



HAL
open science

Calibration du taux d'épimérisation de l'isoleucine par le ^{14}C : exemple du Maroc.

Serge Occhietti, Jean-Paul Raynal, Pierre Pichet, Jean-Pierre Daugas,
Addeljalil El Hajraoui

► To cite this version:

Serge Occhietti, Jean-Paul Raynal, Pierre Pichet, Jean-Pierre Daugas, Addeljalil El Hajraoui. Calibration du taux d'épimérisation de l'isoleucine par le ^{14}C : exemple du Maroc.. *14 C et Archéologie*, 3^e Congrès international, Lyon 6-10 avril 1998, Mémoires de la Société préhistorique française tome XXVI et supplément 1999 de la Revue d'Archéométrie, 1999, Paris, France. pp.33-37. halshs-00004149

HAL Id: halshs-00004149

<https://shs.hal.science/halshs-00004149>

Submitted on 16 Jul 2005

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.

CALIBRATION DU TAUX D'ÉPIMÉRISATION DE L'ISOLEUCINE PAR LE ^{14}C : EXEMPLE DU MAROC

Serge OCCHIETTI*, Jean-Paul RAYNAL**, Pierre PICHET*, Jean-Pierre DAUGAS***
et Abdeljelil EL HAJRAOUI****

Résumé : Le cadre lithostratigraphique et culturel de la partie supérieure du dernier cycle climatique du littoral atlantique du Maroc, entre Casablanca et Tanger, est précisé par des données croisées entre des datations par le ^{14}C conventionnelles ou par accélérateur et par les acides aminés. Les conditions thermiques le long des côtes marocaines septentrionales sont restées favorables à la différenciation d'une échelle aminochronologique régionale. La mesure des rapports D-alloisoleucine/L-isoleucine (AlIe/Ile) de l'hydrolysate total des acides aminés mesurés par chromatographie liquide a été appliquée à plusieurs types de tests dont les taux d'épimérisation peuvent varier du simple au double selon le genre : gastéropodes et pélicypodes marins, *Patella*, *Monodonta*, *Mytilus*, et gastéropodes continentaux, *Helix* et *Rumina*. Les sites échantillonnés, grottes, abris sous roche, paléorivages, dunes littorales, nappes continentales, représentent des milieux de conditions thermiques et de fossilisation variées. Dans les conditions thermiques stables d'abris sous roche et de grottes, le taux d'épimérisation de *Helix* suit une courbe linéaire au moins jusque vers 25 000 BP, concordante avec les âges ^{14}C .

Abstract : The lithostratigraphic and archaeological framework of the units of the upper part of the last climatic cycle from sites along the northern Atlantic coast of Morocco, from Tangier to Casablanca, is established with the classical and AMS ^{14}C and amino acids dating methods. Due to the intermediate high thermal history of this part of Morocco, racemization ratios in molluscs are sufficiently high to establish a good regional aminochronological scale. Measurement of the D-alloisoleucine/L-isoleucine (AlIe/Ile) ratios of the hydrolysate of total amino acids is applied to marine shells *Patella*, *Monodonta*, *Mytilus*, and continental gastropods *Helix* et *Rumina*. Sites sampled belong to supratidal and infratidal beach deposits, eolianites and cave deposits. Results for shells from all the sites indicate statistically significant differences and increasing values of the ratios conformable to the stratigraphic position and to the ^{14}C dates. Ratios for *Helix* from caves, as compared to ^{14}C dates, seem to indicate a linear increase of values until at least 25 ka.

Mots-clés : Datation radiocarbone, acides aminés, préhistoire, Holocène, Maroc.

Key-words : Radiocarbon dating, amino acids, archeology, Holocene, Morocco.

