

Détermination des coefficients de compaction pour les calcaires et les argilites du bassin côtier mésozoïque marocain

فداء مدينة و عبد الكريم الريمي

Fida MEDINA & Abdelkrim RIMI

Mots-clés : Porosité, compaction, Mésozoïque, argiles, calcaires.

ملخص

تعديد معاملي التراص للتشكلات الكلسية و الصلصالية للحوض الساحلي الميزوزوي بالمغرب. مكن استعمال معطيات البئر 545 و 547 («مشروع حضر البحار العميقة») وكذا بئر إد او لموخيد من تحديد معاملي التراص للتشكلات الكلسية والصلصالية للحوض الساحلي الميزوزوي بالمغرب. حدد المعامل c في 0.55 للصلصال و 1.2 للكلس، بينما حددت المسامية السطحية في 0.59 بالنسبة للصلصال و 0.64 بالنسبة للكلس و الطباشير. استعمال هذه المعطيات ينقص من قيمة تهدل الحوض بالمقارنة مع المعامل المحددة في بحر الشمال.

RESUME

L'utilisation des données disponibles sur la variation de la porosité en fonction de la profondeur (forages DSDP, sites 545 et 547, et forage ONAREP IMD1), permet de déterminer les coefficients de décompaction pour les séries calcaires et argileuses du bassin côtier mésozoïque marocain. Ainsi les valeurs des coefficients c et f_0 sont, après correction de la profondeur, de 0.55 et 0.59 respectivement pour les argilites et les marno-calcaires, et de 1.2 et 0.64 pour les calcaires et les craies. L'utilisation de ces paramètres diminue légèrement la valeur de la subsidence du bassin par rapport à celle calculée avec les coefficients déterminés en Mer du Nord.

ABSTRACT

Determination of the compaction coefficient for limestones and mudstones of the Moroccan mesozoic coastal basin. The use of the data available on the variation of porosity versus depth (DSDP wells, sites 545 and 547, and ONAREP well IMD1) allows to determine the decompaction parameters of the shaly and calcareous series of the Moroccan Mesozoic coastal basin. The values of the parameters c and f_0 are, after depth correction, 0.55 and 0.59 respectively for shales and chaly limestones, and 1.2 and 0.64 for limestones and chalk. The use of these parameters diminishes slightly the values of the subsidence of the basin with respect to that calculated with the help of the parameters determined in the North Sea.

INTRODUCTION

L'étude quantitative de la subsidence et de l'histoire thermique des bassins sédimentaires se base sur de nombreux paramètres dont le plus important est la compaction progressive des sédiments. Celle-ci obéit en général à une loi exponentielle négative qui varie selon la lithologie et selon les bassins (SCLATER & CHRISTIE, 1980; ROYDEN & KEEN, 1980; BRUNET, 1981). Au Maroc, seules quelques études menées dans les domaines de la géologie pétrolière et de la géothermie ont abordé ce problème. Cependant, les lois trouvées (JABOUR & NAKAYAMA, 1988) ou adoptées (RIMI & LUCAZEAU, 1987) appellent quelques remarques:

- les courbes de porosité ont été tracées pour l'ensemble des données et non en fonction de chaque lithologie;

- la porosité initiale adoptée est celle du niveau le plus récent foré; or, souvent, ce niveau a été enfoui sous d'autres couches érodées par la suite; en conséquence, ces valeurs sont uniquement des minima.

Le but de la présente note est de proposer de nouvelles lois déterminées pour les séries argilo-calcaires, plus adaptées aux études de la subsidence des bassins côtiers marocains. Ces lois sont basées sur environ 200 données provenant des forages DSDP (HINZ & *al.*, 1984) et du forage pétrolier IMD (région d'Essaouira), le plus complet à notre disposition.

