

Datation des carbonates impurs au Maroc à l'aide de la méthode de déséquilibre radioactif $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

A. Choukri¹, S. Semghouli¹, O. Hakam¹, M. Moheidine³ et M. Laatiris⁴

¹Laboratoire de Physique de la Matière et Rayonnement, Equipe de Physique et Techniques Nucléaires, Faculté des Sciences, P.B 133, 14000, Kénitra, Maroc

²Laboratoire de Géomorphologie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines Ben M'Sik, Maroc

³ Laboratoire de Géomorphologie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Kénitra, Maroc

* Correspondance, courriel : choukrimajid@yahoo.com

Résumé

Au cours de ce travail, nous avons entrepris une série de mesures uranium, thorium sur des carbonates impurs en utilisant la méthode de dissolution totale (TSD). La correction des âges des dépôts, témoin d'une/des phase(s) humide(s) durant laquelle (lesquelles) la précipitation des carbonates a eu lieu, a été effectuée au moyen des techniques isochrones.

Les résultats isotopiques obtenus montrent que: (1) le Plateau Central Marocain a connu au moins, deux phases humides, la première antérieure à 350 ka et la dernière récente au cours de l'épisode climatique Holocène, (2) la région d'Abda Doukalla a connu plusieurs épisodes de précipitations des carbonates qui datent respectivement de >350 ka, 229 ka, 140 ka, 98 ka, 42 ka et 20 ka.

Mots-clés : *dépôts quaternaires, déséquilibres radioactifs, spectrométrie alpha, carbonates impurs, travertin, plateau central marocain, Abda-Doukkala.*

Abstract

Datation of impure carbonates by mean of radioactive disequilibrium $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ in Morocco

During this work, we began a series of measures uranium, thorium on impure carbonates by using the method of total dissolution (TSD). The correction of the ages of deposit, witness of one or more wet phases during which the haste of carbonates took place, was made by means of the isochronal techniques.

The obtained radiochemical results show that: (1) the Moroccan Central Tray knew at least, two wet phases: the first previous to 350 ka and the recent last one during the Holocène climatic episode, (2) Abda Doukalla's region knew several episodes of precipitation of the carbonates which date respectively of > 350 ka, 229 ka, 140 ka, 98 ka, 42 ka and 20 ka.

Keywords : *Quaternary Deposits, radioactive disequilibrium, Alpha Spectrometry, impure Carbonates, Travertine, Moroccan Central Tray, Abda-Doukkala.*

1. Introduction

L'étude de l'évolution du climat dans le passé est l'unique moyen de comprendre les mécanismes qui régissent à long terme les interactions entre les diverses composantes de l'environnement: atmosphère, océans, glaces et continents. Cette étude est donc essentielle pour l'évaluation de l'impact anthropique et pour la modélisation et la prévision climatique. La validité du cadre chronologique en est la clé majeure en raison de la discontinuité des enregistrements quaternaires. Ces derniers renferment des empreintes qui détiennent un registre d'une tranche de temps suffisamment longue et une gamme de variabilité suffisamment large pour analyser l'amplitude, le mode et le temps de réponse des milieux aux variations. Ces empreintes peuvent être datées par les méthodes de déséquilibres

radioactifs dans les familles de l'uranium à condition qu'elles ne dépassent pas 350 000 ans.

Les méthodes de datations par les séries de l'uranium permettent de dater avec précision les coraux non recristallisés, les spéléothèmes et certaines coquilles de mollusques fossiles bien conservées qui sont essentiellement des carbonates purs [1,2]. Malheureusement, ces matériaux sont rares autour de la plupart des côtes et des marges continentales du Maroc ce qui pousse à tenter d'utiliser d'autres matériaux qui sont dans la plupart des cas des carbonates impurs, tels que les concrétions calcaires, les caliches, les travertins, les marelles lacustres, les tufs lacustres etc [3-5].

La formation des dépôts calcaires est surtout accélérée pendant les périodes chaudes et humides. En conséquence, le nombre élevé de résultats pendant certaines périodes indique des événements chauds et humides. Par contre l'absence de dates durant un certain temps reflète des climats froids ou secs. Réciproquement, la corrélation des datations avec le paléoclimat est souvent citée dans les discussions concernant la fiabilité des résultats [6-8].

