



**HAL**  
open science

## PREMIÈRES DATATIONS DE TRAVERTINS D'IMOUZZER IDAOU TANANE, MAROC

Louis Rousseau, André Weisrock, Christophe Falguères, Jean-Jacques Bahain,  
Jacques Beauchamp, Jean-Pierre Pozzi, Bassam Ghaleb, Geoffroy Mahieux,  
Larbi Boudad, Lahcen Bejjit, et al.

► **To cite this version:**

Louis Rousseau, André Weisrock, Christophe Falguères, Jean-Jacques Bahain, Jacques Beauchamp, et al.. PREMIÈRES DATATIONS DE TRAVERTINS D'IMOUZZER IDAOU TANANE, MAROC. PREMIÈRES DATATIONS DE TRAVERTINS D'IMOUZZER IDAOU TANANE, MAROC, 2008, Oujda, Maroc. pp.209-221. halshs-00356276

**HAL Id: halshs-00356276**

**<https://shs.hal.science/halshs-00356276>**

Submitted on 27 Jan 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## PREMIÈRES DATATIONS DE TRAVERTINS D'IMOUZZER IDA OU TANANE, MAROC

### First results of an radiochronological study of Imouzzer Ida ou Tanane travertines, Morocco

#### التأريخات الأولية لرصاصات إيموزار إيدا- أوتنان – المغرب

Louis ROUSSEAU <sup>1,5</sup>, André WEISROCK <sup>2</sup>, Christophe FALGUERES <sup>1</sup>, Jean-Jacques BAHAIN <sup>1</sup>, Jacques BEAUCHAMP <sup>1,5</sup>, Jean-Pierre POZZI <sup>3</sup>, Bassam GHALEB <sup>4</sup>, Geoffroy MAHIEUX <sup>5</sup>, Larbi BOUDAD <sup>6</sup>, Lahcen BEJJIT <sup>7</sup>, Mohamed BOUAJAJA <sup>8</sup>, Mustapha HADDAD <sup>7</sup>, Nouha JANATI-IDRISSI <sup>7</sup> & Abderrahmane OUAMMOU <sup>8</sup>.

<sup>1</sup> Département de Préhistoire, Muséum National Histoire Naturelle, UMR 5198 du CNRS, Paris, France

<sup>2</sup> Université Nancy2, CERPA, EA 1135, Nancy, France. Auteur correspondant : andre.weisrock@wanadoo.fr

<sup>3</sup> Ecole Normale Supérieure, Géologie, Paris, France

<sup>4</sup> Université du Québec à Montréal, GEOTOP, Montréal, Canada

<sup>5</sup> Université de Picardie, Laboratoire de Sédimentologie et de Géochimie, Jules Vernes, Amiens, France

<sup>6</sup> Université Moulay-Ismaïl, Faculté des Sciences et Techniques, Géologie, Errachidia, Maroc

<sup>7</sup> Université Moulay-Ismaïl, Faculté des Sciences, LASMAR, Meknès, Maroc

<sup>8</sup> Université Ibn Zohr, Faculté des Lettres et Sciences humaines, Agadir, Maroc

#### ملخص

تم تأريخ لأول مرة بواسطة U/Th-TIMS الرصاصات المتواجدة بالشلالات الكبرى لإيدا أوتنان، التي تتواجد حاليا تحت مناخ شبه قاحل وتعرض لتعرية بشرية جد قوية. وقد أعطت النتائج الأولية 5 تواريخ من 434.3 + 97.5 - 52.8 ألف سنة، 296.6 + 16.4 - 14.5 ألف سنة، 48.4 ± 0.7 ألف سنة، 36.1 ± 1 ألف سنة، 15.4 ± 0.3 ألف سنة قبل الحالي، والتي تساعد في التعرف، على الأقل، على 4 مراحل كبرى من عملية تكون الرصاصات طيلة الفترات النظرية 12 (؟) أو أكثر، 9 أو 8، 3 و 2. طيلة المراحل 9، 7، 5، 4، ثم آخر أقصى فترة جليدية، وقعت في غياب العنصر البشري مراحل هامة من التقطيع النهري، وبالخصوص خلال المرحلة 5 وأيضا طيلة آخر أقصى فترة جليدية. هذه النتائج هي متطابقة مع تطورات الرباعي الحديث للمناطق المجاورة ومع نتائج سابقة لرصاصات أخرى بالمغرب (Rousseau & al., 2006; Weisrock & al., 2006)

الكلمات الدالة: الرصاصات، التأريخات، الفترات النظرية، الزمن الرباعي، المغرب

#### Résumé

Les travertins bien connus des grandes cascades d'Imouzzer Ida Ou Tanane, aujourd'hui soumis à un climat semi-aride et à une forte érosion anthropique, sont datés pour la première fois par la méthode U/Th-TIMS. Les résultats préliminaires donnent 5 dates à 434,3 + 97,5 - 52,8 ka, 296,6 + 16,4 - 14,5 ka, 48,4 ± 0,7 ka, 36,1 ± 1 ka, 15,4 ± 0,3 ka BP., et permettent de reconnaître au moins 4 grandes périodes de travertinisation durant les stades isotopiques 12 ( ? ) ou plus, 9 ou 8, 3 et 2. Durant les stades 9, 7, 5, 4 et le dernier maximum glaciaire, des périodes de profonde incision fluviale non anthropiques sont intervenues, particulièrement lors du stade 5 et durant le dernier maximum glaciaire. Ces résultats sont en accord avec l'évolution quaternaire récente des régions voisines (Weisrock & al., 2006) et des résultats obtenus auparavant sur d'autres travertins du Maroc (Rousseau & al., 2006).

**Mots clefs** : Travertins, Datations, U/Th-TIMS, Aimantation, Stades isotopiques, Quaternaire, Maroc

## Abstract

The well-known travertines of the Imouzzer Ida Ou Tanane great waterfall, lying to-day under a semi-arid climate and high anthropic erosional conditions, are for the first time dated by the U/Th-TIMS method. The preliminary results give 5 dates at 434,3 + 97,5 – 52,8 ky, 296,6 + 16,4 – 14,5 ky, 48,4 ± 0,7 ky, 36,1 ± 1 ky, 15,4 ± 0,3 ky BP, and allowed to recognize at least 4 main periods of travertine aggradation during the MIS 12 (?) or more, MIS 9 or 8, 3 and 2. During MIS 9, 7, 5, 4 and the LGM, phases of deep fluvial linear, non-anthropic incision occurred, mainly during MIS 5 and the LGM. These results are consistent with the surrounding Late Quaternary evolution (Weisrock & al., 2006) and previous results of other travertines of Morocco (Rousseau & al., 2006).

