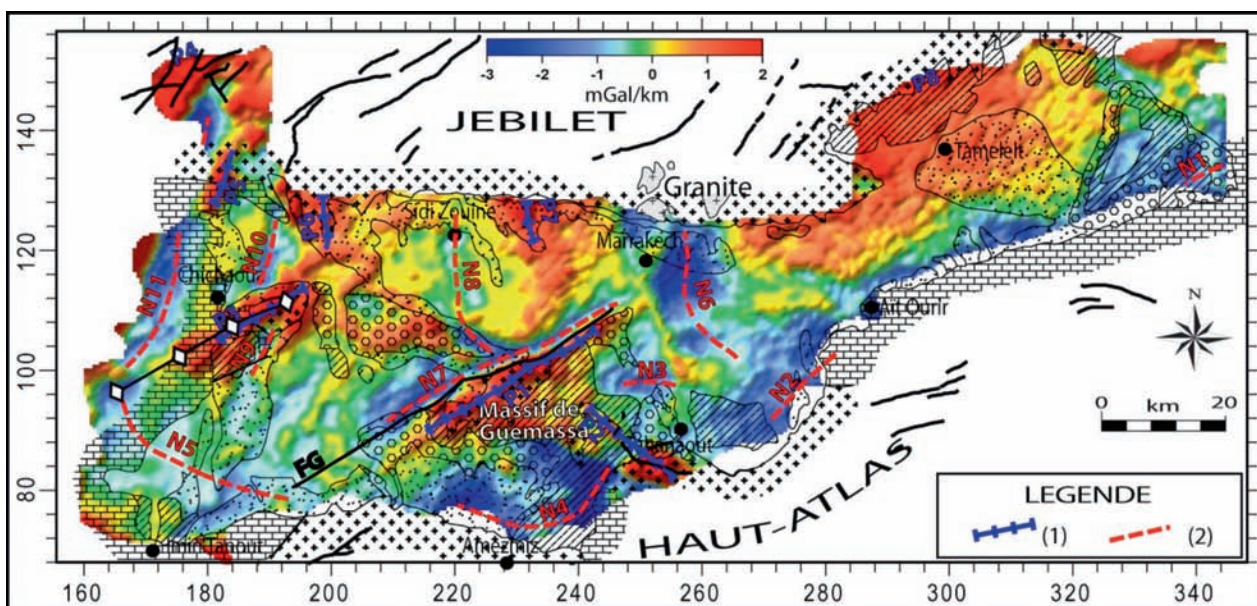


Fig. 5.—Superposition des données géologiques et des axes gravimétriques à la carte du gradient vertical des anomalies résiduelles. 1. Axe gravimétrique positif; 2. Axe gravimétrique négatif. La légende de la géologie est la même que la figure 1.

excessivement les hautes fréquences du signal gravimétriques (fig. 5). L'analyse du résultat obtenu, permet de dégager les principaux traits suivants :

— La frange méridionale de la zone d'étude, représentée sur les figures 4 et 5 par la couleur bleue à bleu-ciel et incluant les anomalies N1, N2, N3, N4 et N5, correspond vraisemblablement à l'effet du remplissage sédimentaire du bassin du Haouz dont le dépôcentre est décalé vers le Sud près de la chaîne atlasique. En effet, comme la plupart des bassins bordiers de cette chaîne, celui du Haouz correspond à une dépression asymétrique, d'origine tectonique, dont la mise en place est liée à la surrection du Haut-Atlas.

— Paradoxalement, la bordure septentrionale du bassin du Haouz est caractérisée par l'existence d'une série d'anomalies positives (P4, P5, P6, P7 et P8) qui forme une bande de couleur rougeâtre plus ou moins continue. Ces anomalies représenteraient l'effet du socle paléozoïque qui constitue le substratum du bassin du Haouz et qui devient de moins en moins profond en allant vers le Nord jusqu'au massif des Jebilet où il devient affleurant.