INTRODUCTION

Les paléorivages du Maroc réunissent les conditions favorables à l'enregistrement de stationnements marins depuis le Pliocène : soulèvement régional quasi-continu et conditions climatiques propices à la diagenèse rapide des dépôts littoraux. Dans ce contexte, les formations littorales du dernier cycle climatique de la côte atlantique septentrionale ont, dans le passé, servi à définir des étages du Quaternaire marocain : Ouljien (= dernier interglaciaire ou Éémien) sur la base de dépôts marins littoraux étagés entre 5 et 8 m NGM (Gigout, 1949), Soltanien (= Würm ou Weichsélien) d'après le remplis-

sage continental de la grotte de Dar Es Soltan I (Choubert *et al.*, 1956), Mellahien (= Flandrien) d'après les dépôts de l'Oued Mellah (Biberson, 1958).

Les travaux franco-marocains de la Mission préhistorique et paléontologique française au Maroc (devenue Mission « littoral ») avec l'Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine du Royaume du Maroc, ont permis d'établir un cadre lithostratigraphique et culturel de ce dernier cycle climatique, précisé par des datations numériques (^{14}C , OSL, TL) (Daugas *et al.*, 1989 ; Ousmoï, 1989 ; Rhodes, 1990 ; Smith, 1990 ; Texier *et al.*, 1988 ; Texier et Raynal, 1989). Une attention particulière a été portée aux sites préhistoriques du

*GEOTOP, UQAM, CP 8888 Centre-ville, MONTREAL, Qué., Canada H3C 3P8 et Mission française « Littoral » au Maroc.

**Université de Bordeaux I, Institut du Quaternaire, UMR 58-08 CNRS, Avenue des Facultés, bâtiment de Géologie, F-33405 TALENCE Cedex, France et Mission française « Littoral » au Maroc.

*** Service Régional de l'Archéologie, DRAC-Rhône Alpes, 6 quai Saint-Vincent, F-69369 LYON Cedex et Mission française « Littoral » au Maroc.

**** Directeur des Musées, Direction du Patrimoine, rue Michlifen, RABAT-AGDAL, Maroc.

littoral de Rabat-Temara-Skhirat, riches en restes humains atériens et ibéromaurusiens. À l'exception de la nécropole de Rouazi à Skhirat (Daugas *et al.*, 1984 ; Lacombe et Daugas, 1988 ; Lacombe *et al.*, 1990), ces gisements sont en grottes. Le remplissage continental de la cavité de Dar Es Soltan 1 (Ruhlman, 1951) avait anciennement servi à définir le Soltanien (Choubert *et al.*, 1956). La cavité voisine de Dar Es Soltan 2 (Debénath, 1972, 1976, 1978) offre un remplissage comparable qui ne concerne sans doute qu'une partie de l'intervalle de temps attribué classiquement au Soltanien. Une disposition stratigraphique analogue se rencontre dans les grottes d'El Harhoura I et II (Debénath, 1982 ; Debénath et Lacombe, 1986) et d'El Mnasra (Lacombe *et al.*, 1991). De nouvelles unités lithostratigraphiques de référence ont été définies (Lefèvre *et al.*, 1994 ; Texier *et al.*, 1994). Le Membre de Lahlalfa, défini dans la région de Casablanca, traduit une continentalisation du littoral liée à la régression glacio-eustatique mondiale qui a suivi le dernier interglaciaire Ouljien. Ce complexe continental représente le bilan des stades isotopiques 4 à 2 et équivaut à l'étage classique du Soltanien. La Formation de Reddad Ben Ali, de la région de Casablanca, est une séquence régressive témoignant d'une succession de milieux intertidaux, supratidaux puis dunaires. Elle enregistre un haut stationnement de la mer de +2 à +4 m que les données radiométriques permettent de placer dans l'Holocène récent, autour de 3700 BP. Dès 3500 BP, la régression est amorcée et vers 3300 BP, les faciès éoliens envahissent l'espace exondé. Un enregistrement analogue se rencontre à Skhirat : les coquilles associées aux faciès de haut de plage ont donné sur *Mytilus* des âges ^{14}C de l'ordre de 3500-3700 BP (LY-6360, LY-6359 et LY-6358). Le littoral atlantique du Maroc septentrional, par rapport à d'autres régions de la côte atlantique de l'Afrique du nord-ouest, a donc enregistré de façon préférentielle le haut niveau marin de 3700-3500 BP.