Dans ce travail, nous avons entrepris une série de mesures uranium, thorium par spectrométrie alpha sur des dépôts carbonatés dans le but de (i) déterminer les spécificités régionales du Quaternaire marocain des régions étudiées (ii) bien documenter le comportement du système Th/U des fossiles étudiés.

2. Matériel et méthodes

2-1. Principe de datation par la famille de l'uranium des carbonates impurs

Le principe de datation par la méthode de déséquilibre radioactif $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ est basé sur le fait que l'échantillon fossile incorpore, au cours de sa formation, de l'uranium à partir d'une solution aqueuse qui contient uniquement les isotopes de l'uranium sans leurs descendants. Après

fossilisation, et si le système n'échange pas de radioéléments avec le milieu environnant, les rapports d'équilibre radioactif $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ et $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ peuvent être liés au temps par la relation ci-dessous qui permet de calculer l'âge de l'échantillon, à condition qu'il ne dépasse pas 350 ka [9] (Kaufman et al., 1971).

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}} = (1 - e^{-\lambda_{230}t}) \frac{^{238}\text{U}}{^{234}\text{U}} + (1 - \frac{^{238}\text{U}}{^{234}\text{U}}) \frac{\lambda_{230}}{(\lambda_{230} - \lambda_{234})} (1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})t}) \quad (1)$$

Où : λ_{230} , λ_{234} sont respectivement les constantes de décroissance pour ^{230}Th et ^{234}U . Les notations des isotopes sont en activité spécifique (dpm g^{-1})⁽¹⁾ et t est l'âge de l'échantillon.

Ceci n'est toutefois valable que dans le cas des phases authigènes (carbonates purs) contenant de l'uranium et essentiellement pas de ^{232}Th . En absence des carbonates purs, le choix s'est porté sur l'utilisation des carbonates impurs. Pour contourner le problème de contamination des carbonates impurs par la matière détritique, plusieurs approches de correction ont été proposées. Des techniques de correction par la méthode des isochrones ont été appliquées à divers matériaux de carbonates impurs comme le cas des caliches, des travertins, des marelles lacustres, des tufs lacustres etc... [3-5, 10]. La présence de ^{232}Th indiquerait une contribution de ^{230}Th , ^{234}U et ^{238}U d'origine détritique que l'on doit évaluer pour corriger les activités de la fraction carbonatée.

2-2. Sites d'échantillonnage et matériel daté

La région des Abda-Doukalla étudiée fait partie du domaine Mésétien Occidental du Maroc. Elle est située entre El Jadida et Safi et limitée par les collines des Mouissate et au sud-est par les collines et croupes des Rehamna. De l'Est vers l'Ouest, la morphologie n'est pas régulière. La **figure 1** permet de localiser les sites d'échantillonnage.

Dans le Plateau Central Marocain, le travertin étudié est conservé en rive droite (x:374,750 ; y :329,800 ; z :380m) dans la vallée moyenne de l'Oued Korifla, principal affluent de l'Oued Bouregreg (**figure 2**).

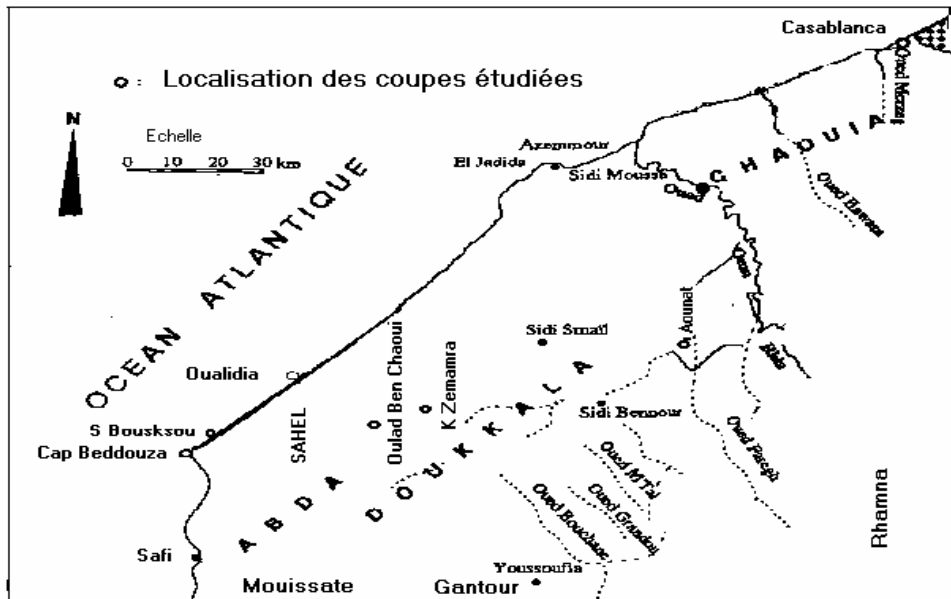


Figure 1: Carte de localisation des coupes étudiées dans la région des Abda-Doukalla