— Ces observations sont concordantes avec la structure générale asymétrique du bassin du Haouz comme le montre clairement la coupe géologique présentée sur la figure 2. Les données de forages réalisés dans ce bassin confirment cette structure

(fig. 6) (Direction de l'hydraulique, 1980). En effet, ces données mettent en évidence, au Sud du bassin, une importance série sédimentaire dont l'épaisseur dépasse les 600 m au niveau du sondage S3. Cependant, l'épaisseur de cette série est fortement réduite au Nord du bassin, comme le montre les sondages S8 et S11 (fig. 6) (Direction de l'hydraulique, 1980; Boukhari, 2008; Razoki, 2001).

— La bordure septentrionale du bassin du Haouz, caractérisée par des valeurs élevées du champ de pesanteur, est interrompue par une importante anomalie négative (N6) qui coïncide parfaitement avec les affleurements du granite hercynien au Nord de Marrakech (Le Corre & Saquaque, 1987; Boummame & Olivier, 2007). Ainsi, pour expliquer cette anomalie, on peut envisager une extension vers le Sud de ce granite sans pour autant exclure un épaissement local de la couverture sédimentaire.

— Les anomalies positives P1 et P2 sont liées au massif hercynien de Guemassa constitué par des boutonnières paléozoïques qui affleurent dans la zone centrale du bassin du Haouz et qui aurait été dégagées par l'érosion suite à la surrection atlasique (Oudjou, 1997).

— L'anomalie positive P3 qui se situe à l'Ouest de la zone d'étude, coïncide parfaitement avec l'anticlinal de Chichaoua (Boukhari *et al.*, 2008). Elle serait liée à une intumescence du socle hercynien qui affleure au cœur de cet anticlinal.

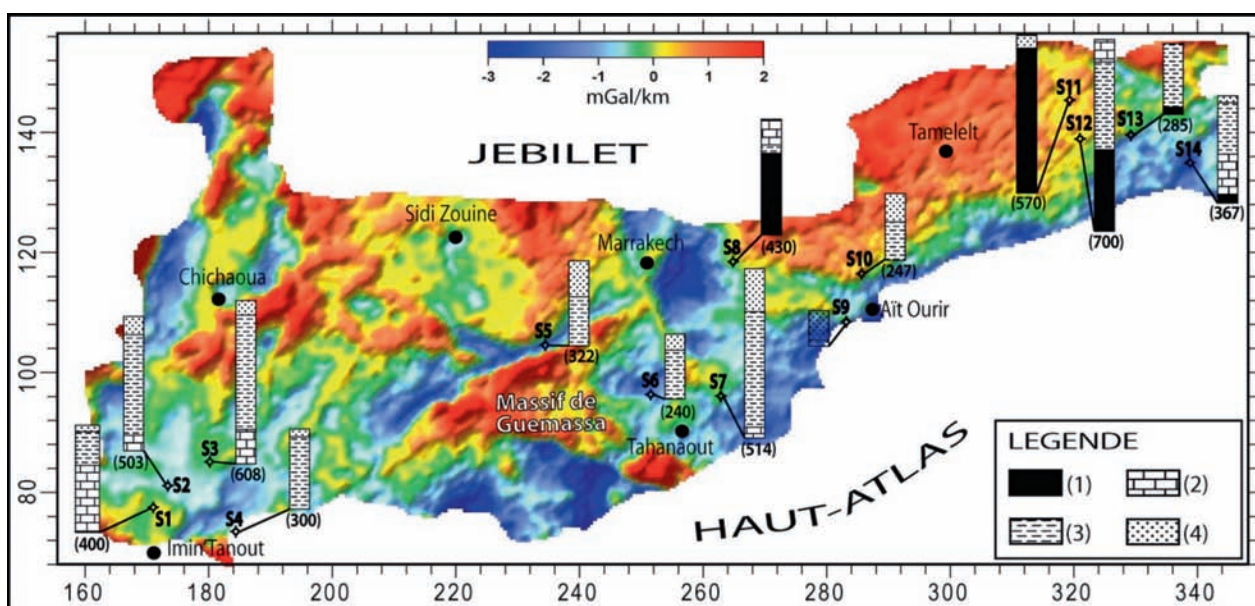


Fig. 6.—Superposition des logs stratigraphiques simplifiés des sondages réalisés dans le bassin du Haouz à la carte du gradient vertical des anomalies résiduelles. 1. Permo-Trias (Schiste, grès et marnes); 2. Secondaire (Calcaire et marne); 3. Tertiaire (Marno-calcaire); 4. Plio-quaternaire. La profondeur de chaque sondage est indiquée entre parenthèse en bas du log correspondant.

