

Difficultés de datation des niveaux marins pléistocènes à l'aide de coquilles de mollusques fossiles : cas du niveau ouljien sur la côte du Haut Atlas au Maroc

Abdelmajid CHOUKRI^{1,2}

Oum-Keltoum HAKAM¹

Jean-Louis REYSS³

Résumé : Afin de comprendre la difficulté de datation des niveaux marins à l'aide des échantillons de coquilles de mollusques et d'essayer d'établir des outils méthodologiques pouvant aider à juger de la validité d'un âge $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, nous confrontons 80 analyses radiochimiques d'échantillons de coquilles de mollusques prélevés dans des plages marines fossiles situées entre 4 et 8 m par rapport au niveau de l'eau actuel. Les niveaux où ont été faits les prélèvements, analogues à ceux de la côte égyptienne de la Mer Rouge, sont sensés appartenir au stade climatique 5e daté à 122 ka environ. On note que les âges obtenus sont souvent rajeunis indépendamment du site, du taux de calcite, de la teneur en uranium et du rapport $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

Contrairement aux échantillons de coraux, le critère minéralogique ne peut pas être utilisé pour choisir les échantillons non recristallisés, certaines coquilles de mollusques actuelles sont en aragonite, d'autres sont en calcite et d'autres contiennent les deux formes sans que les rapports de proportion en soient encore bien connus. Devant cette situation, nous avons multiplié les analyses sur des échantillons de coquilles de mollusques appartenant à plusieurs espèces prélevés aux mêmes endroits afin de comprendre le scénario de rajeunissement des âges et d'essayer d'établir éventuellement des critères méthodologiques pouvant nous renseigner sur la validité de l'âge calculé. Des scénarios sur le mode d'incorporation de l'uranium et son rôle dans le rajeunissement de l'âge ont été également imaginés et discutés.

Mots-Clefs : Datation Th/U ; coquilles de mollusques fossiles ; niveau marin ; Quaternaire ; rajeunissement d'âges ; côte du Haut Atlas ; uranium.

Citation : CHOUKRI A., HAKAM O.-K. & REYSS J.-L. (2011).- Difficultés de datation des niveaux marins pléistocènes à l'aide de coquilles de mollusques fossiles : cas du niveau ouljien sur la côte du Haut Atlas au Maroc.- *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, Brest, Article 2011/02 (CG2011_A02)

Abstract: *Difficulties in dating Pleistocene marine levels using fossil mollusk shells: the Ouljian level on the High Atlas shore, Morocco.*- In order to comprehend the difficulty of dating marine strata using samples of mollusk shells and in an attempt to establish criteria that help in judging the validity of a $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ age determination, we present here the results of a radioactive element analysis of some 80 samples of mollusk shells. The shells were taken from fossil marine beaches between 4 and 8 meters above current sea level. When compared with the Egyptian shore of the Red Sea these levels are taken to be related to climate stage 5 dated as about 122,000 years ago. The ages obtained are often rejuvenated regardless of site, the incidence of calcite, the amount of uranium and the relationships of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

Unlike coral, mineralogical criteria cannot be used to select mollusk shells unaffected by recrystallization, for present-day shells may be composed of aragonite, others are calcitic, and others contain both minerals. In any case, the rules concerning their effects of composition on radioactivity are as yet poorly understood. With these problems in mind, we made multiple analyses on several species of mollusks, always collected from the same sites, in order to understand progressive changes in the process of age rejuvenation and to attempt eventually to determine systematic criteria providing information on the validity of the calculated age. Possible mechanisms that may influence the incorporation of uranium in rejuvenation have been conceived and are discussed.

Key Words: Th/U dating; fossil mollusk shells; sea level; Quaternary; age rejuvenation; High Atlas coast; uranium.

¹ *Équipe de Physique et Techniques Nucléaires, Laboratoire de Polymères, Rayonnement et Environnement, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Campus Universitaire, BP 133, 14000 Kénitra (Maroc)*

² choukrimajid@yahoo.com

³ *Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Domaine du CNRS, avenue de la Terrasse, F-91198 Gif-sur-Yvette cedex (France)*

Manuscrit en ligne depuis le 27 Avril 2011

Introduction

Bien que sujets à contestation, les âges radiométriques obtenus sur des échantillons de coquilles de mollusques ont été largement utilisés pour établir l'échelle stratigraphique de la variation du niveau marin. Au Maroc, les résultats obtenus à l'aide des mollusques sont parfois différents de ceux obtenus à l'aide des coraux pour les mêmes niveaux dans d'autres régions du Monde (CHOUKRI *et alii*, 2007b), corrélés avec l'altitude, conduisaient souvent à des hypothèses contradictoires sur l'amplitude des mouvements tectoniques de la côte.

Après une série de datations sur des récifs coralliens de la côte égyptienne de la Mer Rouge qui nous ont permis de mesurer les âges des hauts niveaux marins situés actuellement au dessus du niveau de la mer (REYSS *et alii*, 1993 ; CHOUKRI, 1994 ; PLAZIAT *et alii*, 1995, 1998a, 1998b, 2008 ; CHOUKRI *et alii*, 2002), nous avons mené une étude sur un grand nombre d'échantillons de coquilles de mollusques appartenant à plusieurs espèces et prélevées dans des coupes bien étudiées géologiquement sur la côte atlantique du Haut Atlas au Nord de la ville d'Agadir (CHOUKRI, *et alii*, 2007a). Cette étude a été effectuée dans le but :

1. d'évaluer le degré de fiabilité des âges de ces échantillons en fonction de la stratigraphie du site, des conditions de conservation des fossiles et des différents résultats d'analyse radiochimique,
2. de dater la même coupe ou des coupes similaires à partir des analyses multiples sur des échantillons appartenant à la même espèce ou à des espèces différentes,
3. d'essayer d'établir des indices méthodologiques à partir des résultats radiochimiques par comparaison à ceux donnés par les coraux sur la rive occidentale de la Mer Rouge en Égypte. Ces indices permettront de juger de la validité de l'âge avant de les confronter au contexte géomorphologique et géologique de la formation datée.

► **Tableau 1** : Résultats d'analyse radiochimique des échantillons de coquilles de mollusques.

► **Table 1:** Results of the radiochemical analysis of mollusk shells.

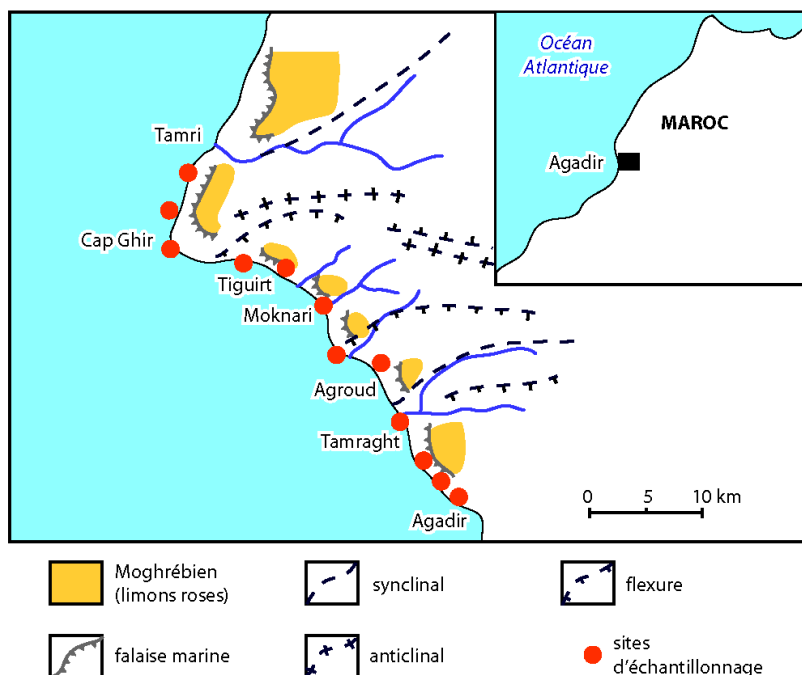


Figure 1 : Carte de localisation des sites d'échantillonnage.