**Key-words :** Travertines, Datations, U/Th-TIMS, Magnetization, MIS, Quaternary, Morocco

## 1. Introduction

Les travertins et les stalagmites sont des dépôts de carbonate de calcium et magnésium d'un grand intérêt pour la connaissance des paléo-environnements climatiques, hydrologiques et végétaux, comme pour celle de l'évolution morphodynamique, structurale et même néotectonique. Dans les régions arides, ils ont en général été considérés comme des témoins de phases humides (Butzer et al., 1978 ; Nicod, 2000). Ceci a été confirmé par de nombreuses datations isotopiques effectuées sur des tufs et travertins d'Israël (Schwarcz et al., 1979 ; Kronfeld et al., 1988), de Turquie (Altunel & Hancock, 1993), des Etats-Unis (Szabo, 1990), du sud de l'Espagne et de la France (Cruz-Sanjulian, 1981 ; Falguères et al., 2004), du Maroc (Akdim et al., 1994 ; Mezrhab et al., 1998) et du Sahara (Petit-Maire et al., 1994 ; Osmond et Dabous, 2004). Actuellement cependant, les conclusions concernant les conditions paléoclimatiques correspondant aux dépôts de travertins sont plus nuancées, surtout pour les régions de transition semi-arides, comme le Grand Canyon de l'Arizona (O'Brien et al., 2006), le Nord-Est brésilien semi-aride (Auler et Smart, 2001), l'Espagne (Burjachs et Julia, 1994 ; Ordoñez et al., 2005 ; Luque et Julia, 2007), l'Italie (Soligo et al., 2002) ou la Tunisie et la Chine (Genty et al., 2006), avec des observations et résultats divers et parfois contradictoires.

Au Maroc méridional, sur la base d'arguments géomorphologiques et palynologiques, ainsi que sur l'estimation d'un taux de croissance annuel moyen de 2 à 3,7 mm, les travertins lamellaires des cascades d'Imouzzer Ida Ou Tanane avaient été rapportés à deux phases principales d'aggradation, respectivement à l'Holocène et à l'Ouljien, qui correspond au stade isotopique marin 5 (Weisrock, 1980). Les différentes unités de la grande cascade et de dépôts voisins de l'école d'Imouzzer, avec des planchers stalagmitiques, ont été à nouveau échantillonnées en

vue d'établir une chronologie plus précise et plus complète de leur genèse. Les premiers résultats portent sur des datations U/Th utilisant la spectrométrie de masse à ionisation thermique (TIMS) pour le Pléistocène supérieur et moyen, et l'aimantation paléomagnétique rémanente pour le Pléistocène inférieur et moyen.

## 2. Cadre géomorphologique et environnemental des travertins d'Imouzzer

Les travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane se situent dans l'Atlas atlantique marocain, à 40 km au NE d'Agadir (Fig. 1). Ils se construisent sur les cascades successives d'un affluent de l'assif n'Aït Oualla, haute branche de l'oued Tamri. Ces cascades sont dues à la traversée en cluse d'une zone anticlinale où dominant les formations calcaires et dolomitiques du Jurassique supérieur (Ambroggi, 1963). Quatre corniches successives sont traversées, formant autant de massifs travertineux, respectivement à Isk-école d'Imouzzer, Imouzzer-Tamarout ou grandes cascades, Lamjdid et Tassila (Fig. 2). Seuls les deux premiers sites ont été échantillonnés en Mai 2007.

Les conditions climatiques actuelles sont celles de la moyenne montagne semi-aride. A 1100 m d'altitude, Imouzzer a reçu en moyenne 422 mm/an entre 1968 et 1978, période relativement humide, mais avec déjà une grande variabilité : 930 mm en 1970-71, contre 156 mm en 1974-75. La végétation actuelle est une forêt de genévriers et arganiers qui passe au-dessus de 1100 m à une forêt claire de chênes-verts. Ces conditions se sont détériorées depuis les années 1980 avec une sécheresse accentuée comme dans le reste du Maroc méridional et surtout avec une forte pression anthropique, grande consommatrice d'eau pour les cultures et vergers irrigués. Les cascades ne fonctionnent plus que lors d'épisodes pluvieux significatifs.

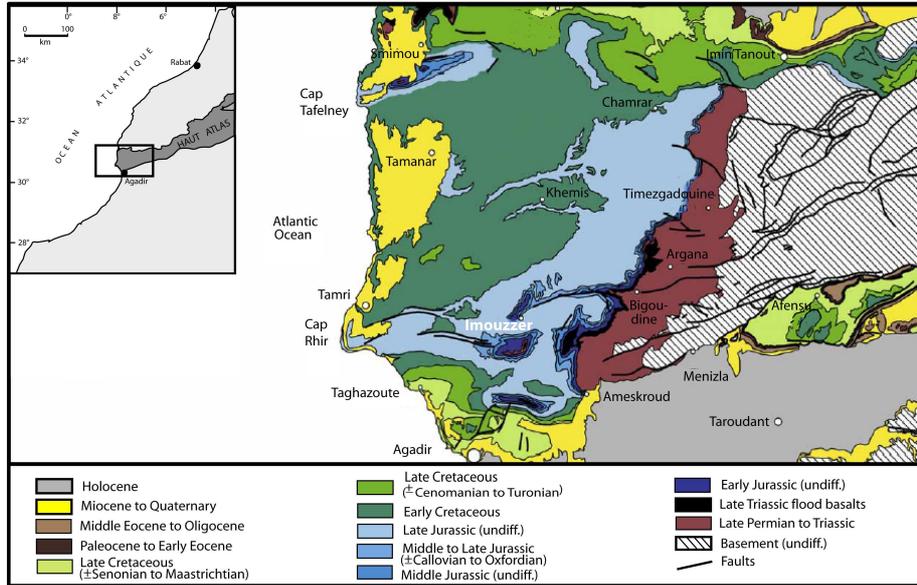


Fig. 1. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, situation et cadre géologique.