MÉTHODOLOGIE

RADIOCARBONE

Des datations radiocarbone conventionnelles (GEOTOP et Lyon) et par accélérateur (Isotracc à Toronto) ont été spécialement produites sur certains échantillons soumis à l'analyse des acides aminés. L'échantillonnage méticuleux a permis de rejeter des échantillons concrétionnés, brûlés, altérés ou corrodés. Un âge ^{14}C du GEOTOP a été intercalibré avec un âge du laboratoire de datation de la Commission géologique à Ottawa. En raison du faible nombre de datations ^{14}C , qui rend difficile une analyse des facteurs géochimiques initiaux, et de la plus grande marge d'erreur de la méthode des acides aminés par rapport à celle du ^{14}C , les âges ^{14}C bruts ont été retenus pour établir le cadre chronologique de référence de la côte atlantique du Maroc. Nous n'avons pas tenu compte de la différence de l'effet de réservoir entre les coquilles marine et continentales, ni de la tendance des gastéropodes continentaux à un déficit en ^{14}C .

ACIDES AMINÉS

La méthode de datation par les acides aminés repose sur un processus naturel : les acides aminés d'un organisme vivant sont lévogyres (L) et se transforment progressivement, dès la mort de l'organisme, en isomères

dextrogyres (D). Cette réaction réversible tend vers un rapport d'équilibre D/L, de l'ordre de 1. Parmi les acides aminés, l'isoleucine (Ile) comprend deux carbones chiraux et se transforme en D-alloisoleucine (Alle) selon une réaction racémique appelée épimérisation. Ces deux stéréoisomères peuvent être distingués par chromatographie en phase liquide. L'épimérisation tend vers un rapport d'équilibre Alle/Ile = 1,3.

La vitesse de racémisation augmente avec la température et, dans une moindre mesure, dépend d'autres facteurs. Elle varie selon les espèces. Il est donc possible de comparer les âges relatifs de fossiles d'une même région et, si l'histoire thermique de la région est connue, de calculer des âges absolus. Les coquilles et organismes carbonatés sont les plus favorables et les plus utilisés en aminochronologie.

Au Maroc, les conditions thermiques moyennement élevées (18-19°C pour l'actuel) auxquelles furent soumis les fossiles analysés sont à l'origine de taux de racémisation relativement rapides et favorables à la différenciation de plusieurs aminozones (Occhietti *et al.*, 1993 ; Occhietti et Raynal, 1996). Les coquilles datées, d'origine marine ou continentale, ont été prélevées à 20 cm ou plus de la surface exposée du dépôt. Les coquilles marines proviennent de thanatocénoses naturelles ou anthropiques. Les coquilles de gastéropodes continentaux (*Helix* et *Rumina*) ont été prélevées dans des remplissages de grottes et des cordons dunaires. Des échantillons des sites méditerranéens de la grotte de Kaf-Tat-El-Ghar (Province de Tetouan) et du cordon dunaire de Nador serviront d'éléments de comparaison.

RÉSULTATS, DISCUSSION

Sur la côte atlantique marocaine, le genre *Patella* est le mieux distribué dans l'espace et le temps ; il a un taux de racémisation moyen et montre une variabilité intraspécifique satisfaisante (Bowen et Sykes, 1985), quoique moins favorable que celle de *Glycymeris*, référence aminochronologique du bassin méditerranéen (Hearty *et al.*, 1986). Les taux de racémisation de *Patella* serviront donc de référence au cadre aminochronologique de la côte atlantique du Maroc. Le genre *Mytilus* est moins bien distribué. D'autres espèces moins fréquentes (*Monodonta*, *Ostrea* sp., *Cardium edule*) ont servi d'éléments de comparaison.