Figure 1: Location map of the sample sites.

Ces mesures ont permis de dater trois hauts niveaux marins:

- l'Holocène,
- le plus haut niveau marin régional (stade 5e) et
- un niveau plus ancien attribué aux stades climatiques 7 et 9. Les résultats montrent que les coquilles de mollusques fossiles fournissent, souvent, des âges apparents plus jeunes que leurs âges réels à cause d'une incorporation postérieure d'uranium pendant la fossilisation. Dans ce travail, nous avons choisi le niveau 5e comme cas d'étude.

Cadre géologique et échantillonnage

Les échantillons analysés et qui sont au nombre de 76 ont été collectés dans plusieurs coupes situées sur 50 km environ le long de la côte atlantique du Haut Atlas, entre Agadir-port au sud et le village Tamri au nord (Fig. 1). La région étudiée est connue pour sa faune riche et diversifiée. L'ensemble de ces coupes a été déjà étudié par d'autres auteurs dans les travaux précédents (STEARNS & THURBER, 1965 ; HOANG *et alii*, 1978 ; WEISROCK, 1980 ; BRÉBION *et alii*, 1984 ; OCCHIETTI *et alii*, 1993 ; EL GHARBAOUI *et alii*, 1994 ; CHOUKRI, 1994).

Les échantillons analysés appartiennent à des coupes situées entre 4 et 8 m au dessus du niveau de la mer actuel. Chaque coupe correspond à un épisode climatique chaud selon son altitude et sa faune (il est admis que les niveaux marins qui correspondent à des épisodes climatiques froids, en l'absence de soulèvements tectoniques, sont actuellement situés en dessous du niveau de la mer). D'après les classifications stratigraphiques internationales (MARTINSON *et alii*, 1987 ; PRELL *et alii*, 1986 ; FAIRBANKS & MATTHEWS, 1978), ces coupes doivent correspondre, dans une région tectoniquement stable, au plus haut niveau marin du dernier interglaciaire, le stade climatique 5e, correspondant au maximum de l'Ouljien d'après la nomen