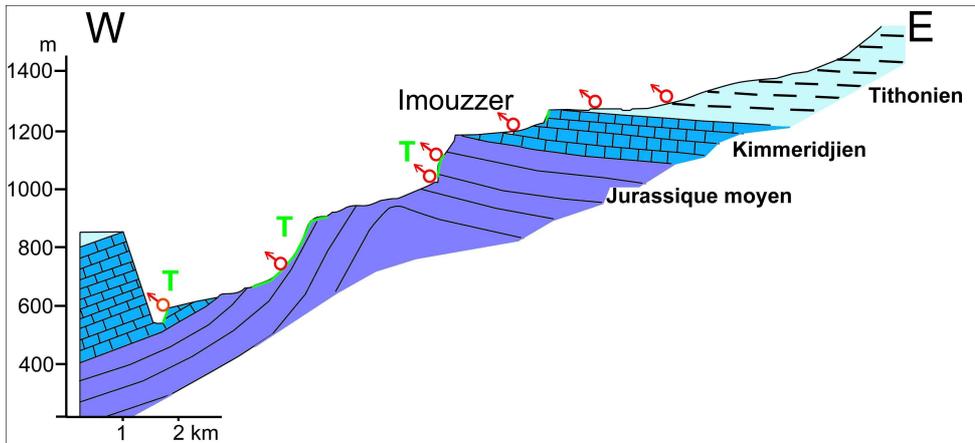


Fig. 2. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, coupe géologique simplifiée.  
T = dépôts de travertins de cascade.

Les édifices travertineux sont constitués de deux faciès principaux, le faciès détritique poreux sur support minéral ou biodétritique, et le faciès construit, ou faciès rubané de cascade, lié à des écoulements abondants et réguliers d'eaux chargées de bicarbonate de calcium et magnésium sur des tapis d'algues ou de mousses incrustantes. C'est ce faciès qui a été échantillonné dans les édifices, à cause de sa très bonne cristallisation (Fig. 3).

On a tenu compte de l'architecture particulière des édifices pour l'échantillonnage. Chaque unité

travertineuse élémentaire (Fig. 4) résulte d'abord de moulages étendus le long de la corniche, puis d'une construction principale concentrée, en forme de dôme de travertins rubanés construits, qui marque l'apogée du système (Casanova, 1981). Ce dôme est ensuite souvent entaillé par l'érosion et plus ou moins démantelé. Dans l'entaille peut se construire un nouvel édifice de travertins à faciès rubané et ainsi de suite, puis l'ensemble peut se déplacer latéralement ou vers l'aval.

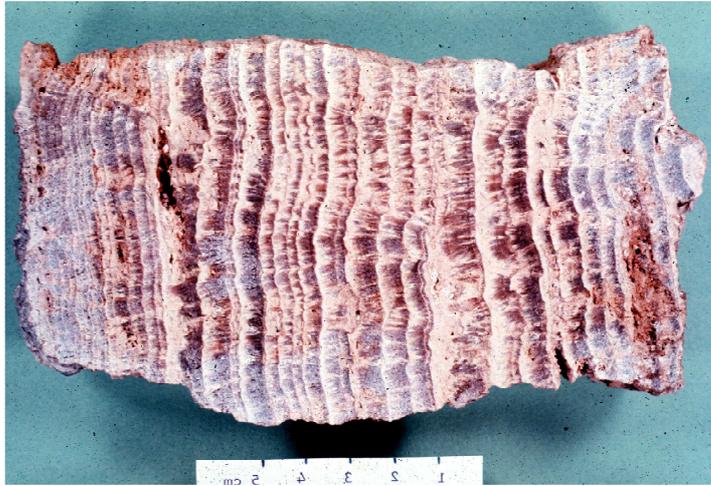


Fig. 3. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, faciès rubané de cascade à Isk-école d'Imouzzer (Photo. Weisrock, 1980).

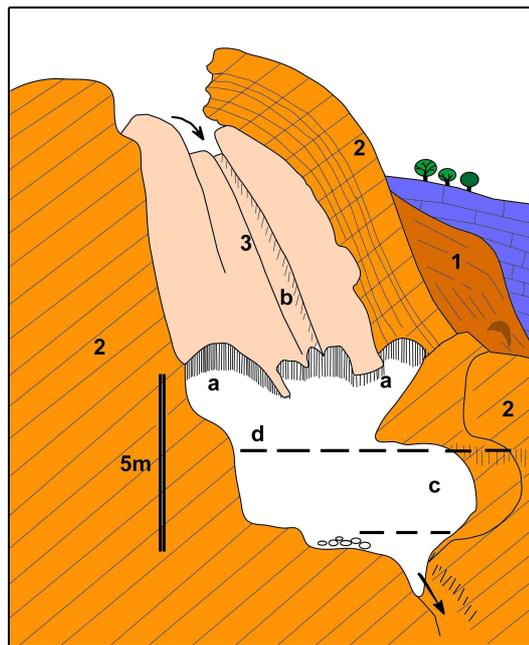


Fig. 4. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, genèse d'un édifice élémentaire de cascade.

1 = première génération de travertins, moulage ; 2 = deuxième génération, travertins rubanés progradants ; 3 = troisième génération, travertins emboîtés ; a = cavité sous-cascade ; b= rainure d'écoulement ; c = vasque ; d = niveau variable de l'eau dans la vasque.

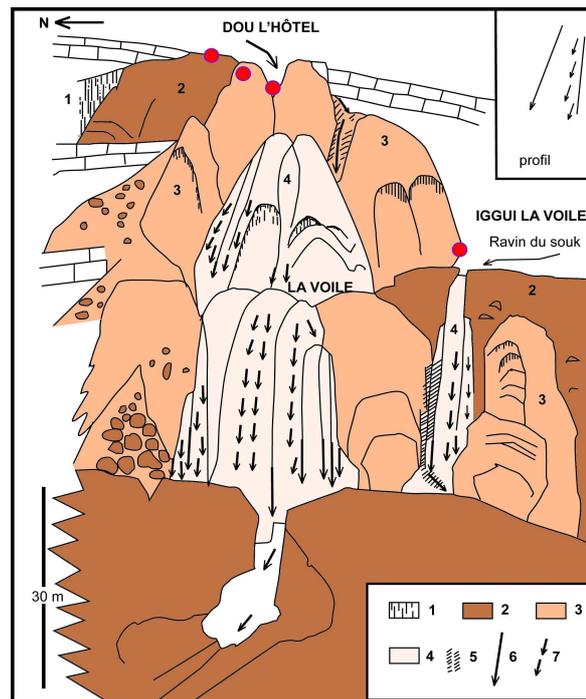


Fig. 5. Travertins d'Imouzer Ida Ou Tanane, schéma d'ensemble de l'édifice complexe des grandes cascades et localisation des échantillons prélevés. 1,2,3,4 = différentes générations de travertins ; 5 = végétation ; 6,7 = écoulements ; points rouges = échantillons prélevés.