DONNEES UTILISEES

FORAGES DSDP

Nous avons utilisé les données des forages DSDP effectués dans les sites 545 et 547 qui ont traversé respectivement 701 m et 1030 m de sédiments. Les porosités ont été mesurées chaque 10 m approximativement (HINZ & *al.*, 1984). Du point de vue de la lithologie, les unités traversées sont les suivantes, de haut en bas (Fig. 1, A et B):

Site 547:

- 0-225 m: boues calcaires et craies (Oligocène à Pléistocène);

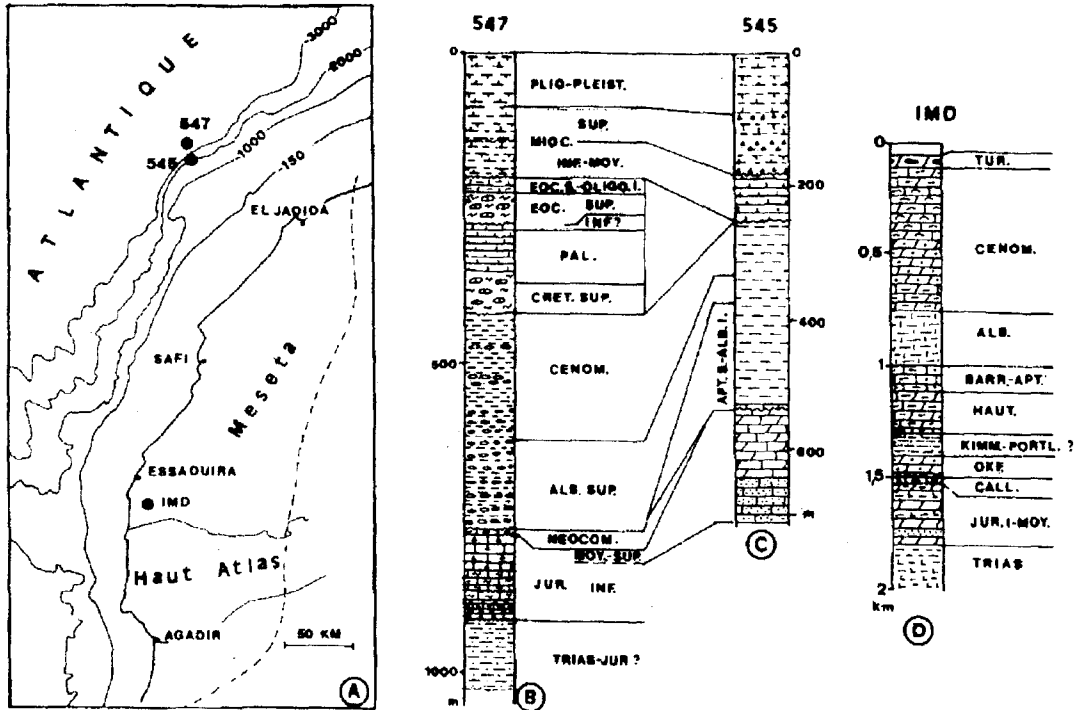


Figure 1 : A, localisation des forages utilisés; B à D, colonnes des forages DSDP 545 et 547 (Hinz & al., 1984) et IMD (ONAREP).

- 225-430 m: craie siliceuse et argilites à nanfossiles avec des coulées de débris au sommet et à la base des unités (Crétacé supérieur à Eocène supérieur);
- 430-775 m: argilite verte à nanfossiles et à lits de galets plats d'argilite (Albien supérieur et Cénomaniens);
- 775-925 m: calcaires et brèche calcaire (Jurassique);
- 925-1030 m: argilites rouges et grises à veines de gypse et à passées de dolomies (Trias ?).

Site 545:

Ce forage a traversé les mêmes unités que celles décrites ci-dessus, avec cependant une lacune couvrant le Paléogène et la partie sommitale du Crétacé supérieur.

FORAGE IMD

Le forage IMD (Fig. 1, C) a traversé sur près de 3000 m toute la série mésozoïque à l'exception du Crétacé sommital et de l'Eocène. Le Crétacé est essentiellement marno-calcaire, le Jurassique est calcaréo-dolomitique ou marno-calcaire, le Trias est argileux et salifère intercalé de basaltes doléritiques.

Les diagraphies géophysiques ont été effectuées surtout dans les niveaux calcaires et marno-calcaires, les géologues pétroliers n'étant intéressés que par les milieux poreux (réservoirs potentiels).