Échantillon	Espèce	Altitude (m)	Calcite (%)	²³⁸ U (ppm)	²³² Th (ppm)	²³⁰ Th/ ²³² Th	²³⁴ U/ ²³⁸ U ₀	Âge (ka)
Agadir Port et abords								
Route Anza 7m								
95found2	<i>Mytilus</i>	7	5	0,206 ± 0,007	0,005 ± 0,006	158	1,48 ± 0,076	117 (+10 ; -9)
97-10-1	<i>Mytilus</i>	7	0,5	0,282 ± 0,017	0,011 ± 0,005	89	1,772 ± 0,121	146 (+18 ; -16)
97-10-2	<i>Mytilus</i>	7	0,5	0,133 ± 0,006	0,029 ± 0,006	17	1,56 ± 0,086	94,5 (+7,9 ; -7,5)
97-10Bus	<i>Thais</i>	5	0,5	0,040 ± 0,002	0,026 ± 0,007	5	1,150 ± 0,103	125 (+23 ; -19)
Pêcheur								
96-17	<i>Thais</i>	6	3	0,883 ± 0,035	0,010 ± 0,003	159	1,08 ± 0,036	57,7 (+3,3 ; 3,2)
96-17b3	<i>Thais</i>	6	40	1,457 ± 0,057	<	<	<	<
96-17b6	<i>Thais</i>	6	0,2	0,901 ± 0,033	<	>103	1,14 ± 0,044	121,0 (+11,4 ; -10,4)
96-17b4	<i>Thais</i>	6	-	0,855 ± 0,025	0,021 ± 0,010	80	1,18 ± 0,032	118,4 (+10,7 ; -9,8)
96-17b8	<i>Thais</i>	6	4	1,725 ± 0,059	0,021 ± 0,013	248	1,2 ± 0,035	103 (+10 ; -9)
96-16mur2	<i>Thais</i>	6	2	0,679 ± 0,027	0,012 ± 0,005	125	1,29 ± 0,040	63,1 (+4,6 ; -4,4)
96-16mur3	<i>Thais</i>	6	0,1	0,497 ± 0,025	0,019 ± 0,006	81	1,21 ± 0,066	110 (+11 ; -10)
96-16mur1	<i>Mytilus</i>	6	0,1	0,488 ± 0,019	0,006 ± 0,004	245	1,14 ± 0,051	114,2 (+10,2 ; -9,4)
96-17b1	<i>Mytilus</i>	6	0,1	0,944 ± 0,019	0,001 ± 0,005	315	1,14 ± 0,020	112,9 (+6,6 ; -6,2)
97-6	<i>Mytilus</i>	6	0,5	1,038 ± 0,035	<	>97	1,16 ± 0,039	131 (+13 ; -11)
96-17b2	<i>Patella</i>	6	80	0,291 ± 0,010	0,007 ± 0,004	120	1,17 ± 0,052	109,7 (+8,4 ; -7,8)
96-17b5	<i>Cymatium</i>	6	0,5	1,457 ± 0,046	<	96	1,12 ± 0,026	45,4 (+2,7 ; -2,6)
96-17b7	<i>Cardium</i>	6	-	1,980 ± 0,093	<	>463	1,23 ± 0,053	110 (+13 ; -12)
Anza								
95-anza1	<i>Mytilus</i>	4	0,1	0,902 ± 0,026	<	>123	1,41 ± 0,038	118,9 (+8,9 ; -8,3)
96-14-2	<i>Mytilus</i>	4	5	5,118 ± 0,155	0,049 ± 0,042	222	1,21 ± 0,022	60±5
96-14-1	<i>Thais</i>	4	0,5	0,553 ± 0,023	<	>59	1,102 ± 0,06	102 (+12 ; -11)
96-14-2bis	<i>Thais</i>	4,5	10	2,254 ± 0,118	0,013 ± 0,009	546	1,26 ± 0,047	107,4 (+10,8 ; -9,9)
96-14-3	<i>Thais</i>	4	0,1	2,170 ± 0,118	0,010 ± 0,008	695	1,27 ± 0,041	101,6 (+10,1 ; -9,3)
97-7	<i>Thais</i>	5	3	2,691 ± 0,079	<	>348	1,2 ± 0,020	68,9 (+3,7 ; -3,6)
Usine								
95 use1	<i>Thais</i>	5	40	0,795 ± 0,026	<	86	1,26 ± 0,039	46,7 ± 2,9
95 use2	<i>Thais</i>	5	40	0,920 ± 0,027	0,021 ± 0,014	68	1,25 ± 0,032	37,6 ± 2,4
96-8-2	<i>Thais</i>	5	40	1,131 ± 0,032	0,010 ± 0,006	159	1,19 ± 0,024	36,2 ± 1,8
97-14	<i>Thais</i>	5	20	0,845 ± 0,028	<	>112	1,19 ± 0,029	41,1 ± 2,7
97-15	<i>Thais</i>	5	0,2	0,575 ± 0,018	0,035 ± 0,015	29	1,29 ± 0,046	50,9 (+4,3 ; -4,1)
96-8-1	<i>Mytilus</i>	5	0,1	0,292 ± 0,017	<	>37	1,29 ± 0,085	51 ± 5
95-use b1	<i>Mytilus</i>	5	0,1	1,466 ± 0,054	<	88	1,3 ± 0,042	36,8 ± 2
95-use b2	<i>Mytilus</i>	5	50	1,165 ± 0,031	0,058 ± 0,011	40	1,21 ± 0,024	54,2 ± 3,0
96-10	<i>Mytilus</i>	2	100	0,624 ± 0,043	0,020 ± 0,017	73	1,3 ± 0,098	61,9 (+7,1 ; -6,7)
Tamraght								
Rive gauche (sud)								
96-5-1	<i>Mytilus</i>	6	0,1	1,026 ± 0,028	0,023 ± 0,014	129	1,27 ± 0,037	90,4 (+6,1 ; -5,8)
96-5-2	<i>Cardium</i>	6	0,1	1,186 ± 0,045	0,016 ± 0,009	234	1,48 ± 0,046	81,8 (+5,7 ; -5,4)
96-5-3	<i>Cymatium</i>	6	1	2,748 ± 0,069	0,049 ± 0,040	154	1,46 ± 0,021	67,2 (+5,3 ; -5,1)
98-13-1	<i>Thais</i>	4,5	25	1,627 ± 0,042	<	>389	1,28 ± 0,020	72,0 ± 3,6
98-13-2	<i>Patella</i>	4,5	50	0,363 ± 0,012	0,003 ± 0,005	362	1,37 ± 0,058	107,6 (+7,6 ; -7,2)
Rive droite (nord)								
97-1	<i>Thais</i>	7	15	3,932 ± 0,132	<	>684	1,41 ± 0,023	124,7 (+9,4 ; -8,7)
92-20b	<i>Thais</i>	4	20	3,981 ± 0,648	<	>267	1,240 ± 0,020	67±4
96-1a	<i>Thais</i>	4	0,1	5,159 ± 0,212	<	>716	1,31 ± 0,019	70,3 (+4,8 ; -4,6)
96-1b3	<i>Thais</i>	4	1,3	1,321 ± 0,065	<	>166	1,17 ± 0,044	52,4 (+4,2 ; -4,0)
92-20a	<i>Cymbium</i>	4	1	4,994 ± 0,156		53	1,19 ± 0,018	43±2
96-1b-1	<i>Cymbium</i>	4	0,1	1,289 ± 0,051	0,001 ± 0,005	>290	1,25 ± 0,038	63,3 (+3,9 ; -3,8)
96-1-c	<i>Cymbium</i>	4	10	1,559 ± 0,225	0,008 ± 0,009	562	1,3 ± 0,072	82 (+11 ; -10)
98-2	<i>Cymatium</i>	4	0,2	3,053 ± 0,093	<	>441	1,15 ± 0,022	47,2 ± 2,4
92-20d	<i>Mytilus</i>	4	7	0,158 ± 0,004	<	16	1,15 ± 0,053	122±10
96-1b-2	<i>Mytilus</i>	4	1	1,275 ± 0,099	0,014 ± 0,016	260	1,02 ± 0,099	125 (+21 ; -18)
96-1b-2'	<i>Mytilus</i>	4	1	1,401 ± 0,039	0,011 ± 0,013	339	1,28 ± 0,028	79,1 (+5,2 ; -5,0)
97-1mer1	<i>Mytilus</i>	7	0,6	0,903 ± 0,033	<	>440	1,16 ± 0,040	53,7 (+3,0 ; -2,9)
97-mer2	<i>Mytilus</i>	7	0,6	3,410 ± 0,211	<	>290	1,14 ± 0,044	52,6 (+5,2 ; -4,9)
97-oued1	<i>Mytilus</i>	7	2	1,648 ± 0,044	0,023 ± 0,011	>152	1,21 ± 0,033	60,4 (+3,8 ; -3,7)
97oued2	<i>Mytilus</i>	7	40	1,611 ± 0,076	<	>327	1,2 ± 0,038	45,4 (+3,3 ; -3,2)
97-1 huit	<i>Ostrea</i>	7	100	0,172 ± 0,009	0,009 ± 0,003	21	1,19 ± 0,077	76,4 (+7,3 ; -6,8)
96-2-2	<i>Cardita</i>	4	-	5,221 ± 0,226	<	>288	1,25 ± 0,031	69,1 (+5,5 ; -5,2)
92-20c	<i>Lima</i>	4	14	0,706 ± 0,033	<	>208	1,27 ± 0,064	71±6
96-2-1	<i>Ostrea</i>	4	100	0,132 ± 0,007	0,009 ± 0,009	31	1,2 ± 0,094	59 (+7,8 ; -7,4)
Immi Waddar								
98-15-1	<i>Cymatium</i>	8	0,1	3,470 ± 0,100	<	>1423	1,430 ± 0,022	48 ± 2
98-15-2	<i>Thais</i>	8	28	1,331 ± 0,045	<	>95	1,465 ± 0,053	66,7 ± 3,6
Aghroud								
92-12	<i>Lutraria</i>	4	1	1,326 ± 0,049	<	>120	1,7 ± 0,055	119 (+9 ; -8)
Tiguirt								
92-15	<i>Mytilus</i>	8	0,1	0,316 ± 0,012	<	>64	1,28 ± 0,073	123 (+11 ; -10)
92-16A	<i>Thais</i>	7	16	0,406 ± 0,015	<	>48	1,42 ± 0,065	103 (+8 ; -7)
92-16B	<i>Thais</i>	7	1	0,829 ± 0,032	<	>72	1,67 ± 0,067	101 (+7 ; -6)
97-20	<i>Thais</i>	7	50	1,346 ± 0,068	<	>880	2,22 ± 0,073	84,8 (+6,9 ; -6,5)
Taghazout								
98-4	<i>Mytilus</i>	5	0,1	0,785 ± 0,024	0,003 ± 0,006	746	1,15 ± 0,035	113,3 (+8,1 ; -7,6)
98-5	<i>Mytilus</i>	5,5	0,5	0,949 ± 0,030	0,004 ± 0,012	739	1,2 ± 0,038	113,9 (+8,9 ; -8,3)
98-6	<i>Mytilus</i>	6	0,1	0,445 ± 0,013	<	>259	1,230 ± 0,049	107,5 (+7,9 ; -7,4)
98-7-1	<i>Mytilus</i>	6	0,5	1,004 ± 0,026	0,012 ± 0,006	238	1,185 ± 0,027	92,8 (+4,8 ; -4,6)
98-7-2	<i>Thais</i>	6	12	4,229 ± 0,112	0,011 ± 0,007	852	1,19 ± 0,017	62,4 ± 2,6
Cap Ghir								
97-19bas	<i>Thais</i>	6	12	0,181 ± 0,006	<	>72	1,22 ± 0,054	103 (+9 ; -8)
Si Azza ou Ihda								
98-16SA	<i>Cymatium</i>	6	7	0,457 ± 0,010	0,023 ± 0,005	78	1,5 ± 0,044	116,6 (+5,8 ; -5,5)
Ibni Ifrasse								
98-24	<i>Thais</i>	5,5	0,2	0,648 ± 0,016	0,008 ± 0,004	301	1,4 ± 0,035	122,0 (+6,8 ; -6,4)
Km 50								
92-10A	<i>Thais</i>	4	37	0,803 ± 0,029	<	>95	1,31 ± 0,055	122 (+11 ; -10)
92-10B	<i>Thais</i>	4	37	0,798 ± 0,019	<	>180	1,3 ± 0,034	116±7
92-10C	<i>Mytilus</i>	4	50	0,901 ± 0,037	<	>45	1,22 ± 0,050	66±5
97-17	<i>Mytilus</i>	6	0,8	0,322 ± 0,015	<	>146	1,190 ± 0,077	126,5 (+17 ; -15)
98-18	<i>Mytilus</i>	6	100	0,297 ± 0,010	0,022 ± 0,021	47	1,2 ± 0,065	132 (+16 ; -14)