— Le sondage S5 réalisé au niveau de l'anomalie N7 montre que celle-ci correspond à une zone d'épaississement du recouvrement sédimentaire qui jalonne la bordure nord du massif de Guemassa et qui est vraisemblablement lié au jeu normale la faille FG « faille de Guemassa » (fig. 5).

— En l'absence d'informations géologiques, en raison du recouvrement quaternaire, on peut également envisager des épaisissements de la série sédimentaire pour expliquer les autres anomalies négatives (N7 à N11) observées au niveau du bassin du Haouz.

Par ailleurs, la carte d'anomalies résiduelles montre plusieurs zones de forts gradients gravimétriques qui peuvent correspondre à des contacts ou des discontinuités (failles, flexures, etc.) Pour étudier ces zones particulièrement intéressantes pour la caractérisation structurale du bassin du Haouz, nous avons appliquée la méthode d'analyse décrite précédemment, fondée sur l'utilisation conjointe des techniques du gradient horizontal et du prolongement vers le haut. Les maxima locaux du gradient horizontal déterminés à partir de la carte résiduelle et de ses prolongements vers le haut à différentes altitudes, permet de déterminer les différents contacts. En outre, l'analyse de la migration des maxima locaux du gradient vertical déterminés sur les cartes prolongées vers le haut, permet de préciser le sens des pendages des contacts mis en éviden-

ce (fig. 7). L'examen de cette figure indique que la majorité des contacts identifiés sont linéaires sur plus de 10 km, ce qui justifie l'utilisation de la méthode d'analyse des pendages précités. Les contacts mis en évidence définissent un champ de linéaments dont le traitement statistique révèle l'existence de deux familles de directions, la première majoritaire de direction NE-SW et la seconde d'orientation NW-SE (figs. 7 et 8).

L'analyse de la carte géologique de la zone d'étude permet de se rendre compte que, la direction (NE-SW) est effectivement prédominante (fig. 1). Celle-ci correspond à la direction structurale majeure de la chaîne atlasique et aussi à celle de l'allongement général du bassin du Haouz, qui est liée à la mise en place de cette chaîne. L'image de fond en couleur de la figure 7 représente le gradient horizontal de la carte d'anomalies résiduelles. Cette carte met clairement en évidence les structures majeures correspondant aux zones de fort gradient horizontal représentées par les couleurs jaune, orange à rouge. Ceci a permis de les cartographier avec précision. Ainsi, en tenant compte de l'intensité du gradient gravimétrique qu'elles provoquent et de leur extension latérale, plusieurs structures majeures ont été identifiées (fig. 8) :

— la faille (F1) nommée « faille de Guemassa ou FG » est un accident majeur de direction NE-