Les édifices complexes, comme celui des grandes cascades (Fig. 5) et celui d'Isk-école d'Imouzer réunissent côte à côte plusieurs unités élémentaires juxtaposées ou emboîtées et comportent donc potentiellement un grand nombre de phases de travertinisation. Quatre grandes phases de travertinisation au minimum peuvent ainsi être mises en évidence par l'analyse morphologique à la grande cascade d'Imouzer (Fig. 5).

A Isk-école d'Imouzer, la situation se complique encore du fait de l'ancienneté de l'ensemble de l'édifice, qui n'est plus fonctionnel et se trouve déconnecté à la fois du réseau hydrographique et de la nappe phréatique : le cours d'eau est encaissé d'une trentaine de mètres en contrebas et la profondeur des puits qui atteignent la nappe était de l'ordre d'une vingtaine de mètres en Mai 2007. L'ensemble du massif travertineux est placé en position de butte résiduelle et soumis à une érosion multiforme : ruissellement et démantèlement mécanique des structures superficielles, dissolution karstique avec genèse de sols rouges et recristallisation de planchers stalagmitiques.

### 3. Méthode d'étude

#### 3.1. Echantillonnage

Les sites ont été localisés selon les 3 coordonnées au GPS. Les échantillons consistent en cylindres de 1,5 cm de diamètre et de 5 à 10 cm de long prélevés par un carottier portatif soit perpendiculairement à la surface des couches d'accroissement des travertins rubanés, donc à contresens de leur progradation, soit au sein d'une seule couche (Fig. 7). Les échantillons ont fait l'objet d'une mesure de leur orientation pour le paléomagnétisme. Les prélèvements orientés ont été réalisés exactement aux mêmes lieux que les prélèvements destinés aux datations afin que les études radiochronologique et paléomagnétique soient parfaitement corrélées.

#### 3.2. Datations U/Th

Les premiers tests de datation concernent cinq échantillons, un à Isk-école d'Imouzer et les quatre autres à la grande cascade. A Isk-école d'Imouzer, l'échantillonnage a concerné dans un premier temps un secteur de structures progradantes proximales à faciès rubané construit qui correspondent à la phase maximale de construction d'une première génération de travertins. L'échantillon 21IMZ07 concerne l'enveloppe rubanée d'une stalagmite développée sur ces structures progradantes. Aux grandes cascades d'Imouzer-Tamarout, l'échantillonnage a concerné au lieu-dit « Dou l'Hôtel » le sommet de l'édifice 2B, supposé représenter une deuxième génération de

travertins plus récente que celle d'Isk-école, (Fig. 6), conservé en position apicale (échantillon 11CAS07), ainsi que deux formations qui y sont successivement emboîtées après deux incisions majeures: l'échantillon 14CAS07 appartenant au massif 3B qui représente une troisième génération de travertins, et

l'échantillon 16CAS07 qui représente une quatrième génération. Un dernier prélèvement, à « Iggui la Voile », s'est appliqué à un édifice adjacent à la grande cascade, présumé contemporain de la troisième phase de travertinisation (échantillon 06CAS07).

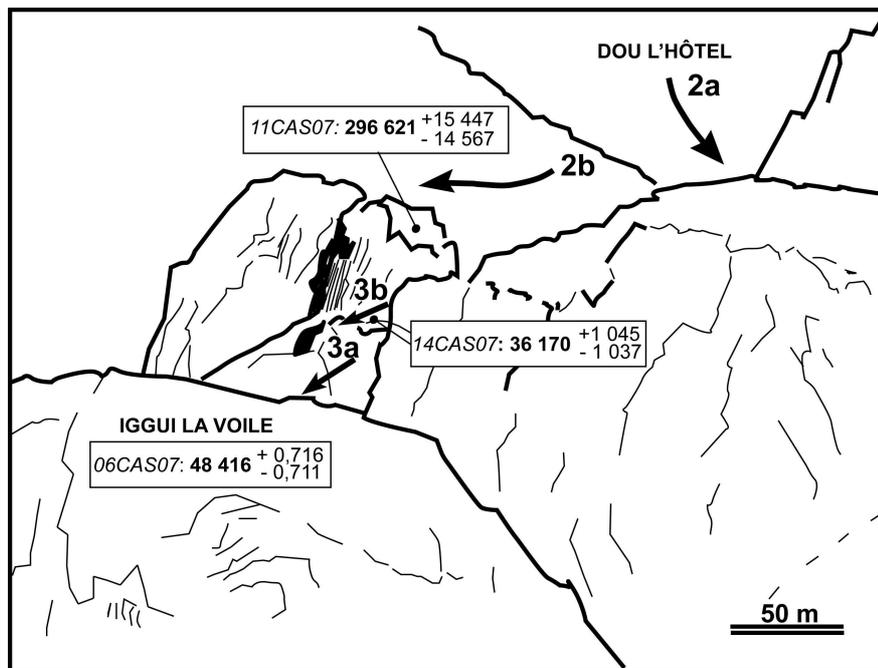


Fig. 6. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, Grande cascade, dispositif morphologique de la partie datée.

Les analyses ont été réalisées au GEOTOP de l'université du Québec à Montréal. La première étape consiste à isoler chimiquement l' $^{234}\text{U}$  et le  $^{230}\text{Th}$ . Les échantillons sont dissous dans l'acide nitrique afin d'éliminer les impuretés. On introduit ensuite un traceur constitué d'isotopes artificiels ( $^{236}\text{U}$  et  $^{229}\text{Th}$ ). Cette précaution permet d'évaluer les rendements chimiques au cours de l'extraction. Les fractions de l'uranium et du thorium sont séparées par des techniques standard (Edwards et al., 1987). Ces deux éléments sont d'abord co-précipités avec du fer de manière à les séparer des autres éléments majeurs. Les précipités sont ensuite dissous et la solution obtenue est purifiée par une série de passages dans des colonnes d'échange d'anions grâce à des résines de polymères organiques synthétiques. Les résidus d'uranium et de thorium sont enfin disposés sur des filaments de rhénium (Rh) recouverts de graphique et sont analysés avec un spectromètre de masse de type VG sector.

### 3.3. Paléomagnétisme

Les premiers tests concernent uniquement 6 échantillons de la grande cascade (Tableau 2). Les carottes de dimension standard (cylindres de diamètre et de longueur de 2,4 cm) ont été extraites et orientées sur le terrain. L'azimut et l'inclinaison du forage ont été mesurés sur la carotte en place, avant le prélèvement. Les carottes sont ensuite sciées au laboratoire et quand deux échantillons sont tirés de la même carotte, le second, le plus profond, est référencé b.