clature stratigraphique marocaine (LECOINTRE, 1963). Les âges souvent mesurés pour ce niveau varient entre 115 et 135 ka autour d'une valeur moyenne de 122 à 125 ka.

Les 76 échantillons de coquilles de mollusques analysés au cours de cette étude appartiennent à 18 espèces différentes : *Thais* (31 échantillons), *Mytilus perna* (28 échantillons), *Patella* (1 échantillon), *Cardium ringens* (2 échantillons), *Ostrea* (2 échantillons), *Cymbium* (4 échantillons), *Cymatium* (5 échantillons), *Cardita* (1 échantillon), *Lima* (1 échantillon), et *Lutraria* (1 échantillon) [déterminations de Jean-Claude PLAZIAT].

Résultats

Les résultats d'analyse radiochimique, l'altitude de prélèvement et le taux de calcite, sont donnés pour les 76 échantillons de coquilles de mollusques, dans le Tableau 1. Les âges mesurés dans les échantillons de coquilles de mollusques analysés sont représentés dans la Figure 2. Les distributions statistiques de la teneur en ^{238}U , du rapport d'activité $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ et des âges sont données dans les histogrammes des figures 3, 4 et 5. La relation entre la distribution des âges et celle de ^{238}U est donnée dans la Figure 6.

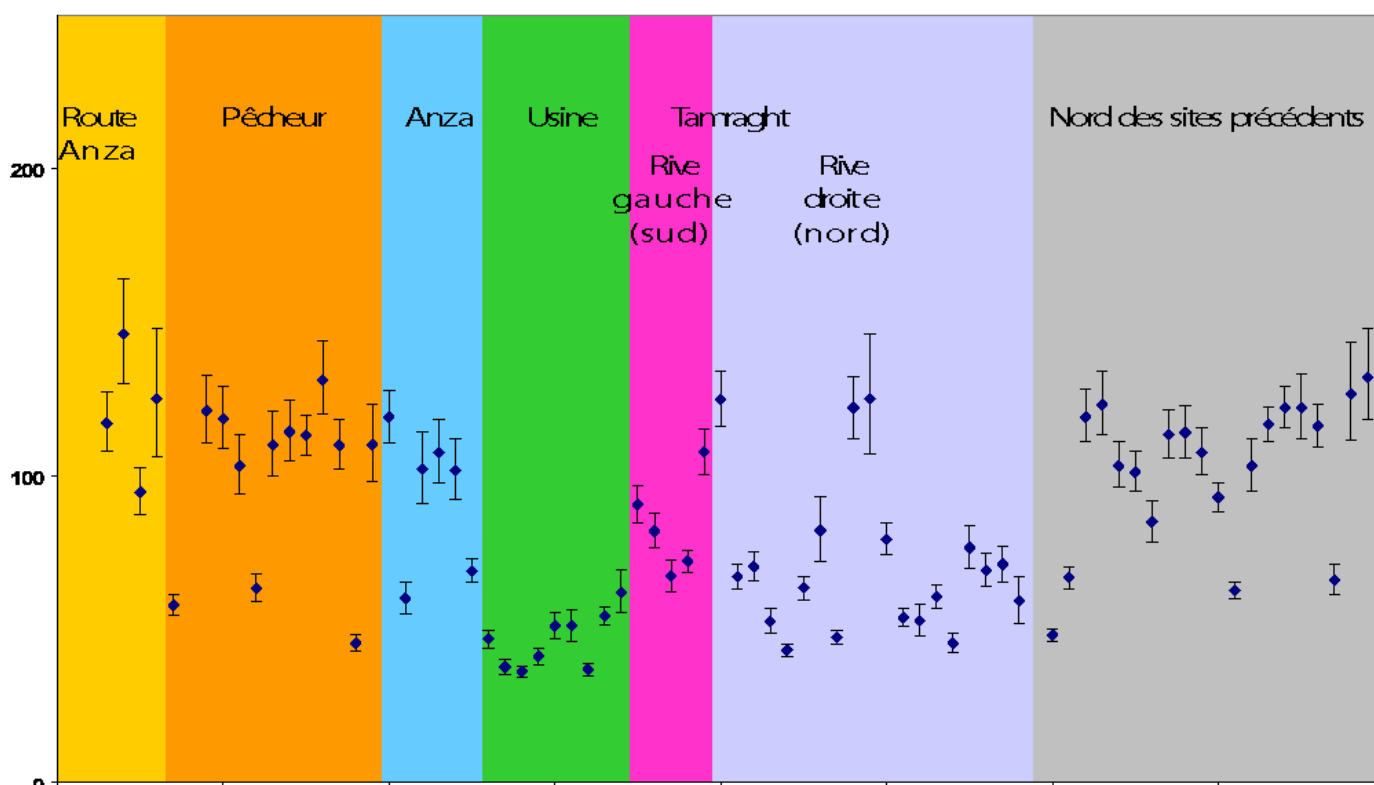


Figure 2 : Âges donnés par les échantillons de coquilles de mollusques analysés.

Figure 2: Dates obtained from the mollusk shells analyzed.