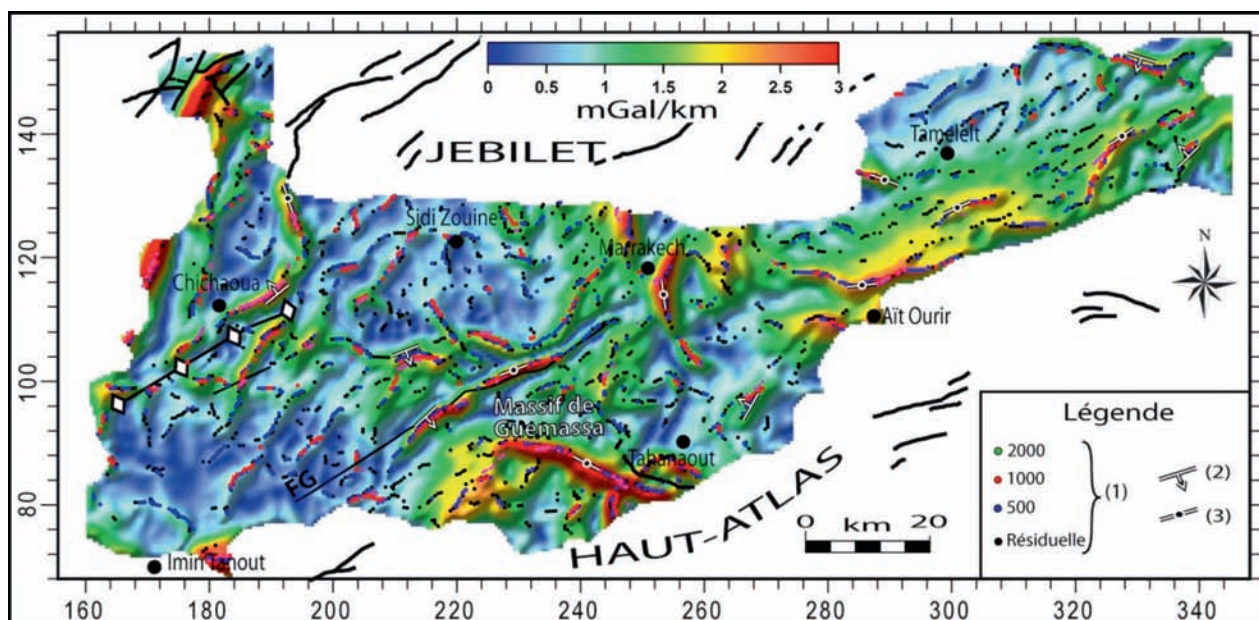


Fig. 7.—1. Contacts gravimétriques obtenus à partir des maxima du gradient horizontal calculé pour la carte d'anomalies résiduelle et pour ses prolongements vers le haut à 500 m, 1.000 m et 2.000 m. 2. Sens du pendage; 3. Pendage vertical. L'image de fond en couleur représente le gradient horizontal de la carte d'anomalies résiduelles.

SW qui est déjà reconnu dans des travaux géologiques antérieurs comme étant une faille normale dont le jeu a favorisé le soulèvement du massif de Guemassa et l'affaissement du bloc nord qui a conduit à l'épaississement de la série sédimentaire à l'origine de l'anomalie N7 (figs. 4 et 5) (Oujou 1997; Ouakib 1988; Soulaïmani 1991). L'indication de cette faille sur la carte géologique du bassin du Haouz est le résultat d'une interprétation antérieure dictée notamment par l'allure rectiligne de la limite nord du massif de Guemassa (Soulaïmani, 1991) et également par des considérations topographiques. Les résultats de la présente étude permettent d'en rectifier le tracé qui s'avère plus court par rapport à ce que montre la carte géologique du bassin du Haouz (fig. 1) et de déterminer son pendage: elle est principalement verticale sauf au niveau de sa terminaison sud-ouest où elle est inclinée vers le Sud-Est. Toutefois, on doit signaler la superposition parfaite entre une bonne partie du tracé initial de la FG et celui déterminé par la présente étude.

— La faille (F2) baptisée « faille Nord-Atlasique ou FNA » est l'accident le plus important parmi ceux mis en évidence dans le cadre de la présente étude si on prend en considération l'amplitude du gradient horizontal (fig. 7). Elle constitue la limite sud-occidentale du massif de Guemassa. Contraire-

ment la FG, la FNA est nouvellement mise en évidence car elle ne figure pas sur la carte géologique du bassin du Haouz (fig. 1). L'analyse de pendage montre que la FNA est un accident vertical. Elle aurait également un jeu normal qui aurait favorisé la mise en place du massif de Guemassa.

— La structure F3 présente une allure générale courbe à convexité accusée vers le Sud. La forme arquée de celle-ci est incompatible avec son pendage vertical, c'est pourquoi, on propose de l'interpréter comme étant le résultat de l'association de deux failles de directions différentes NW-SE et NE-SW.

— La faille F4 située près de Marrakech est également une structure verticale de forme générale courbe à convexité ouest. Comme pour la précédente, cette faille devrait aussi correspondre à la succession de deux accidents l'une méridionale l'autre septentrionale de directions respectives NNW-SSE et NNE-SSW.