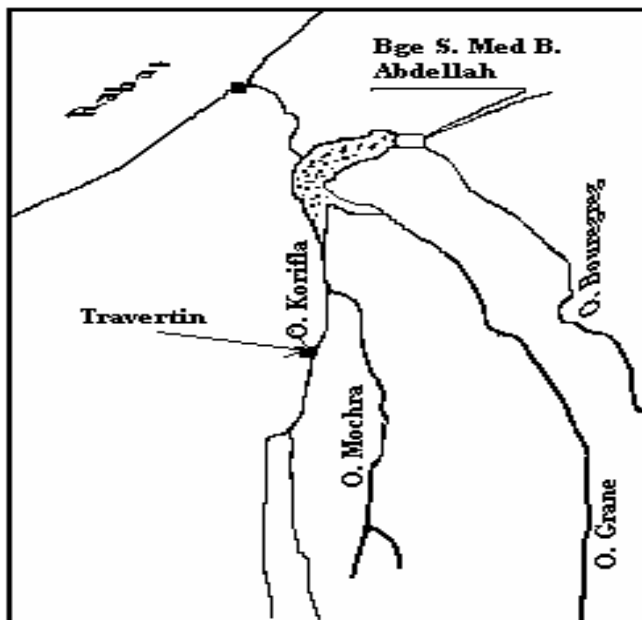


Figure 2 : Situation du travertin de l'Oued Korifla

2-3. Procédure analytique

Au cours de ce travail, des prises de l'échantillon de dimensions ($L \times l \times h = 20 \times 20 \times 1$) cm^3 ont été analysées. Après passage au four, l'échantillon est dissous en milieu nitrique (15M). Après attaque, une autre dissolution est faite par un mélange d'acides HNO_3 (15M), HClO_4 (70%) et HF afin d'assurer la dissolution totale de l'échantillon. Un traceur de $^{232}\text{U}/^{228}\text{Th}$ est ajouté. L'uranium et le thorium sont ensuite séparés et purifiés selon le protocole décrit en détail par Choukri [11]. Ce protocole est basé sur l'utilisation d'une seule résine anionique Dowex 1-X 8 qui fixe l'uranium dans un milieu HCl 8N et le thorium dans un milieu HNO_3 8N et sur un ensemble de purifications et d'extractions à l'aide des solvants organiques. Les rendements de séparation chimique varient et peuvent atteindre des valeurs de 80 à 90 %. Les activités des radioisotopes de l'uranium et du thorium sont mesurées par spectrométrie alpha utilisant un détecteur semi-conducteur à barrière de surface.

3. Résultats

Le **tableau 1** regroupe les résultats des datations qui ont été effectuées sur plusieurs types de carbonates impurs provenant des dépôts continentaux des régions des Abdda-Doukalla et du Plateau Central Marocain.

Un exemple de correction, de l'âge d'un échantillon de carbonate impur analysé, effectuée aux moyens des techniques isochrones U-Th est donné sur la **figure 3**. Les diagrammes isochrones ont été construits à partir des rapports d'activités $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ et $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ mesurés. La **figure 1**, représente les isochrones de la dernière génération du travertin analysé. Un coefficient de corrélation $R^2 \geq 0,91$ pour les diagrammes isochrones montre que le système isotopique de ce dépôt travertineux a évolué en système clos après sa formation [12]. Les rapports d'activités $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ et $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ de la fraction carbonatée du travertin analysé sont respectivement $(0,058 \pm 0,012)$ et $(2,165 \pm 0,070)$. L'incertitude sur le rapport $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ livré par la droite isochrone

($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ vs $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$) est aussi élevée, du fait que la pente de la droite est proche de zéro. L'âge calculé de la première unité du travertin analysé à partir de ces deux rapports d'activités est égal à $6,45^{+1,37}_{-1,36}$ ka. L'âge de la troisième unité du travertin calculé de la même manière est > 350 ka.