Discussion des résultats

Les teneurs en uranium mesurées dans les échantillons analysés sont distribuées, comme le montre l'histogramme de la Figure 3, entre 0,179 et 5,22 ppm. Ces teneurs sont, généralement, très supérieures à celles mesurées dans les coquilles vivantes ou appartenant à la période de l'Holocène (0,005 - 0,5 ppm) (KAUFMAN *et alii*, 1971 ; IVANOVITCH *et alii*, 1983 ; HILLAIRE-MARCEL *et alii*, 1996). Elles montrent que les coquilles plus anciennes que celles de l'Holocène ont dû incorporer de l'uranium d'une manière continue ou discontinue au cours de l'enfouissement. Ceci expliquerait la dispersion des âges obtenus dans les quatre coupes qui appartiennent, d'après leur position stratigraphique, au même stade climatique et donc, normalement, de même âge. La dispersion des âges a

été également constatée dans la même coupe, pour des échantillons prélevés au même endroit et appartenant à la même espèce. L'uranium secondaire incorporé par les coquilles fossiles peut avoir comme origine l'eau de mer et/ou l'eau circulante des rivières. Dans ces conditions, l'âge apparent d'une coquille ne peut donc représenter qu'un âge minimum, sachant que, si l'incorporation avait eu lieu juste après la fossilisation, l'âge $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ n'aurait été que peu modifiée.

La Figure 2 montre que les âges obtenus sont strictement inférieurs ou égaux à l'âge du plus haut niveau marin 5e daté, d'après des mesures sur des coraux non recristallisés, soit à 120 ka environ (BARD *et alii*, 1990 ; BLOOM *et alii*, 1974 ; BROECKER *et alii*, 1965).

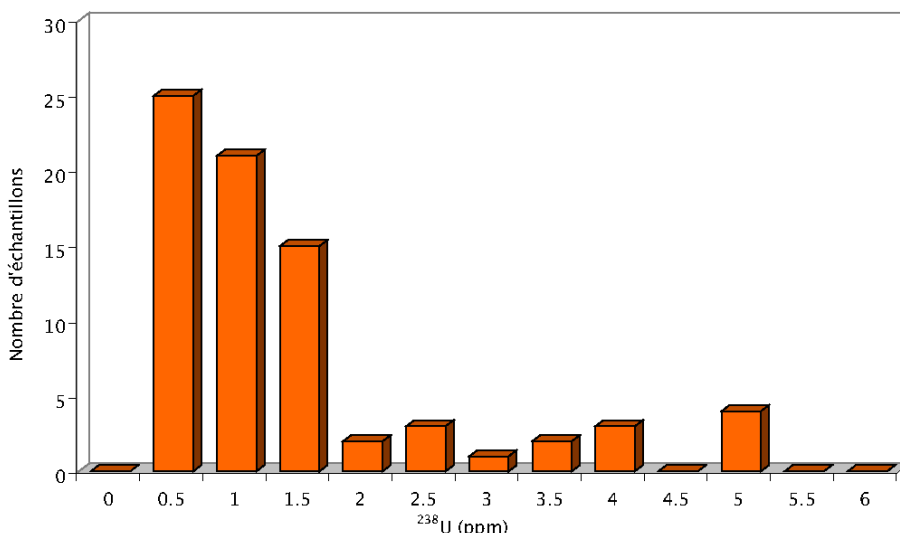


Figure 3 : Histogramme des teneurs en uranium dans les échantillons de coquilles de mollusques analysés.
Figure 3: Histogram of the uranium content of the mollusk shells analyzed.

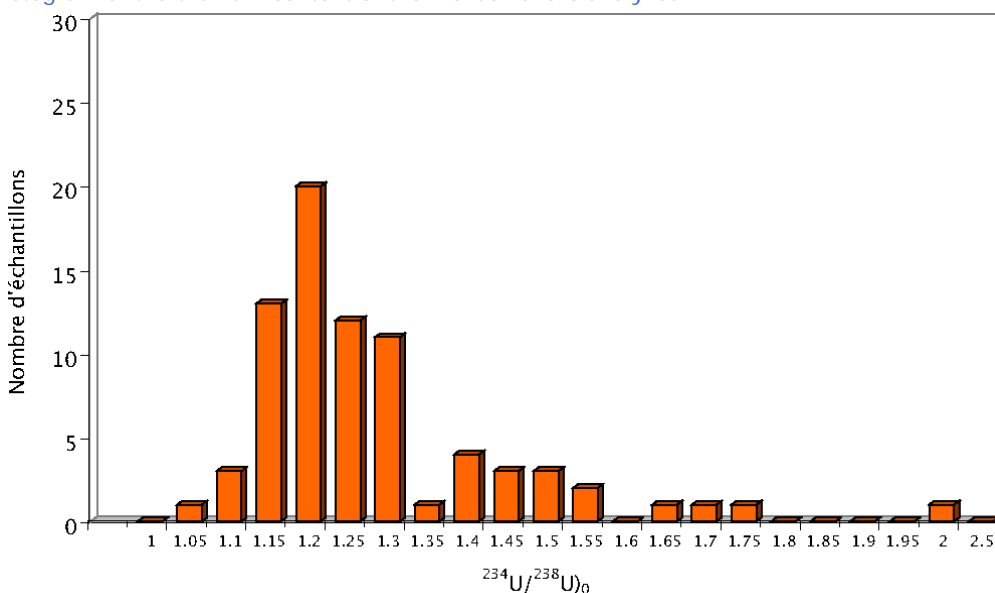


Figure 4 : Histogramme des rapports d'activités $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ initial dans les échantillons de coquilles de mollusques analysés.
Figure 4: Histogram of the initial activity ratio of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopes of the mollusk shells analyzed.

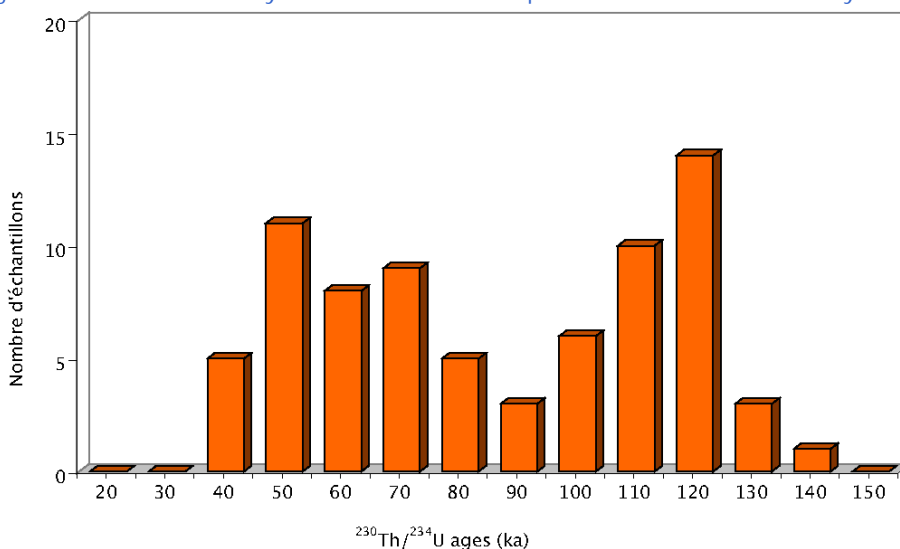


Figure 5 : Histogramme des âges obtenus pour les échantillons de coquilles de mollusques analysés.
Figure 5: Histogram of the ages obtained for the mollusk shells analyzed.