Les mesures ont été faites à l'aide d'un magnétomètre cryogénique de marque G horizontal au laboratoire de paléomagnétisme de l'ENS Paris. Le bruit de fond de cet appareil correspond à un moment magnétique de l'ordre de 10- 10 Am<sup>2</sup>. Les mesures ont été faites sur 9 échantillons dont 3 doubles (4b, 12b, 13 b) qui concernent tous la grande cascade. Les directions d'aimantation ont été analysées par désaimantation thermique : après mesure de

l'Aimantation Rémanente Naturelle (ARN) avant désaimantation, les températures de désaimantation retenues sont 130°C, 170°C, 210°C et 240°C. Les résultats figurés dans le tableau 2 sont ceux obtenus après la dernière désaimantation à 240°C.

## 4. Résultats

### 4.1. Datations

Les premiers résultats TIMS donnent trois groupes d'âges pour les travertins : les travertins supposés appartenir au stade isotopique 5 ont en fait

plus de 400 ka à Isk-école d'Imouzzer et autour de 300 ka aux grandes cascades ; les travertins supposés holocènes sont constitués de deux générations, l'une formée au minimum entre 50 et 30 ka, et l'autre, beaucoup moins développée, à 15 ka. Ces résultats indiquent que des phases de stabilité biostatique favorables à la travertinisation se développent ici lors des stades isotopiques 2 (à 15 ka BP, après le LGM), 3 (autour de 36 ka et autour de 48 ka B.P.) et 8 ou 9. La date de plus de 400 ka est encore trop imprécise pour être prise en compte et n'a qu'une valeur relative.

Site	Echantillon	U (ppm)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	Age (ka)
Imouzzer	06 CAS 07	0.153	$2.462 \pm 0.018$	$0.373 \pm 0.004$	$48.416 \pm 0.71$
	11 CAS 07	0.143	$1.837 \pm 0.013$	$1.067 \pm 0.013$	296.621 (+16.4/-14.5)
	14 CAS 07	0.138	$2.652 \pm 0.012$	$0.291 \pm 0.007$	36.170 (+1.04/-1.03)
	16 CAS 07	0.212	$2.936 \pm 0.012$	$0.134 \pm 0.002$	$15.442 \pm 0.35$
	21 IMZ 07	0.053	$1.201 \pm 0.010$	$1.044 \pm 0.013$	434.374 (+97.553/-52.809)

Tableau 1. Résultats radiochronologiques obtenus par uranium-thorium (TIMS) sur les formations travertineuses d'Imouzzer Ida Ou Tanane.

### 4.2. Paléomagnétisme

L'inclinaison normale du champ terrestre à Agadir

est proche de 50° et toutes les inclinaisons mesurées se trouvent dans une fourchette de 10° autour de l'inclinaison actuelle.

Echantillon	Déclinaison	Inclinaison	ARN (A/m E-7)
Iggui-La-Voile			
03CAS07	300,4	52	6,5
04CAS07	329	48,3	5,3
04CAS07b	330	41	3,1
05CAS07	310	56	5,46
Dou l'Hôtel			
12CAS07	101	42	4,22
12CAS07b	99	55	14,6
13CAS07	22	59	5,1
13CAS07b	26	59	6,2
15CAS07	150	40	9

Tableau 2. Travertins d'Imouzzer, grande cascade : mesures déclinaison et inclinaison après désaimantation à 240°.

Les déclinaisons sont dispersées. Cependant deux groupes apparaissent : les déclinaisons sont centrées sur le nord, avec une forte dispersion, pour tous les échantillons d'Iggui la Voile et 13CAS07, appartenant tous à la 3<sup>ème</sup> génération de travertins. Les déclinaisons sont plutôt dirigées vers l'est pour les échantillons 12CAS07 et 15CAS07 (2<sup>ème</sup> génération et fin de la 3<sup>ème</sup> génération). Des mesures plus nombreuses sont cependant nécessaires pour faire une analyse statistique. Les échantillons sont a priori tous de polarité directe.

## 5. Discussion

### Stade isotopique 2

L'échantillon 16CAS07, daté de  $15.442 \pm 0.353$  ans BP est récolté dans le chenal d'écoulement de l'oued, entaillé dans le travertin 3B (échantillon 14CAS07). Il tapisse de manière discontinue les bordures du chenal et le substrat rocheux affleurant, principalement aux ruptures de pente (Fig. 8).

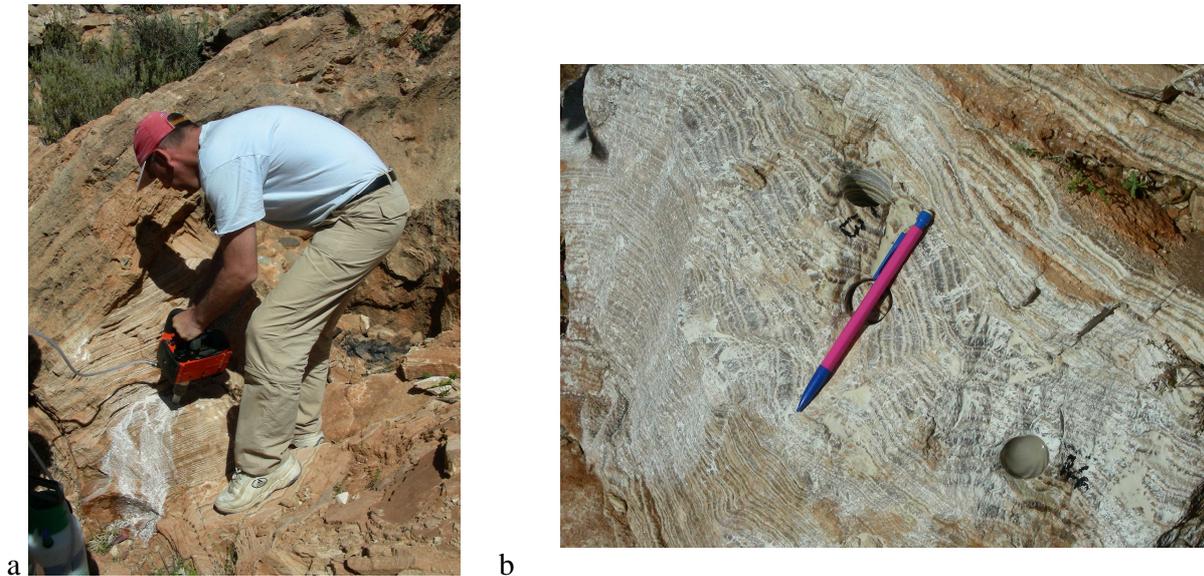


Fig. 7a .Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, Grande cascade, échantillonnage du massif 3B (Photo. C. Falguères, 2007).  
Fig. 7b. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, Grande cascade, massif 3B, détail (Photo. C. Falguères, 2007).