— Les deux failles F5 et F6, situées dans le Haouz oriental et de directions générales respectives E-W et NE-SW, semblent marquer la limite entre le domaine méridional à forte épaisseur de sédiments qui s'étend entre les anomalies N1 et N2 (fig. 4) et un domaine septentrional où le substratum hercynien est peu profond. Ces structures verticales correspondraient à des failles normales à regard sud.

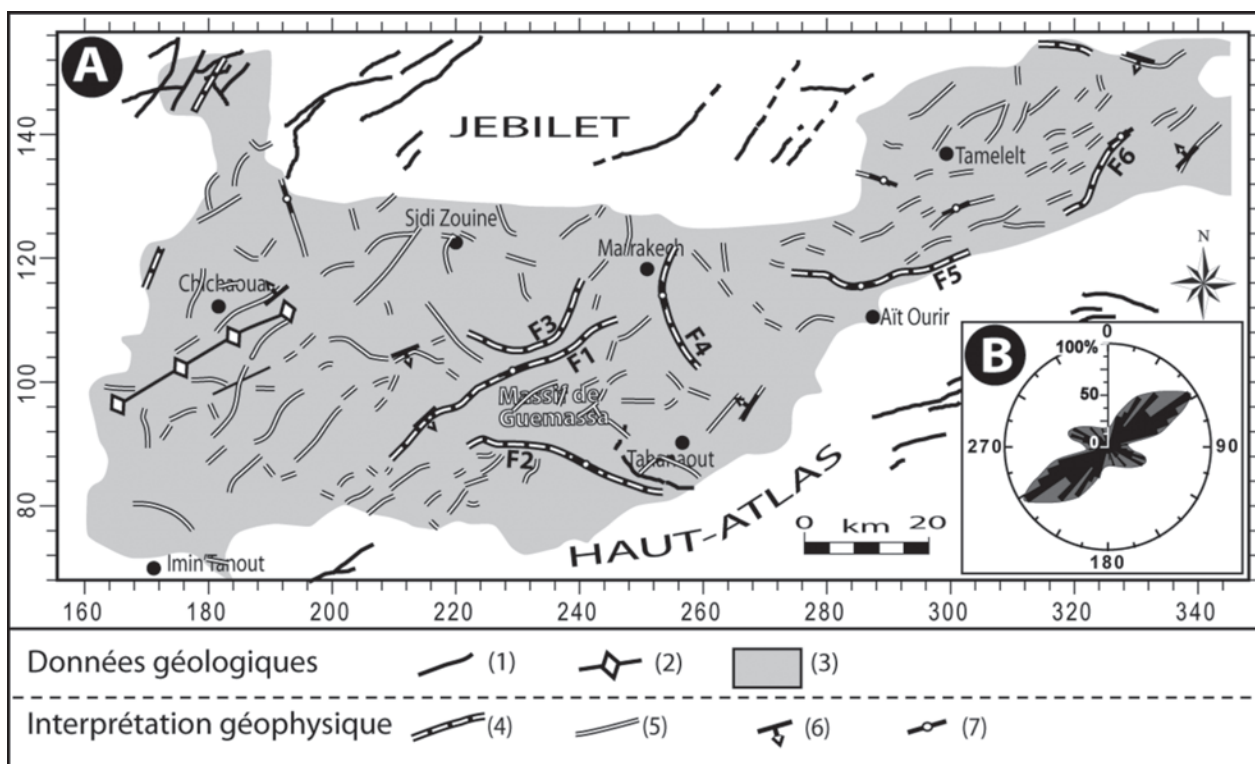


Fig. 8.—A) Schéma structural de la zone d'étude. 1. Faille; 2. Axe anticlinal; 3. Bassin du Haouz; 4. Structure majeure; 5. Structure mineure; 6. Sens du pendage; 7. Pendage vertical. B) Rosace de directions représentant les azimuts des structures mises en évidence.