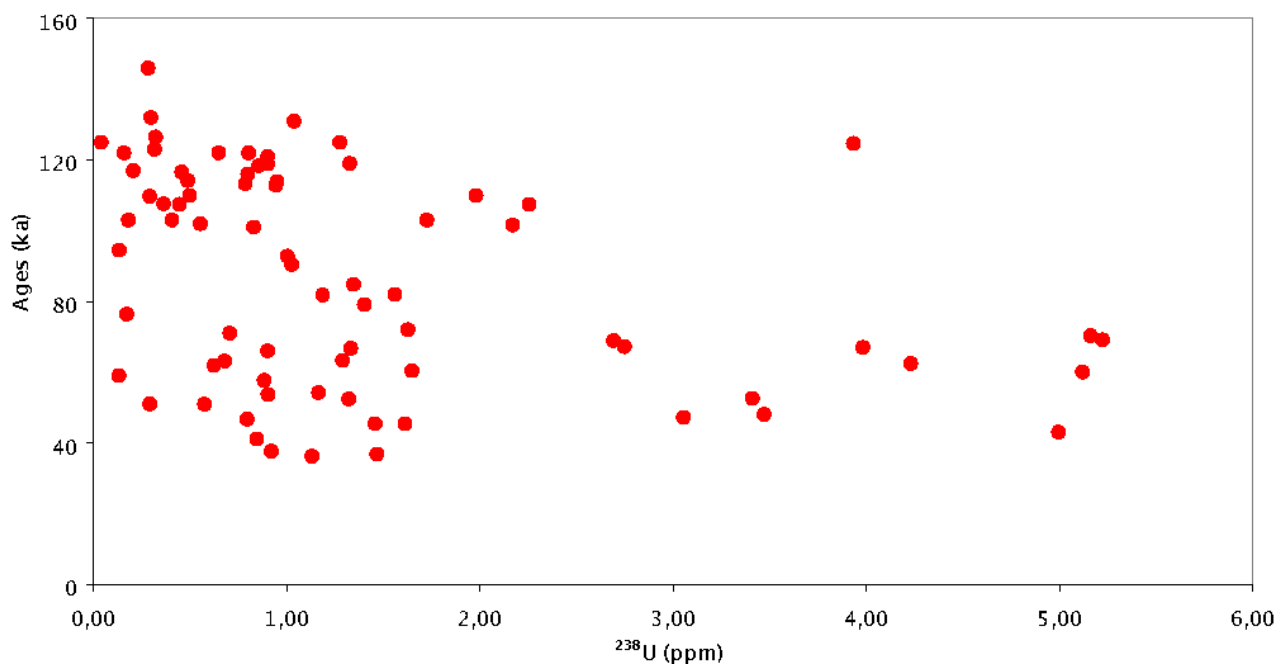


Figure 6 : Relation entre âges et teneur en ^{238}U .
Figure 6: The relationship between the ages and their ^{238}U content.

À noter que des datations effectuées sur des récifs coralliens situés sur des côtes stables suggèrent que ce niveau a atteint sa hauteur maximale à 6 ± 2 m par rapport au niveau de la mer actuel, il y a environ 135 ka et peut être avant, et qu'il est resté stable au moins jusqu'à 115 ka et peut être plus tard (LAMBECK & NAKADA, 1992).

Les résultats obtenus ne montrent aucune relation évidente entre le rajeunissement de l'âge et la dispersion des teneurs en uranium (Fig. 6). Néanmoins cette figure montre que les échantillons ayant de fortes teneurs en ^{238}U , si l'on excepte un seul cas, ont tendance à donner des âges rajeunis. Par contre pour les teneurs inférieures à 3 ppm, on obtient un mélange d'âges proches de 125 ka et des âges rajeunis. Ceci peut être expliqué par les différents modes et moments possibles de l'incorporation postérieure d'uranium secondaire.

En résumé, l'hypothèse de rajeunissement d'âges est basée sur le fait que, dans notre étude, les coupes échantillonnées sont géologiquement équivalentes et que la dispersion des âges a été constatée dans la même coupe, pour des échantillons prélevés au même endroit et appartenant à la même espèce. L'hypothèse d'une incorporation secondaire d'uranium est basée sur le fait que les teneurs en uranium mesurées dans ces échantillons sont généralement plus importantes que celles souvent mesurées dans les coquilles vivantes ou appartenant au niveau holocène.

Pour confirmer ces interprétations nous avons été amenés à comparer les datations obtenues sur quatre sites (Pêcheur, Anza, Usine

et Tamraght) dont l'emplacement et les conditions de conservation sont apparemment différents. Le degré de fiabilité varie de 75 % pour le site Pêcheur, apparemment le mieux conservé, à 0 % pour le site Usine, exposé continuellement au courant d'eaux de mer et continentales. Le degré de fiabilité dans les deux autres sites Tamraght et Anza, moins exposés que le site Usine, est de 17 % environ.

Les résultats montrent que le rajeunissement observé n'a aucun lien avec l'espèce des coquilles analysées. Deux coquilles prélevées au même endroit, appartenant à la même espèce et ayant des taux de calcite comparables donnent des âges différents. C'est le cas, par exemple, des échantillons 96-1b-2, 96-1b-2', 97-1mer1 et 97-mer2 au site de Tamgahrt. Au même endroit et au même site km-50, deux coquilles appartenant à la même espèce *Mytilus* ayant des taux de calcite très différents 0,8 % et 100 %, donnent pratiquement les mêmes résultats : 126,5 (+17 ; -15) et 132 (+16 ; -14). Au site Pêcheur, deux *Thais* 96-17 et 96-17b8 ayant les mêmes taux de calcite (3% et 4%) donnent des âges différents : 57,7 (+3,3 ; -3,2) et 103 (+10 ; -9).

Ces considérations amènent à penser que les âges compris entre 40 et 140 ka, souvent trouvés, pour le niveau ouljien, sur les côtes marocaines, ne correspondent donc pas à plusieurs niveaux marins comme cela a été suggéré par certains auteurs (STEARNS & THURBER, 1965 ; HOANG *et alii*, 1978 ; WEISROCK, 1980 ; BRÉBION *et alii*, 1984), mais seulement à des rajeunissements par une incorporation postérieure d'uranium.

Modélisation de la relation entre l'âge réel et l'âge apparent

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent que les âges des coquilles de mollusques fossiles sont souvent rajeunis. Cela peut être dû à une incorporation postérieure d'uranium et cette incorporation peut être continue ou discontinue.