Fig. 8. Travertins d'Imouzzer Ida Ou Tanane, Grande cascade, le dépôt de travertin de 4<sup>ème</sup> génération (Photo. C. Falguères, 2007).

Ce travertin moulant la topographie se caractérise par une faible épaisseur de quelques décimètres, mais une excellente cristallisation. Le faciès est rubané, avec une alternance régulière de lamines noires et blanches. La teneur en argiles est faible, contrairement à presque tous les autres travertins. Ses conditions de dépôt suggèrent, après une incision linéaire marquée, donc après une période d'érosion torrentielle située probablement lors du dernier maximum glaciaire ou peu après, l'installation d'écoulements réguliers abondants capables de favoriser le développement d'algues incrustantes et la précipitation de carbonate de calcium et de dolomite dissous. Cette occurrence semble très courte, les faciès formés ensuite étant détritiques. Cette datation est à peu près unique dans le Sud-Ouest atlantique marocain, où le « Tardi-Soltanien », mal connu, est encore globalement considéré comme une période sèche, pendant laquelle a lieu le creusement anté-Holocène, postérieurement à 17 ka et antérieurement à 10 ka à l'oued Noun (Weisrock et al., 2006).

### Stade isotopique 3

L'échantillon 14CAS07, daté de  $36.170 \pm 1.045 - 1.037$  ans BP est récolté au sommet du massif travertineux 3B (Fig.5) où est entaillé le chenal actuel de l'oued. Ce massif est lui-même emboîté dans le grand ensemble 2A-2B, à la partie apicale du système des grandes cascades. La position de l'échantillon au sein du massif 3B indique que ce dernier avait déjà acquis environ la moitié de sa taille, c'est-à-dire qu'il avait commencé à se former bien avant cette date, qui n'est pas non plus celle de la fin de cet épisode. Il sera important de dater d'autres échantillons du massif 3B, situés à l'amont et à l'aval de 14CAS07, pour avoir une idée du temps de genèse complet de l'édifice, qui mesure environ 50 mètres dans le sens de sa progradation. Ces dimensions, comme le faciès rubané à lamines centimétriques qui le constitue, donnent la mesure de l'importance de cet épisode de travertinisation.

L'édifice 3B succède à la formation de l'édifice 3A appelé « Iggui La Voile », énorme dôme adjacent de même nature, où l'on a daté l'échantillon 06CAS07 à  $48.416 \pm 0.716 - 0.711$  ans BP. Cet échantillon a été prélevé en surface du dôme, sur une de ses enveloppes les plus externes. Il date donc plutôt la fin de l'épisode de formation du dôme d'Iggui La Voile, dont il sera sans doute difficile de dater le début étant donnée sa grande épaisseur. Pour le moment, on peut donc dire qu'un épisode majeur de construction travertineuse débute avant 48 ka et se termine après 36 ka. Par comparaison avec l'oued Noun, ce premier résultat est très satisfaisant, puisque la période 50 – 30 ka est marquée dans cet oued par

l'existence d'étendues lacustres et palustres derrière des barrages travertineux (Weisrock et al., 2006), indicatrices d'une bonne alimentation des nappes phréatiques.

### Stade isotopique 8 ou 9 ?

L'échantillon 11CAS07 a été récolté dans le massif 2 qui est la partie la plus ancienne visible dans la grande cascade (Fig. 5). Il a donné un âge de  $296.621 \pm 16.447 - 14.567$  ans BP. Comme il se situe à peu près aux  $\frac{3}{4}$  de l'épaisseur de l'édifice dans le sens de sa progradation, on peut dire que ce dernier s'est formé à la transition stade 9-stade 8.

### Stade isotopique 12 ?

L'échantillon 21IMZ07 a été récolté dans la partie orientale du vaste édifice d'Isk-école d'Imouzzer. Il s'agit de l'enveloppe rubanée d'une stalagmite formée en cavité sous cascade, qui marque donc plutôt une phase avancée de la construction de l'édifice travertineux, postérieure à celle des structures progradantes sous-jacentes. La date obtenue de  $434.374 \pm 97.553 - 52.809$  ans BP, malgré sa forte marge d'erreur due au fait que l'on se trouve à la limite de la méthode (?), indiquerait donc une construction essentiellement effectuée dans les stades 11, 12, ou 13. Le substrat progradant inférieur n'a pas encore été daté et laisse augurer l'obtention d'âges encore plus anciens.

## 6. Conclusions

### 6.1. Conclusions particulières à Imouzzer

- Les nouveautés apportées par ces datations sur la connaissance de l'évolution géomorphologique et paléoclimatique régionale feront l'objet d'un autre article.

- Les phases de croissance des travertins rubanés identifiées correspondent à des stades froids de la courbe isotopique globale (Fig. 9), c'est-à-dire, en première approximation, à des périodes pluviales au Maroc, mais seule une analyse radiochronologique et palynologique exhaustive pourrait le confirmer.

Un très long hiatus est observé entre les constructions majeures du stade 8 et celles du stade 3, entre 300 000 et 60 000 ans. On observe qu'à la grande cascade, une très forte érosion sépare les constructions du stade 8 de celles du stade 3. Aurait-elle fait disparaître tous les édifices du stade 6 (200 000 -120 000), auquel cas elle se situerait au stade 5 ? Cette phase d'érosion et d'incision linéaire des vallées au stade 5 est bien connue régionalement (Weisrock et Rognon, 1977).