COQUILLES MARINES

D'après les données des sites du tableau 1 et de huit autres sites, les taux d'épimérisation des coquilles marines des genres *Patella* et *Mytilus* indiquent des différences statistiquement significatives et des valeurs croissantes cohérentes avec la position stratigraphique et les datations radiocarbone disponibles. Comme attendu (Miller et Mangerud, 1985), le taux d'épimérisation de *Mytilus* est plus rapide. Les rapports Alle/Ile des autres espèces s'ordonnent également selon la position stratigraphique. Les rapports Alle/Ile des coquilles de différents autres sites en plein air sont cohérents dans chaque site mais indiquent une variabilité du taux d'épimérisation de la même espèce entre certains sites. Ces variations sont attribuées à des conditions initiales de fossilisation différentes, en particulier la durée d'exposition au soleil avant enfouissement.

Stratigraphie	Culture	Site	Age 14C BP	Genre	Alle/le	NI		
Holocène		Dar Bou Azza	3726 ±60 Ly-6368	<i>Mytilus</i>	0,098 ± 0,059	3		
		El Kiffen	3530 ±120 UQ-1872	<i>Patella</i>	0,081 ± 0,019	10		
		plage 0-2m	3330 ±120 UQ-1873	<i>Monodonta</i>	0,113 ± 0,02	6		
	Néolithique final	Dar Es Soltan I couche 2		3330 ± 60 GSC-5852				
					<i>Patella</i>	0,107 ± 0,021	15	
					<i>Mytilus</i>	0,153 ± 0,043	3	
Soltanien	Ibéromaurusien	Dar Es Soltan II grotte	16 500 ± 250 *UQ-1558	<i>Patella</i>	0,101 ?	1		
		Atérien	Dar Es Soltan II grotte	37 220 ± 290 *TO-2045	<i>Patella</i>	0,229 ± 0,022	6	
	?	El Mnasra c.3 grotte			<i>Mytilus</i>	0,376 ± 0,017	3	
					<i>Patella</i>	0,280 ± 0,051	3	
			Atérien	El Mnasra grotte		<i>Patella</i>	0,300 ± 0,064	5
			Atérien	Dar Es Soltan I grotte		<i>Patella</i>	0,336 ± 0,097	3
Atérien ? <i>Homo</i>	Dar Es Soltan II grotte		<i>Patella</i>	0,369 ± 0,020	2			
Ouljien 2-4 m		Larache		<i>Patella</i>	0,533 ± 0,125	3		
		Dar Bouazza		<i>Patella</i>	0,547 ± 0,105	4		

Tab. 1 : Taux d'épimérisation des acides aminés totaux des coquilles marines *Patella*, *Mytilus* et *Monodonta* (* prélèvement commun ^{14}C et acides aminés).
Tab. 1 : Epimerization ratios for total amino acids in *Patella*, *Mytilus* and *Monodonta* marine shells (* Same sampling for ^{14}C and amino acids).

GASTÉROPODES CONTINENTAUX

Les rapports Alle/le moyens obtenus sur le genre *Helix* (tab. 2), confrontés aux datations radiocarbone, montrent une vitesse d'épimérisation linéaire au moins jusque vers 25 ka (fig. 1). La variabilité intraspécifique, nulle pour Nador, augmente avec l'âge. La courbe des moyennes indique une homogénéité de la vitesse de racémisation entre des sites distants de plusieurs centaines de kilomètres mais d'histoire thermique analogue. Elle souligne que les coquilles accumulées sous grotte représentent un matériel favorable à l'aminochronologie, en raison d'une atténuation des variations thermiques. En dehors de la région étudiée, deux séries continentales du Soltanien (vallée du Souss et région de Nador, Occhietti *et al.*, 1994), ont montré clairement un taux

d'épimérisation d'*Helix* et de *Rumina* croissant vers les unités plus anciennes, à l'exception des lits supérieurs situés à moins de 1 m de la surface apparemment affectés par des conditions thermiques plus chaudes. Dans ce cas, les conditions thermiques postérieures à l'enfouissement expliquent l'inversion de tendance.