1. Incorporation continue

Dans ce cas, on suppose que les coquilles de mollusques fossiles ne contenaient initialement ni uranium ni ses descendants, et que leur système a été ouvert durant la fossilisation pour une incorporation linéaire et continue

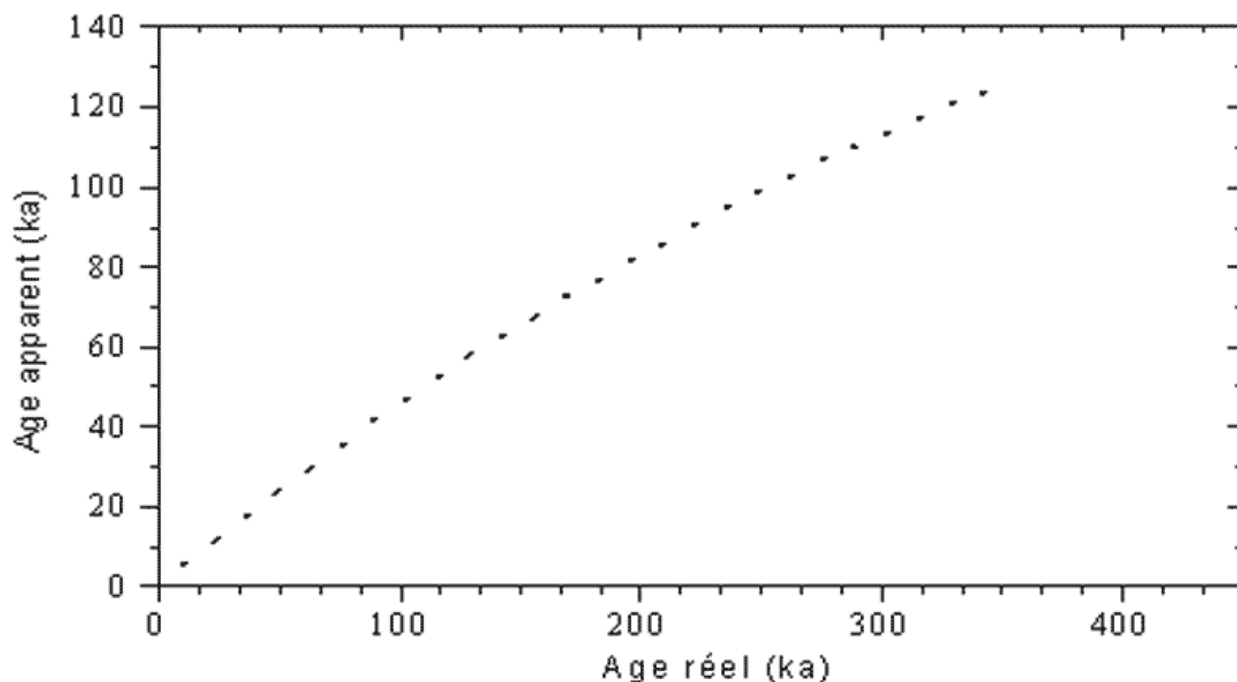


Figure 7 : Relation entre l'âge réel et l'âge apparent dans le cas d'une incorporation continue (CHOUKRI *et alii*, 2001).
Figure 7: Relationship between the real age and the apparent age if their incorporation is continual (CHOUKRI *et alii*, 2001).

2. Incorporation discontinue

L'incorporation de l'uranium peut être, dans certains cas, discontinue et épisodique sous l'effet des changements brutaux du climat et des circulations d'eau. Des approches ont été utilisées pour corriger les âges des échantillons d'ossements dont le système a un comportement proche de celui des coquilles (CHEN & YUAN, 1988) en supposant la possibilité d'échange d'uranium et de ses descendants dans les deux sens. Nos résultats montrent que l'uranium ne peut qu'être incorporé par les coquilles pendant la fossilisation.

Si l'on suppose que la quantité incorporée d'uranium l'emporte sur la quantité incorporée initialement au moment de la formation, la relation entre l'âge réel et l'âge apparent est

d'uranium. La relation entre l'âge réel et l'âge apparent, et qui ne dépend pas du taux d'incorporation si cette dernière est linéaire, est donnée dans la Figure 7. Cette figure montre qu'un âge réel de 125 ka correspondrait à un âge apparent de 56 ka et qu'un âge apparent de 125 ka correspondrait à un âge réel de 340 ka. En tenant compte des intervalles d'incertitudes dus à la mesure, des coquilles formées pendant le stade 5e, dont l'âge est compris entre 115 et 135 ka, donneront, dans le cas d'une incorporation continue et linéaire, des âges apparents compris entre 48 et 62 ka. Des âges apparents compris entre 115 et 135 ka seront également obtenus, selon le même phénomène, pour des coquilles dont les âges réels sont compris entre 295 et 390 ka.

donnée en fonction du moment d'incorporation par les droites de la Figure 8. D représente le rapport de l'intervalle de temps qui nous sépare du moment d'incorporation secondaire d'uranium sur celui qui nous sépare du moment d'incorporation initiale pendant la formation.

La Figure 8 montre que l'âge réel d'une coquille de mollusque fossile peut être rajeuni à n'importe quel moment par l'incorporation secondaire d'uranium à la suite d'un changement brutal dans les conditions environnantes du milieu d'enfouissement; il en résulte la possibilité de mesurer des âges apparents compris entre l'âge réel et l'actuel. Elle montre également qu'un âge apparent peut correspondre à plusieurs âges réels selon la valeur de D qui indique le moment de cette incorporation.

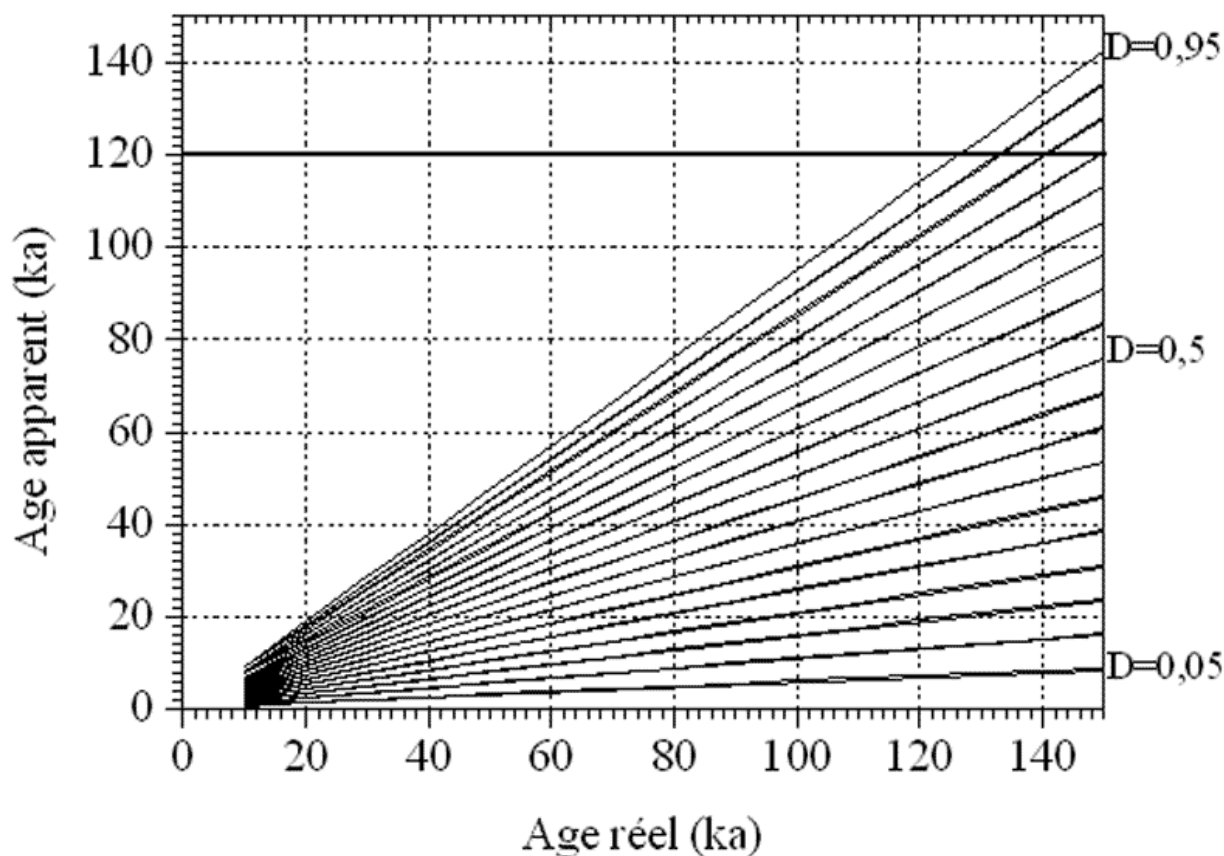


Figure 8 : Solution graphique de la relation entre l'âge réel et l'âge apparent pour différents moments d'incorporation dans le cas d'une seule incorporation épisodique de l'uranium (CHOUKRI *et alii*, 2001).