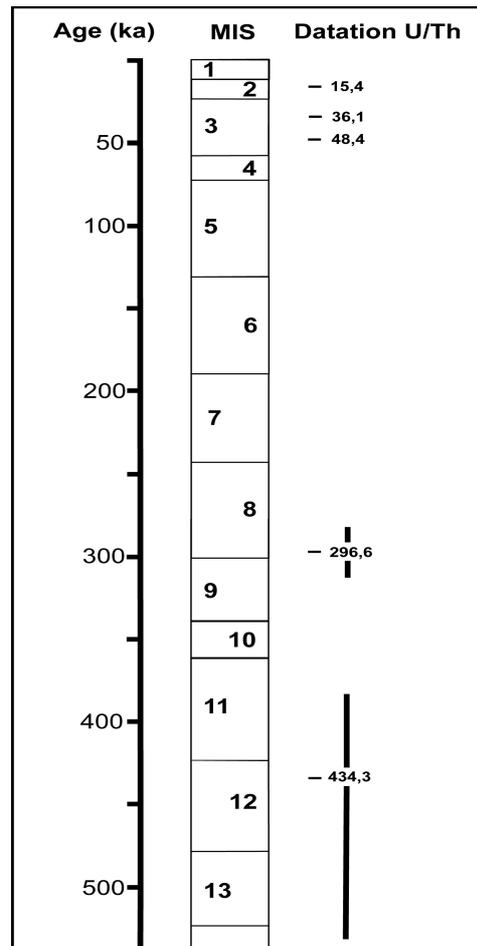


Fig. 9. Place des travertins d'Imouzzer dans la chronologie isotopique.

## 6.2. Comparaison avec les données précédentes obtenues au Maroc

De précédentes études au Maroc nord-oriental (Mezrhah et al., 1998) ont donné la chronologie de 3 phases de travertinisation séparées par des incisions majeures dans les Beni-Snassen près d'Oujda, datées respectivement à plus de 350 ka, à  $72,9 \pm 3,5 - 3,4$  ka, et de  $35,1 \pm 0,7$  à  $15,9 \pm 2,9$  ka B.P. Nous avons par ailleurs déjà abordé l'étude des périodes de formation des concrétionnements travertineux. Il s'agissait de placer leurs phases de croissance dans l'échelle isotopique du Quaternaire. A la suite des études préliminaires stratigraphiques et géochronologiques menées sur les travertins quaternaires du radier d'Erfoud ou Irdi au sud d'Errachidia (Boudad et al., 2003), nous avons étendu notre étude à des affleurements situés à des latitudes différentes et éloignés géographiquement (Ouest

d'Errachidia, régions d'Oujda, Fès, Ouarzazate). Nous avons utilisé la méthode des séries de l'uranium utilisant la spectrométrie alpha pour identifier les périodes de concrétionnement jusqu'à 400 000 ans BP. Les périodes attribuées au début du Pléistocène moyen ont été identifiées par radiochronologie par la méthode des séries de l'uranium utilisant le rapport  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  et par l'étude paléomagnétique qui montre, sur la carotte d'Irdi, l'inversion Brunhes-Matuyama à 780 000 ans BP (Rousseau et al., 2006).

Les datations obtenues (Tableau 3) fournissent des âges répartis sur plusieurs périodes du Quaternaire: (1) des âges anciens, situés au-delà de la limite de la méthode, c'est à dire supérieurs à 400 000 ans, correspondant au stade isotopique marin (MIS) 11 ou supérieur ; (2), des âges situés aux alentours de 260 000 ans (MIS 8 ou 9) ; (3) des âges beaucoup plus récents, situés entre 30 000 et 10 000 ans (MIS 3-2-1).

Bien que ces régions soient éloignées géographiquement, il semble intéressant de remarquer que les périodes de croissance sont relativement bien corrélables sur l'ensemble des sites étudiés. Les résultats sont très cohérents et les phases de croissance déduites des données radiochronologiques

et paléomagnétiques du matériel analysé pourraient correspondre aux périodes suivantes : plusieurs phases aux alentours de 1 000 000-800 000 ans, des périodes comprises entre 500 000 et 300 000 ans, une autre entre 50 000 - 30 000 ans et une phase récente autour de 15 000 ans BP.

Echantillon	U ppm	U234/U238	Th230/U234	Age (ka)
<b>IRDI</b>				
irdi 5	1,92	5.025 ± 0.100	0.175 ± 0.011	<b>20.3 ± 1.4</b>
irdi 4	1,9	5.040 ± 0.042	0.102 ± 0.003	<b>11.5 ± 0.4</b>
Irdi 3	2,07	4.637 ± 0.040	0.248 ± 0.010	<b>29.9 ± 1.3</b>
irdi 2	2,25	5.020 ± 0.038	0.146 ± 0.004	<b>16.8 ± 0.5</b>
Irdi 1	7,35	2.773 ± 0.002	1.076 ± 0.027	<b>262 +22 / -19</b>
<b>AOUFOUS</b>	0,31	1.034 ± 0.034	1.091 ± 0.037	<b>&gt; 350</b>
<b>MIMOUNA</b>				
LM1	0,06	1.435 ± 0.058	1.083 ± 0.045	<b>406 +ind. / -99</b>
LM2				
LM3	0,04	1.367 ± 0.073	1.054 ± 0.048	<b>344 +216 / -72</b>
<b>DEBDOU</b>				
DBD 1	0,06	1.182 ± 0.065	0.992 ± 0.063	<b>316 +indet. / -83</b>
DBD4	0,11	1.058 ± 0.046	0.243 ± 0.019	<b>30.1 +2.8 / -2.7</b>
<b>FES1</b>	0,17	1.437 ± 0.068	1.062 ± 0.053	<b>357 +549 / -84</b>
<b>FES2</b>	0,16	1.557 ± 0.110	1.101 ± 0.075	<b>402 +indet / -129</b>

Tableau 3. Résultats radiochronologiques de travertins collectés au Maroc (spectométrie alpha et TIMS).

## Remerciements

Les auteurs remercient particulièrement le P.P.F. « Evolution et structure des peuplements » coordonné par Philippe Grandcolas (CNRS-MNHN) et le Département de Préhistoire du Muséum National d'Histoire Naturelle (BQR) qui ont financé la mission de terrain réalisée à Imouzzer en mai 2007 et participé aux frais des analyses géochimiques, ainsi que les Universités Ibn Zohr d'Agadir et Moulay Ismaïl de Meknès pour les facilités accordées sur le terrain.

## Bibliographie

AKDIM, B., DESROCHERS, A., & GEURTS, M.A. 1994. Morphogenèse et pétrogenèse des travertins hydrothermaux de Skoura au Maroc méridional. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **38**, 355-372.

ALTUNEL, E. & HANCOCK, P. 1993. Active

fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, W Turkey. *Zeitschrift für Geomorphologie, S.B.*, **94**, 285-302.

AMBROGGI, R. 1963. Etude géologique du versant méridional du Haut Atlas occidental et de la Plaine du Souss. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, **157**, 321 p.