Cette série de mesures du taux d'épimérisation du genre *Helix* ouvre la voie à une méthode de datation applicable à du matériel archéologique. Elle s'adresse tout particulièrement à des sites et dépôts du Soltanien ancien et moyen, non datables par le ^{14}C . Notons que le genre *Rumina*, moins fréquent qu'*Helix* en contexte archéologique, a donné des taux d'épimérisation sensiblement égaux à ceux d'*Helix*. Il sera donc possible d'utiliser les deux genres à fin de datation.

Stratigraphie	Culture	Site	Age 14C BP	Alle/le	NI
Holocène		Nador cordon dunaire	2950 ± 100 * UQ-1462	0,033 ± 0	3
	Cardial	Kaf Taht El Ghar grotte	6050 ± 120 Ly-3821 charbon	0,062 ± 0,008	7
Soltanien	migration dans Ibéromaurusien	Dar Es Soltan II grotte		0,104 ± 0,015	9
	migration dans Atérien	Dar Es Soltan II grotte	16 090 ± 90 * TO-2046	0,234 ± 0,010	7
	Atérien	El Harhoura I grotte	25 580 ± 130 * TO-2047	0,312 ± 0,046	4

Tab. 2 : Taux d'épimérisation des acides aminés totaux du gastéropode continental *Helix* (* prélèvement commun ^{14}C et acides aminés).
Tab. 2 : Epimerization ratios for total amino acids in *Helix* shells (* Same sampling for ^{14}C and amino acids).

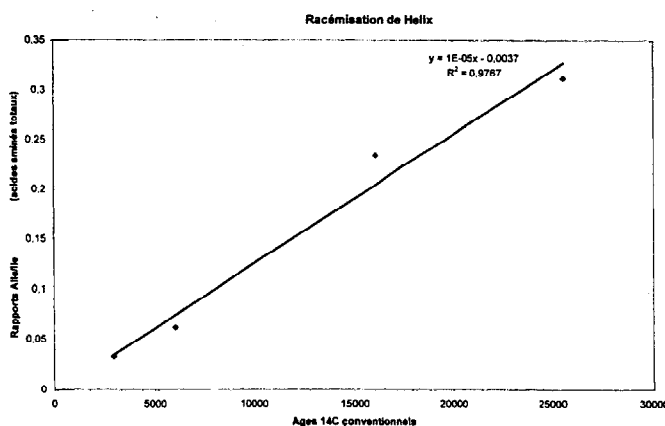


Fig. 1 : Courbe de régression des taux d'épimérisation des acides aminés totaux par rapport aux âges ^{14}C conventionnels du gastéropode continental *Helix*.
Fig. 1 : Regression curve of the epimerization ratios (total amino acids) vs conventional ^{14}C ages from the continental gastropod *Helix*.

DISCUSSION

Les résultats présentés montrent une plus forte variabilité des taux d'épimérisation des unités plus anciennes. La reproductibilité des résultats étant constamment vérifiée au laboratoire, les écarts-types élevés sont donc représentatifs. Par ailleurs, toutes les mesures valides obtenues ont été prises en compte, sans tri sélectif, sauf un cas évident de remaniement anthropique. Seules les mesures présentant des anomalies (pics parasites, anomalie de la concentration standard Norleucine) ont été rejetées. La variabilité des taux d'épimérisation reflète la variabilité naturelle intragénétique et intraspécifique et d'éventuels remaniements. Dans le cas de gisements préhistoriques, les thanatocénoses échantillonnées peuvent contenir des spécimens remaniés par l'activité humaine. De tels cas sont relativement faciles à identifier dans les unités holocènes. Par ailleurs, la colonisation d'unités sous-jacentes par des gastéropodes continentaux sur plusieurs dizaines de centimètres pose un problème majeur de datation. Ainsi, l'unité dite «atérienne» de Dar Es Soltan II contient *Patella* datée de $37\,220 \pm 290$ BP (TO-2045) et *Helix* daté de $16\,090 \pm 90$ BP (TO-2046) : les gastéropodes auraient colonisé le niveau atérien 20 000 ans après sa mise en place. *Helix* est un bon matériel aminochronologique, en tenant compte des anomalies du radiocarbonate propres aux gastéropodes continentaux, mais ne date pas nécessairement les unités qui le contiennent.