DETERMINATION DES PARAMETRES

POROSITÉ TOTALE

Il s'agit du volume des vides et s'exprime en pourcentage du volume total de la roche.

La porosité peut être déterminée de deux manières:

- au laboratoire sur des échantillons de carottes, dans ce cas elle est exprimée par le rapport

$$\phi = (m_2 - m_1) / (m_2 - m_3)$$

où m_1 est la masse au sec,

m_2 est la masse standard,

m_3 est la masse en saturation.

- à l'aide des diagraphies géophysiques dans les forages d'exploration (sonique, neutron-neutron et de densité); la porosité *in situ* est déduite de la mesure du temps de parcours Dt , de l'indice d'hydrogène (IH)

ou de la densité totale (ρ) en utilisant les formules suivantes (SCHLUMBERGER, 1972):

$$\phi = (\rho_m - \rho) / (\rho_m - \rho_f)$$

$$\phi = \phi_{IH} - IHa * Va$$

$$\phi = (D_{tm} - D_t) / (D_{tm} - D_{tf})$$

où D_{tm} et ρ_m sont le temps de parcours ($\mu\text{s}/\text{pied}$) et la densité de la matrice, D_{tf} et ρ_f sont le temps de parcours et la densité du fluide. IHa est l'indice d'hydrogène de l'argile présente dans la fraction volumétrique Va de la formation.

Les porosités déterminées à partir des diagraphies représentent mieux les conditions *in situ* que les mesures au laboratoire car ces dernières se font sur des échantillons prélevés dans des niveaux discontinus et en dehors du milieu rocheux tandis que par les diagraphies on obtient un enregistrement continu sur toute la profondeur.

Nous avons utilisé pour le forage IMD1 le log compensé de neutron (CNL) et le log compensé de la densité de formation (FDC).

CORRECTIONS

L'examen des colonnes stratigraphiques des forages DSDP montre que la série ne peut pas être considérée comme continue en raison des lacunes importantes du Crétacé supérieur (Sénonien) et du Crétacé inférieur (Barrémien et Aptien) au site 547, et du Néocomien-Barrémien et du Sénonien-Paléogène au site 545. Des corrections ont été donc effectuées en rajoutant les épaisseurs des séries manquantes d'après les données à terre. L'épaisseur des sédiments manquants a été estimée à 300 m pour le Sénonien-Paléocène et à 200 m pour le Crétacé inférieur. Les porosités des séries situées sous le Tertiaire et sous l'Albien sont donc reportées à une profondeur plus grande (Fig. 2). Cette correction a été effectuée en admettant que les lacunes sont d'érosion et non de sédimentation. En effet, d'après divers auteurs (voir FLAMENT-LIEFFRIG, 1979; LANCELOT, 1980 par exemple), la marge atlantique marocaine a été le siège d'une importante érosion sous-marine d'âge tertiaire, en relation avec des courants dus à l'ouverture de l'Atlantique nord.

D'autre part, et en raison de la grande dispersion initiale des données "brutes" sur le graphique, nous avons regroupé les points en fonction des lithologies, ce qui a permis de distinguer deux principaux types de séries: une série essentiellement calcaire et une autre à dominante argileuse et argilo-calcaire.

RÉSULTATS

Les coefficients ont été déterminés à l'aide de l'équation simple:

$$\phi_z = \phi_0 \exp(-cz)$$

$$\text{ou } \text{Log } \phi_z = \text{Log } \phi_0 - cz$$

$$\text{d'où } c = (\text{Log } \phi_0 - \text{Log } \phi_z) / z$$

où ϕ_0 est la porosité initiale

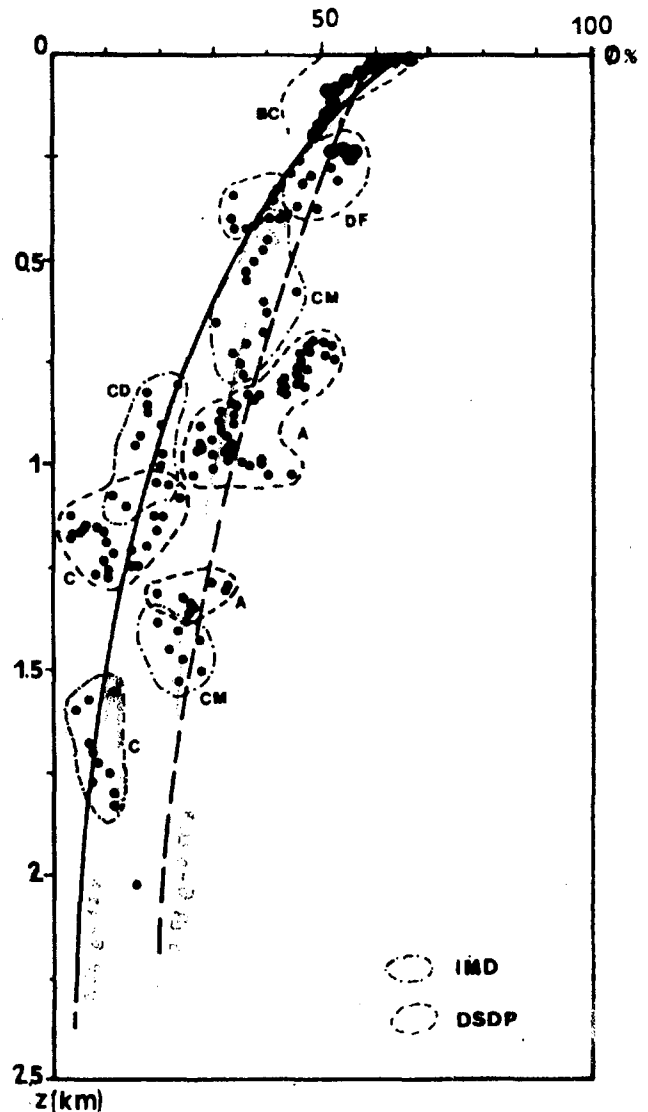


Figure 2 : Evolution de la porosité en fonction de la profondeur corrigée des couches. Symboles: grands = ensemble de points; petits = points isolés. Lithologies: BC, boues carbonatées; DF, debris flows; CM, calcaires marneux; A, argilites; CD, calcaires dolomitiques; C, calcaires.

ϕ_z est la porosité à la profondeur z

z est la profondeur en km

Les valeurs obtenues et les équations correspondantes ont été calculées pour des droites sur diagramme logarithmique, puis nous avons ajusté les valeurs des paramètres de façon à avoir des courbes passant par le milieu des nuages de points. Les équations trouvées s'écrivent (Fig. 3):

$$\phi_z = 0.64 \exp(-1.2 z) \text{ pour les calcaires}$$

$$\text{et } \phi_z = 0.59 \exp(-0.55 z) \text{ pour les argilites et les marno-calcaires.}$$

La comparaison des coefficients et des courbes obtenus avec ceux déterminés par d'autres auteurs,