Tableau 1 : Ages Corrigés Th/U, matériaux et lieu des échantillons analysés.

Matériaux analysés	Age corrigé en (ka)	Lieu d'échantillonnage
Dépôts ferrugineux	$19,66^{+6,13}_{-5,78}$	Plateau Central Marocain
Travertin	$6,45^{+1,37}_{-1,36}$	
	>350	
Nodule	$20,00^{+5,74}_{-4,65}$	Régions des Abda Doukkala
Nodule	$42,03^{+6,80}_{-4,47}$	
Croûte	$229,00^{+34,00}_{-27,00}$	
Encroûtement nodulaire	$41,92^{+8,93}_{-6,65}$	
Encroûtement nodulaire	$98,19^{+15,14}_{-12,29}$	
amas friable	> 350	
amas friable	$140,00^{+28,34}_{-26,62}$	
Croûte	> 350	

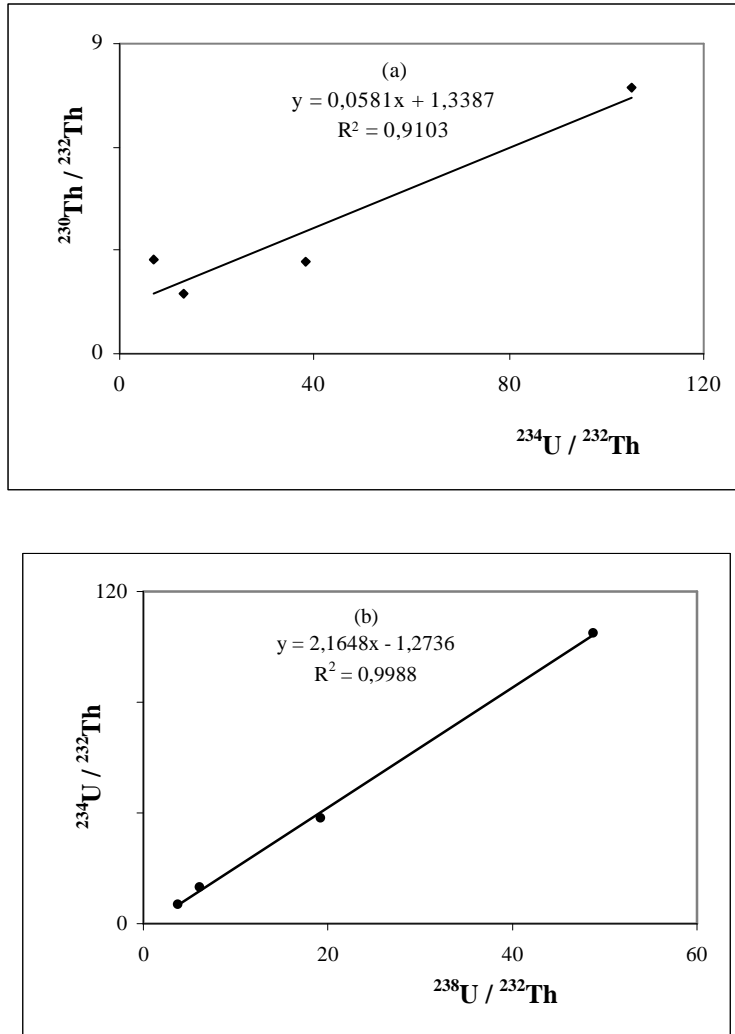


Figure 3: Les isochrones U-Th obtenus pour les quatre aliquotes du travertin analysé :

(a) $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ Vs. $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ (b) $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ Vs. $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$

Le caractère polygénique du travertin analysé évoque que les plateaux de Marchouch-Sidi Bettache ont connu au moins deux périodes humides:

- l'unité Holocène âgée entre 5,1 et 7,82 ka.
- L'unité ancienne âgée de plus de 350 ka.

Entre les deux limites d'âge, la région aurait connu, d'autres périodes climatiques humides générées par les pulsations climatiques quaternaires qui devraient, elles aussi, être représentées dans le dépôt.

Seul un carottage dans le bloc travertineux peut donner des réponses à cette question. Parmi ces pulsations on note celle déchiffrée par la fraction carbonatée du dépôt ferrugineux daté à $19,66^{+6,13}_{-5,78}$ ka.