Au terme de la présente étude un schéma structural du bassin du Haouz a été élaboré. Ce document intègre (i) des structures préalablement reconnues par cartographie géologique directe des affleurements autour du bassin ou interprétées en tenant compte de considérations géologiques et topographiques comme c'est le cas de la faille de Guemassa et (ii) d'autres nouvellement mises en évidence dans le cadre de la présente étude (fig. 8). En plus des accidents majeurs décrits ci-dessus, les nouvelles structures incluent un réseau d'accidents relativement moins important. L'examen de la figure 8 révèle l'existence d'une bonne cohérence entre les structures déjà connues et celles nouvellement identifiées. L'ensemble de ces structures forme un réseau de failles préférentiellement orientées en direction NE-SW sauf dans le Haouz où cette direction interfère avec une seconde (NW-SE) engendrée principalement par la mise en place du bloc ancien de Guemassa. Mis à part ce massif hercynien où affleure le socle paléozoïque, dans le bassin du Haouz, la géologie de surface est complètement aveugle à cause du recouvrement quaternaire qui masque totalement toutes les structures et les for-

mations antérieures. D'où l'intérêt de la présente approche méthodologique dans la cartographie géologique et structurale en l'absence d'affleurements de subsurface.

Conclusion

Le présent travail montre l'intérêt de la compilation et de la réinterprétation des anciennes données géophysiques en utilisant de nouvelles techniques d'analyses. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude contribuent à une meilleure connaissance de la structure du bassin du Haouz. En effet, l'analyse de la carte gravimétrique de ce bassin par l'application de la méthode du gradient horizontal couplé au prolongement vers le haut a permis d'en établir un schéma structural, grâce à la mise en exergue des différents linéaments gravimétriques. Il s'agit essentiellement de nouvelles failles mises en évidence et également de structures préalablement reconnues qui ont été confirmées et dont le tracé a été précisé. Le système de failles responsable de la structuration du bassin du

Haouz s'avère ainsi organisé selon deux principales familles de directions NE-SW et NW-SE. En plus de la cartographie précise de ces structures, le sens de leur pendage a également été déterminé. Ces résultats montrent que la méthode d'analyse utilisée constitue un excellent outil de reconnaissance des zones à géologie totalement ou partiellement aveugle.

REMERCIEMENTS

Cette étude a eu lieu dans le cadre de la préparation d'une thèse de doctorat financée par le Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technique (Bourse n°: C03/008). Elle a été également réalisée dans le cadre du programme PRO-TARS II (Réf. P23/02) et de l'Action Intégrée Franco-Marocaine (Réf. MA/09/209).

Les auteurs remercient le Professeur D. Khattach pour avoir mis à notre disposition son programme de localisation automatique des maxima du gradient horizontal. Ils remercient également les rapporteurs de la revue pour leurs différentes remarques et suggestions, qui ont permis d'améliorer la version initiale de l'article.