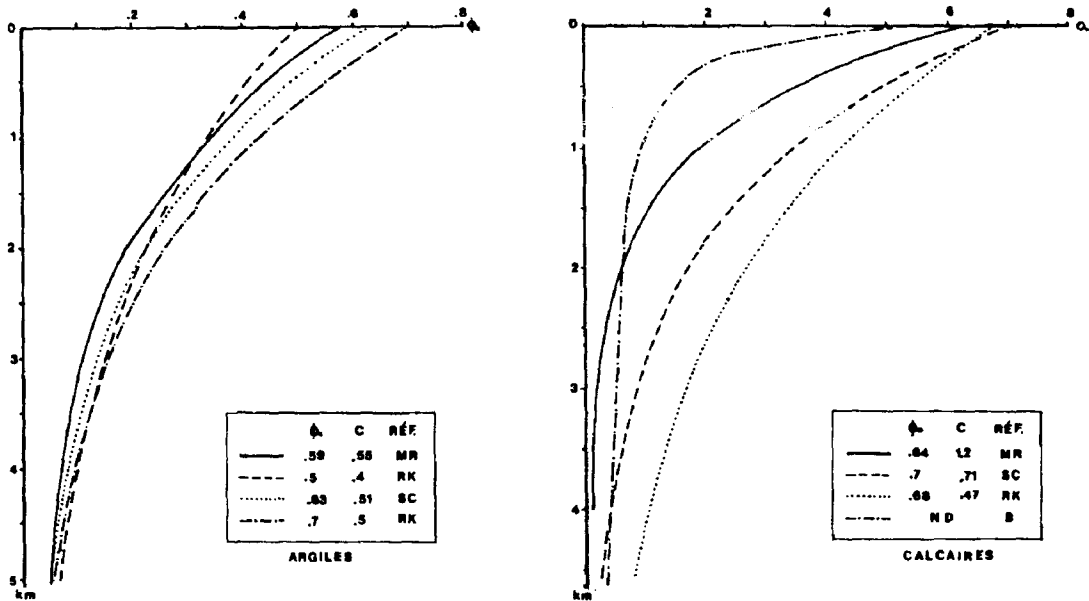


Figure 3 : Comparaison des courbes proposées avec celles déterminées par d'autres auteurs pour les argiles et les calcaires. MR = MEDINA & RIMI (cette note), RK = ROYDEN & KEEN (1980), SC = SCLATER & CHRISTIE (1980), B = BRUNET (1981).

notamment par SCLATER & CHRISTIE (1980) et par ROYDEN & KEEN (1980) montre des valeurs très proches pour les argilites (Fig. 4), mais un peu différentes pour les calcaires, qui dans notre étude se compactent très vite, suivant l'allure des courbes présentées par BRUNET (1981). Cet auteur utilise une formule différente, du type:

$$\phi z = \phi_{res} + (\phi_0 - \phi_{res}) \exp(-cz)$$

En admettant une porosité résiduelle de 7% pour les calcaires, on aboutit à la formule:

$$\phi z = 0.07 + (0.64 - 0.07) \exp(-1.7 z)$$

L'observation de la figure 2 montre que les courbes déterminées passent par pratiquement tous les nuages de points correspondant aux différentes lithologies, à l'exception de la partie supérieure des argilites cénomaniennes du site 547 (vers 0.75 km de profondeur) qui, en raison d'une porosité plus importante (50% environ), restent en dehors de la courbe. Ce fait peut s'expliquer de deux manières:

- soit que ces argilites sont sous-compactées;
- soit que, lors de l'introduction des corrections, nous avons surestimé l'épaisseur des sédiments manquants, ce qui aurait eu pour conséquence le décalage du nuage des points vers le bas.

Dans tous les cas, ce nuage de points n'affecte pas tellement l'allure de la courbe qui est plus influencée

par un autre groupe de points situé vers 1.3 km de profondeur.

APPLICATION A L'ETUDE DE LA SUBSIDENCE DU BASSIN D'ESSAOUIRA AU JURASSIQUE INFERIEUR-MOYEN

Dans une étude menée récemment (MEDINA, à paraître), l'étude de la subsidence du bassin d'El Jadida-Agadir a été abordée en utilisant les coefficients de décompaction proposés par SCLATER & CHRISTIE (1980) déterminés d'après des forages effectués en Mer du Nord. Afin de comparer les effets de l'utilisation de coefficients différents, nous avons repris les données de la région d'Essaouira en tenant compte cette fois des coefficients déterminés dans la présente note pour l'évolution du bassin au Jurassique inférieur-moyen.