CONCLUSION

Les conditions d'épimérisation de *Patella* et d'*Helix* sont favorables à l'identification d'événements intervenus pendant le Soltanien, dont la partie inférieure reste encore très mal connue, et l'Holocène. L'épimérisation d'*Helix*, approximativement linéaire jusque vers 25 ka, ouvre en outre une possibilité de datation absolue peu coûteuse, aux réserves évoquées près. Compte-tenu de la faible quantité d'échantillon nécessaire, du coût peu élevé et de la rapidité d'analyse, la méthode de datation par les acides aminés se révèle très utile car elle permet de vérifier à peu de frais l'homogénéité d'un échantillon (source naturelle et anthropique) avant par exemple de

procéder à une datation par accélérateur. L'interprétation des résultats aminochronologiques demande comme pour toute méthode de datation une bonne connaissance des conditions de terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- BIBERSON, P., 1961 - Le cadre paléogéographique de la Préhistoire du Maroc atlantique et le Paléolithique inférieur du Maroc atlantique. *Publications du Service des Antiquités du Maroc*, Rabat, fasc. 16, 235 p., fasc. 17, 544 p.
- BOWEN, D.Q. and SYKES, G.A., 1985 - Amino acid geochronology of raised beaches in south west Britain. *Quaternary Science Reviews*, 4, 279-318.
- CHOUBERT, G., JOLY, F., GIGOUT, M., MARCAIS, J., MARGAT, J. et RAYNAL, R., 1956 - Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 243, 504-506.
- DAUGAS, J.P., RAYNAL, J.P., BALLOUCHE, A., OCCCHIETTI, S., PICHET, P., EVIN, J., TEXIER, J.P. et DEBENATH, A., 1989 - Le Néolithique nord-atlantique du Maroc : premier essai de chronologie par le radiocarbonate. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 681-687.
- DAUGAS, J.P., TEXIER, J.P., RAYNAL, J.P. et BALLOUCHE, A., 1984 - Nouvelles données sur le Néolithique marocain et ses paléoenvironnements. L'habitat cardial des grottes d'El Khril à Achakar (Province de Tanger) et la nécropole néolithique final de Rowazi à Skhirat (Province de Skhirat). 10^e R.A.S.T., Bordeaux, S.O.F. Ed., p. 167.
- DEBENATH, A., 1972 - Nouvelles fouilles à Dar Es Soltane (champ de tir d'El Menzeh) près de Rabat, Maroc. *Bulletin de la Société Préhistorique française*, 69, 178-179.
- DEBENATH, A., 1976 - Le site de Dar Es Soltan 2, à Rabat (Maroc). *Bulletin et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 3 (série 13), 181-182.
- DEBENATH, A., 1978 - Le gisement préhistorique de Dar Es Soltan 2, champ de tir d'El Menzeh à Rabat (Maroc). Note préliminaire. 1 : le site. *Bulletin d'Archéologie marocaine*, 11, 9-23.
- DEBENATH, A., 1982 - Découverte d'une mandibule humaine atérienne à El Harhoura, province de Rabat. *Bulletin d'Archéologie marocaine*, 12, 1-2.
- DEBENATH, A. et LACOMBE, J.P., 1986 - Remarques sur la double sépulture néolithique du gisement d'El Harhoura II (Province de Témara, Maroc). *Arqueologia*, n°13, Lisboa, 120-125.
- GIGOUT, M., 1949 - Définition d'un étage Ouljien. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 229, n°11, 551-552.