Références

- Ambroggi, R. & Thuille, G. (1952). Haouz de Marrakech. In, Hydrogéologie du Maroc. *Notes et mémoires du Service Géologique du Maroc*, 97 pp.
- Archibald, N.; Gow, P. & Bochetti, F. (1999). Multiscale edge analysis of potential field data. *Exploration Geophysics*, 30: 38-44. doi:10.1071/EG999038
- Bamoumen, H. (1988). *Les déformations superposées contemporaines de la mise en place des nappes gravitaires des Jebilet Orientales (Maroc)*. Thèse de 3ème cycle, Université de Marrakech, 189 pp.
- Blakely, R.J. & Simpson, R.W. (1986). Approximating edges of sources bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51: 1494-1498. doi:10.1190/1.1442197
- Boukhari, K. (2008). *La plaine de mejjate et sa bordure occidentale: actualisation des connaissances hydrogéologiques et vision prospective de la mobilisation des ressources en eau*. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 159 pp.
- Boukhari, K.; Er-Rouane, S.; Jaffal, M.; Gouzrou, A. & Enanaa, N. (2008). Caractérisation de la structure du bassin de Mejjate (Haouz occidental, Maroc): Implications hydrogéologiques. *Africa Geoscience Review*, 15: 33-40.
- Boummane, M.H. (1987). *Les déformations hercyniennes superposés dans le Sud de la Méséta marocaine l'exemple des séries paléozoïques du Horst de Guemassa (Haouz de Marrakech)*. Thèse de 3ème cycle, Université de Marrakech, 212 pp.
- Boummane, M.H. & Olivier, Ph. (2007). The Oulad Ouaslam Variscan granitic pluton (Jebilet Massif, Southwestern Moroccan Meseta): A forcibly emplaced laccolithic intrusion characterized by its magnetic and magmatic fabrics. *Journal of African Earth Sciences*, 47: 49-61. doi:10.1016/j.jafrearsci.2006.10.004
- Direction de l'hydraulique. (1980). Notice explicative de la carte hydrogéologique de la plaine du Haouz (Maroc occidental) au 1/200.000. *Notes et mémoires du service géologique du Maroc, Rabat*, 284, 58 pp.
- Draper, N.R. & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis* (3rd edition). Wiley-Interscience, New York, 706 pp.
- El Harti, A.; Bannari, A.; Bachaoui, E.; Aarab, E.; Girouard, G. & El Ghmari, A. (2004). Synergie entre la télédétection multispectrale et les données de terrain pour la conception d'un nouveau modèle géodynamique d'ouverture du bassin paléozoïque des Jebilet centrales (Maroc). *Compte Rendus Geoscience*, 336: 1311-1320. doi:10.1016/j.crte.2004.07.003
- Essaifi, A.; Potrel, A.; Capdevila, R. & Lagarde J.-L. (2003). Datation U-Pb: âge de mise en place du magmatisme bimodal des Jebilet centrales (chaîne Varisque, Maroc). Implications géodynamiques. *Compte Rendus Geoscience*, 335: 193-203. doi:10.1016/S1631-0713(03)00030-0
- Everaerts, M. & Mansy, J.-L. (2001). Le filtrage des anomalies gravimétriques, une clé pour la compréhension des structures tectoniques du Boulonnais et de l'Artois (France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172, 3: 267-274. doi:10.2113/172.3.267
- Felenc, J.; Alji, M.; Bellot, A.; Fournier, M. & Hmeurras, M. (1985). Découverte d'un amas sulfuré caché à pyrrhotite et métaux de base à Hajar (Massif des Guemassa, Maroc). *Chronique de Recherche Minière*, 478: 61-66.
- Ferrandini, J. & Le Marrec, A. (1982). La couverture jurassique à paléogène du Haut Atlas de Marrakech est allochtone dans la « zone des cuvettes » d'Aït Ourir (Maroc). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 295, II: 813-816.
- Hibti, M. (2001). Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Méséta sud-occidentale Maroc): témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mésétien. Thèse d'Etat, Université de Marrakech, 317 pp.
- Le Corre, C. & Saquaque, A. (1987). Comportement d'un système pluton-encaissant dans un champ de déformation régional: le granite du Bramram (Jebilet, Maroc hercynien). *Bulletin de la Société Géologique de France*, (8), t. III, 4: 665-673.
- Leblanc, M. (1993). Amas sulfuré formé par injection de sills dans des sédiments: exemple de Hajar (Marrakech, Maroc). *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 316, II: 499-504.
- Ouadjou, A. (1997). *Pétrographie, géochimie et structure des roches magmatiques anté-schisteuses des massifs hercyniens des Guemassa et Souktana*. Thèse de 3ème cycle, Université de Marrakech, 236 pp.
- Ouakib, K. (1988). *Reconnaissance géologique, géochimique et géophysique du massif paléozoïque des Gue-*

- massa (Haouz de Marrakech-Maroc)*. Mémoire du Diplôme d'Etudes Spécialisées en Géosciences, Université d'Orléans, 125 pp.
- Razoki, B. (2001). *Mise en place d'un système de gestion de base de données pour la gestion des ressources en eaux souterraines de la plaine du Haouz (Meseta occidentale, Maroc)*. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 166 pp.
- Soulaimani, A. (1991). *L'évolution structurale des massifs hercyniens du Haouz de Marrakech: Guemassa-N'fis (Maroc)*. Thèse de troisième cycle, Université de Marrakech, 139 pp.

*Recibido el 26 de agosto de 2009
Aceptado el 16 de febrero de 2010
Publicado online el 30 de junio de 2010*