Dans la figure 4 nous avons reporté la subsidence totale (ST) et la subsidence tectonique (St) à l'air libre en fonction du temps entre 200 et 150 Ma. La courbe St a été corrigée de la surcharge en eau et de la variation du niveau de la mer. Dans les deux cas, l'utilisation des coefficients déterminés dans cette note (courbes en tirets) aboutit à des valeurs de subsidence plus faibles que celles trouvées à l'aide des coefficients déterminés en Mer du Nord (SCLATER &

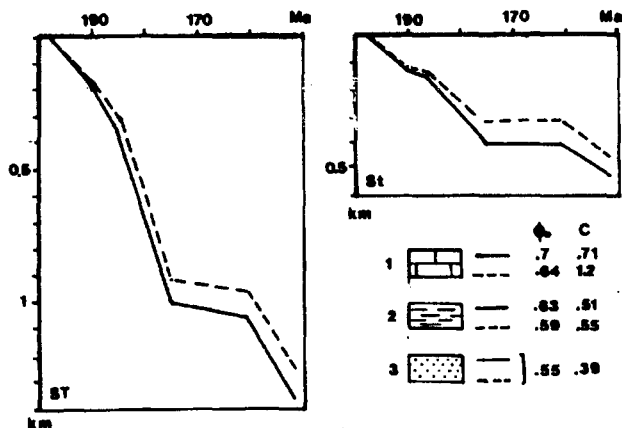


Figure 4 : Exemple de modification des valeurs de la subsidence totale (ST) et tectonique (St) induite par l'utilisation de coefficients différents. L'exemple est celui du bassin d'Essaouira au cours du Jurassique

CHRISTIE, 1980). Ceci s'explique par la rapidité plus grande de la compaction donc de l'augmentation de la densité des sédiments, surtout des calcaires. La différence est dans l'exemple pris de l'ordre de la centaine de mètres. La valeur du taux d'extension β se trouve également diminuée d'à peu près 0.05 (5%).

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de déterminer des valeurs des paramètres de décompaction, que nous proposons pour les études de subsidence des séries mésozoïques du bassin d'El Jadida-Agadir. En effet, les données DSDP permettent d'obtenir des valeurs de la porosité superficielle, rarement obtenues au cours des études pétrolières onshore en raison de l'érosion ultérieure. Cependant, nous pensons qu'il est nécessaire de multiplier les mesures afin de préciser encore plus les valeurs des coefficients, et particulièrement dans les grès, pratiquement absents des colonnes étudiées.

REFERENCES

- BRUNET, M.-F. (1981)- *Etude quantitative de la subsidence du Bassin de Paris*. Thèse de 3^e cycle, Université Paris VI, 161 p.
- FLAMENT-LIEFFRIG, D. (1979)- *La marge continentale africaine du Sud des Iles Canaries au détroit de Gibraltar. Géologie des bassins El Aiun-Tarfaya-Essaouira. Leur évolution dans la contexte atlantique*. Thèse de 3^e cycle, Paris VI, 147 p.
- HINZ, K., WINTERER, E.L., BAUMGARTNER, P.O. & al. (1984)- *Leg 79. Init. Repts. DSDP.*, Washington, U.S. Printing Office. Site 545: , Site 547: .
- JABOUR, H. & NAKAYAMA, K. (1988)- Basin modeling of Tadla Basin, Morocco, for hydrocarbon potential. *AAPG Bull.*, 72, 9, 1059-1073.
- LANCELOT, Y. (1980)- Birth and evolution of the Atlantic Tethys. *Mém. B.R.G.M.*, 115, 223.
- RIMI, A. & LUCAZEAU, F. (1987)- Heat flow measurements in northern Morocco. *J. Afr. Earth Sci.*, 6, 6, 835-843.
- ROYDEN, L. & KEEN, C.E. (1980)- Rifting process and thermal evolution of the continental margin of eastern Canada determined from subsidence curves. *Earth & Planet. Sci. Letters*, 51, 343-361.
- SCLATER, J.G. & CHRISTIE, P.A.F. (1980)- Continental stretching: an explanation of the post-mid-Cretaceous subsidence of the central North Sea basin. *J. Geophys. Res.*, 85, B7, 3711-3739.
- SCHLUMBERGER, (1972).- *Log interpretation*. Vol. 1, Principles. New York, Schlumberger Ltd., 109 p.

Adresses des auteurs

F. MEDINA
Institut Scientifique
Dépt. de géologie
B.P. 703 Rabat-Agdal.

A. RIMI: Institut Scientifique
Dépt. de Physique du globe
B.P.703 Rabat-Agdal.