- HEARTY, P.J., MILLER, G.H., STEARNS, C.E. and SZABO, B.J., 1986 - Aminostratigraphy of Quaternary shorelines in the Mediterranean basin. *Geological Society of America Bulletin*, 97, 850-858.
- LACOMBE, J.P. et DAUGAS, J.P., 1988 - La nécropole néolithique de Rouazi-Skhirat. *Bulletin et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 5, XVème série, 4, 308-309.
- LACOMBE, J.P., DAUGAS, J.P. et SBIHI-ALAOUI, F.Z., 1990 - La nécropole néolithique de Rouazi-Skhirat (maroc), Présentation de l'étude des sépultures. *Bulletin et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, n. série, 2, n°3-4, 55-60.
- LACOMBE, J.P., EL HAJRAOUI, A. et DAUGAS, J.P., 1991 - Etude anthropologique préliminaire des sépultures néolithiques de la grotte d'El Mnassa (Témara, Maroc). *Bulletin de la Société d'Anthropologie du Sud-Ouest*, XXVI, 163-176.
- LEFEVRE, D., TEXIER, J.P., RAYNAL, J.P., OCCHIETTI, S. et EVIN, J., 1994 - Enregistrements-réponses des variations climatiques du Pléistocène supérieur et de l'Holocène sur le littoral de Casablanca (Maroc). *Quaternaire*, 5, (3-4), 173-180.
- MILLER G.H. and MANGERUD, J., 1985 - Aminostratigraphy of european marine interglacial deposits. *Quaternary Science Reviews*, 4, 215-278.
- OCCHIETTI, S., BHIRY, N., ROGNON, P. et PICHET, P., 1994 - Stratigraphie et aminochronologie des formations quaternaires de la vallée moyenne du Souss (Maroc). *Quaternaire*, 5 (1), 23-34.
- OCCHIETTI, S., RAYNAL, J.P., PICHET, P. et TEXIER, J.P., 1993 - Aminostratigraphie du dernier cycle climatique au Maroc atlantique, de Casablanca à Tanger. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 317, série II, 1625-1632.
- OCCHIETTI, S. et RAYNAL, J.P., 1996 - La méthode de datation par les acides aminés appliquée à la préhistoire du Maroc. *XIII International Congress of Prehistoric and Protohistoric Sciences*, Forli, Italie, Abstracts 1, 25.
- OUSMOI, M., 1989 - Application de la datation par thermoluminescence au Néolithique marocain. Thèse de l'Université de Clermont II, DU172, 122 p.
- RHODES, E.J., 1990 - *Optical Dating of Quartz from Sediments*. Thèse de Doctorat, Université d'Oxford, 153 p.
- RUHLMANN, A., 1951 - La grotte préhistorique de Dar Es Soltan, *Hesperis*, XI.
- SMITH, B.W., RHODES, E.J., STOCKES, S., SPOONER, N.A. and AITKEN, M.J., 1990 - Optical Dating of Sediments : Initial Quartz Results from Oxford. *Archaeometry*, 32, 19-31.
- TEXIER, J.P., HUXTABLE, J., RHODES, E.J., MIALLIER, D. and OUSMOI, M., 1988 - Nouvelles données sur la situation chronologique de l'Alérien au Maroc et leurs implications. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, II, 827-832.
- TEXIER, J.P., LEFEVRE, D. et RAYNAL, J.P., 1994 - Contribution pour un nouveau cadre stratigraphique des formations littorales quaternaires de la région de Casablanca. *C. R. Acad. Sc. Paris*, série II, 318, n°9, 1247-1253.
- TEXIER, J.P. et RAYNAL, J.P., 1989 - Les «sables beiges» du Nord-Ouest du Maroc : nouvelles interprétations dynamiques, chronologiques et paléoclimatiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, II, 1577-1582.