AULER, S.A. & SMART, P.L. 2001. Late Quaternary paleoclimate in semiarid Northeastern Brazil from U-Series dating of travertine and water-table speleothems. *Quaternary Research*, **55**, 159-167.

BOUDAD, L., KABIRI, L., FARKH, S., FALGUERES, C., ROUSSEAU, L., BEAUCHAMP, J., NICOT, E. & CAIRANNE, G. 2003 - Datation par la méthode U/Th d'un travertin quaternaire du Sud-Est marocain ; implications paléoclimatiques pendant le Pléistocène moyen et supérieur. *Comptes-*

rendus *Géoscience*, **335**, 469-478.

BURJACHS, F. & JULIA, R. 1994. Abrupt climatic changes during the Last Glaciation based on pollen analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research*, **42**, 308-315.

BUTZER, K.W., STUCKENRATH, R., BRUZEWICK, A.J. & HELGREN, D.M. 1978. Late Cenozoic palaeoclimates of the Gaop Escarpment, Kalahari margin, South Africa. *Quaternary Research*, **10**, 310-339.

CASANOVA, J. 1981. *Etude d'un milieu stromatolithique continental. Les travertins plio-pléistocènes du Var, France*. Thèse, Université Aix-Marseille II, 136 p.

CRUZ-SANJULIAN, J. 1981. Evolucion geomorfológica e hidrogeológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Malaga) a la luz de la datación de formaciones travertínicas. *Boletín Geológico y Minero*, **XCII-IV**, 297-308.

EDWARDS, R.L., CHEN, J.H., KU, T.L., WASSENBURG, G.J. 1987. Precise timing of last interglacial period from mass spectrometric determination of thorium-230 in corals. *Science*, **236**, 547-553.

FALGUERES, C., YOKOYAMA, Y., SHEN, G., BISCHOFF, J.L., KU, T.L., & LUMLEY, H. de. 2004. New U-series dates at the Caune de l'Arago, France. *Journal of Archaeological Science*, **31**, 941-952.

GENTY, D., BLAMART, D., GHALEB, B., PLAGNES, V., CAUSSE, Ch., BAKALOWICZ, M., ZOUARI, K., CHKIR, N., HELLSTROM, J., WAINER, K. & BOURGES, F. 2006. Timing and dynamics of the last deglaciation from European and North African  $\delta^{13}\text{C}$  stalagmite profiles – comparison with Chinese and South Hemisphere stalagmites. *Quaternary Science Reviews*, **25**, 2118-2142.

KRONFELD, J., VOGEL, J.C., ROSENTHAL, E. & WEINSTEIN-EVRON, M. 1988. Age and paleoclimatic implications of the Bet Shean travertine. *Quaternary Research*, **30**, 298-303.

LUQUE, J.A. & JULIA, R. 2007. U/Th dating of Quaternary travertines at the middle River Llobregat (NE Iberian Peninsula, Northwestern Mediterranean). Correlation with sea-level changes. *Geologica Acta*, **5**, 109-117.

MEZRHAB, A., GUENDON, J.-L. & MAGNIN, F. 1998. Les travertins de Sidi Bou Zid (Maroc nord-oriental) : stratigraphie et relations avec les croûtes calcaires. *Etudes de Géographie physique*, **XXVII**, 37-41.

NICOD, J. 2000. Sources et hydrosystèmes karstiques des régions arides et semi-arides. *Karstologia*, **35**, 47-58.

O'BRIEN, G.R., KAUFMAN, D.S., SHARP, W.D., ADUTOREI, V., PARNELL, R.A. & CROSSEY, L.J. 2006. Oxygen isotope composition of annually banded modern and mid-Holocene travertines and evidence of paleomonsoon floods, Grand Canyon, Arizona, USA. *Quaternary Research*, **65**, 366-379.

ORDONEZ, S., GONZALEZ MARTIN, J.A., GARCIA DEL CURA, M.A. & PEDLEY H.M. 2005. Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to recent fluvial barrage system in the Mediterranean area : the Ruidera Lakes Natural Park, Central Spain. *Geomorphology*, **69**, 332-350.

OSMOND, J.K. & DABOUS, A.A. 2004. Timing and intensity of groundwater movement during Egyptian Sahara pluvial periods by U-series analysis of secondary U in ores and carbonates. *Quaternary Research*, **61**, 85-94.

PETIT-MAIRE, N., REYSS, J.-L. & FABRE, J. 1994. Un paléolac du dernier interglaciaire dans une zone hyperaride du Sahara malien (23° N). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **319**, 805-809.

ROUSSEAU, L., BEAUCHAMP, J., BAHAIN, J.-J., BOUDAD, L., DESCHAMPS, P., FALGUERES, C., GHALEB, B., LARTIGOT, A.-S. & POZZI, J.-P. 2006. Premiers résultats d'une étude pluridisciplinaire menée sur des travertins quaternaires du Maroc. *Quaternaire*, **17**, 343-350.

SCHWARCZ, H.P., BLACKWELL, B., GOLDBERG, B., MARKS, A.E. 1979. Uranium series dating of travertine from archeological sites, Nahal Zin, Israël, *Nature*, **277**, 558-560.

SOLIGO, M., TUCCIMEI, P., BARBERI, R., DELITALA, M.C., MICCADEI, E. & TADDEUCCI A. 2002. U/Th dating of freshwater travertine from Middle Velino Valley (Central Italy) : paleoclimatic and geological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **184**, 147-161.

SZABO, B.J. 1990. Ages of travertine deposits in eastern Grand Canyon National Park, Arizona.

*Quaternary Research*, **34**, 24-32.

WEISROCK, A. 1980. *Géomorphologie et paléo-environnements de l'Atlas atlantique, Maroc*. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, **332**, (1993), 487 p.

WEISROCK, A. & ROGNON, P. 1977. Evolution morphologique des basses vallées de l'Atlas atlantique marocain. *Géologie méditerranéenne*, **IV**,

313-334.

WEISROCK, A., WENGLER, L., MATHIEU, J., OUAMMOU, A., FONTUGNE, M., MERCIER, N., REYSS, J.-L., VALLADAS, H. & GUERY, P. 2006. Upper Pleistocene comparative OSL, U/Th and <sup>14</sup>C datings of sedimentary sequences and correlative morphodynamical implications in the South-Western Anti-Atlas (Oued Noun, 29°N, Morocco). *Quaternaire*, **17**, 45-59.

Article accepté et publié après avis du Pr. M. Mouhiddine, FLSH, Ben M'Sik Casablanca (Comité de Lecture, RQM4).