Les échantillons provenant de Abda-Doukkala traités renferment une fraction détritique importante et variable [1]. Les âges corrigés résultants des corrections de la composante exogène des échantillons sont compris entre $20,00^{+5,74}_{-4,65}$ et > 350 ka. Les datations isotopiques effectuées nous permettent de dire que la région des Abda-Doukkala a connu plusieurs phases de précipitations des carbonates. Ces archives sont donc des indicateurs des périodes humides, en conséquence, la région des Abda-Doukkala a connu durant le Quaternaire plusieurs phases climatiques humides.

5. Conclusion

Les données isotopiques obtenues au moyen de la Méthode de Dissolution Totale (TSD), sur plusieurs échantillons fossiles de carbonates impurs, ont permis de calculer respectivement l'âge apparent $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ et l'âge corrigé au moyen des techniques isochrones U-Th.

Les résultats obtenus révèlent que :

En absence de carbonates purs tels que les coquilles fossiles, le choix s'est porté sur l'utilisation des carbonates impurs pour fixer la chronologie des dépôts quaternaire. Une meilleure évaluation de la pente des droites isochrones livre un âge plus précis pour la phase de précipitation carbonatée.

Le Plateau Central Marocain a connu au moins trois phases humides qui datent de > 350 , ~ 20 et la dernière ~ 6 ka.

La région des Abda-Doukkala a connu aux moins plusieurs phases humides qui date respectivement de > 350 , 229, 140, 98,19, 42,03, et 20 ka.

Références

- [1] - S. Semghouli « Chronologie Th/U des dépôts quaternaires de carbonates purs et impurs au Maroc. » Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat (2001) 160p.
- [2] - A. Choukri, E. Jahjouh, S. Semghouli, O.-K. Hakam, J.-L. Reyss "Influence of uranium post-incorporation on the fossil mollusk shell age rejuvenation: Application to the study of the marine level variation in the past." *Physical & Chemical News 1* (2001) 91-96.
- [3] - S. Luo, T. L. Ku "U-series dating : generalized method employing total-sample dissolution." *Geochim. Cosmochim. Acta* 55 (1991) 555-564.
- [4] - J. Bischoff, J.A. Fitzpatrick "U-series dating of impurs carbonates : An isochron technique using total-sample dissolution." *Geoch. Cosmochim. Acta* 55 (1991) 543-554.
- [5] - A. Kaufman "An evaluation of several methods for determining $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ages in impurs carbonates." *Geochim. Cosmochim. Acta* 57 (1992) 2303-2317.
- [6] - G. J. Heinning, R. Grun , K. Brunnacker "Speleothems, travertines and Paleoclimtes." *Quaternary Research* 20 (1983) 1-29.
- [7] - M. Ivanovich, R. S. Harmon "Uranium Series Disequilibrium : Application to Environmental problems." Oxford Science Publications, Clarendon press (1992) 930p.
- [8] - G. Shen « Datation des planchers stalagmitiques de sites Acheuléens en Europe par les méthodes des déséquilibres des familles de l'uranium et contribution méthodologique. Thèse de Doctorat d'Etat, Meuseum National d'Histoire Naturelle et Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France (1985)
- [9] - A. Kaufman, W. S. Brocker, T. L. Ku, D. L. Thurber „The Status of U-Series methods of mollusk dating." *Geochim. Cosmochim. Acta* 35 (1971) 1155-1183.
- [10] - J.C. Lin, W. S. Brocker, R.F. Andreson, S. Hemming, J.L. Rubenstone, G. Bonani "New $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and ^{14}C ages from lake Lahonton carbonates, Nevada, USA, and discussion of the origine

- of initial thorium.” *Geochim. Cosmochim. Acta* 60 (1996) 2817-2832.
- [11] - Choukri A. « Application des méthodes de datation par les séries d'uranium à l'identification des hauts niveaux marins sur la côte égyptienne de la mer rouge en moyen de coraux, radioles d'oursins et coquilles, et sur la côte atlantique du Haut Atlas au Maroc, au moyen de coquilles. » Thèse D'état, Univ Med V, Rabat (1994)192p.
- [12] - S. Semghouli, A. Choukri, R. Cherkaoui, E. Jahjouh, A. Chouak, A. Ben Mohammadi, M. Laatiris , J.-L. Reyss, J.-C. Plaziat « Th/U dating of marine and continental mollusk shell, and travertine samples in quaternary deposits in Morocco. » *Radiation Physics and Chemistry* 61 (2001) 697-699.