Figure 8 : Graphic solution of the relationship between the real age and the apparent age for a single episod of incorporation of uranium if the incorporation is discontinuous (CHOUKRI *et alii*, 2001).

Conclusions

La datation radiochimique par la méthode de déséquilibre radioactif dans les familles naturelles de l'uranium $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de 76 échantillons de coquilles de mollusques fossiles prélevés à des altitudes comprises entre 4 et 8 m dans 4 coupes équivalentes au nord du Port de la ville d'Agadir sur la côte Atlantique du Haut Atlas a permis de tirer les conclusions principales suivantes :

4. Des coquilles prélevées au même endroit, même si elles appartiennent à la même espèce, ne donnent pas toujours des résultats concordants. Ce qui confirme la non-fiabilité de la datation des coquilles de mollusques déjà suggérée par d'autres auteurs.
5. Les âges compris entre 40 et 140 ka, souvent trouvés pour le niveau ouljien sur les côtes marocaines, ne correspondent pas à plusieurs niveaux marins comme cela a été suggéré par certains auteurs, mais seulement au plus haut niveau marin 5e dont l'âge (autour de 125 ka) a été rajeuni par une incorporation postérieure d'uranium. Cette incorporation pourrait être continue durant l'enfouissement comme elle pourrait être épisodique, ce qui explique la gamme d'âges rajeunis obtenus pour un même

niveau. L'hypothèse de rajeunissement d'âges est basée sur le fait que ces variations s'observent sur des coupes géologiquement équivalentes et l'hypothèse d'une incorporation secondaire d'uranium est basée sur le fait que les teneurs en uranium mesurées dans les échantillons du niveau ouljien sont souvent plus importantes que celles mesurées dans les coquilles vivantes ou appartenant au niveau Holocène.

6. Les âges obtenus pour les coquilles de mollusques sont souvent rajeunis par une incorporation postérieure et peuvent ne représenter que des âges minimums pour les formations qui livrent ces échantillons.
7. Les âges rajeunis des coquilles de mollusques fossiles ne peuvent pas être corrigés de manière univoque par l'application des modèles de correction, basés sur des hypothèses d'incorporation postérieure d'uranium (continue ou épisodique). Un âge apparent pourrait correspondre, d'après le modèle d'incorporation épisodique d'uranium, à plusieurs âges plus anciens.
8. L'âge doit être, même dans le cas de multiplication de mesures sur des coquilles de mollusques prélevées dans la même coupe ou dans des coupes équivalentes, confronté au contexte géologique du site avant d'être validé.

Références bibliographiques

- BARD E., HAMELIN B. & FAIRBANKS R.G. (1990).- U-Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: Sea-level during the past 130,000 years.- *Nature*, London, vol. 346, n° 6283, p. 456-458.
- BLOOM A.L., BROECKER W.S., CHAPPELL J.M., MATTHEWS R.K. & MESOLELLA K.J. (1974).- Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast: New $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates on the Huon Peninsula, New Guinea.- *Quaternary Research*, Washington, vol. 4, n° 2, p. 185-205.
- BREBION P., HOANG C.T. & WEISROCK A. (1984).- Intérêt des coupes d'Agadir-Port pour l'étude du Pléistocène supérieur marin du Maroc.- *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris*, (4ème série), vol. 6, Section C, p. 129-151.
- BROECKER W.S. & THURBER D.L. (1965).- Uranium series dating of corals and oolites from Bahaman and Florida Keys limestones.- *Science*, Washington, vol. 149, p. 58-60.
- CHEN T. & YUAN S. (1988).- Uranium-series dating of bones and teeth from Chinese Paleolithic sites.- *Archaeometry*, Oxford, vol. 30, p. 59-76.
- CHOUKRI A. (1994).- Application des méthodes de datation par les séries de l'Uranium à l'identification des hauts niveaux marins sur la côte égyptienne de la Mer Rouge au moyen de coraux, radioles d'oursins et coquilles, et sur la côte atlantique du Haut Atlas au Maroc, au moyen de coquilles.- Thèse Sciences, Université de Rabat, n° 1184, 192 p.
- CHOUKRI A., JAHJOUH E., SEMGHOULI S., HAKAM O.K. & REYSS J.-L. (2001).- 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*, El Jadida-Maroc, vol. 1, p. 92-96.
- CHOUKRI A., REYSS J.-L., HAKAM O.K. & PLAZIAT J.-C. (2002).- A statistical study of ^{238}U and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ distributions in coral samples from the Egyptian shoreline of the north-western Red Sea and in fossil mollusk shells from the Atlantic coast of High Atlas in Morocco: Implications for $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dating.- *Journal of Radiochemical Acta*, München, vol. 90, p. 329-336.
- CHOUKRI A., HAKAM O.K., REYSS J.-L. & PLAZIAT J.-C. (2007a).- Radiochemical dates obtained by alpha spectrometry on fossil mollusk shell from the 5e Atlantic shoreline of the High Atlas, Morocco.- *Applied Radiation and Isotopes*, Amsterdam, vol. 65, p. 883-890.
- CHOUKRI A., HAKAM O.K., REYSS J.-L. & PLAZIAT J.-C. (2007b).- Radiochemical data obtained by α -spectrometry on unrecrystallized fossil coral samples from the Egyptian shoreline of the north-western Red Sea.- *Radiation Measurements*, Amsterdam, vol. 42, p. 271-280.
- EL-GHARBAOUI A., CHOUKRI A., BERRADA M., FALAKI H. & REYSS J.-L. (1994).- Datation de deux hauts niveaux marins sur la côte du Haut Atlas atlantique au Maroc à 275 000 et à 120 000 ans.- *Cahiers de Géographie du Québec*, Québec, vol. 38, p. 241-247.
- FAIRBANKS R.G. & MATTHEWS R.K. (1978).- The marine oxygen isotope record in Pleistocene coral, Barbados, West Indies.- *Quaternary Research*, Amsterdam, vol. 10, p. 181-196.
- HILLAIRE-MARCEL C., GARIÉPY C., GHALEB B., GOY J.-L., ZAZO C. & BARCELO J.-C. (1996).- U-series measurement in Tyrrhenian deposit from Mallorca-Further evidence for two last-interglacial high sea levels in the Balearic Islands.- *Quaternary Science Reviews*, Amsterdam, vol. 15, p. 53-62.
- HOANG C.T., ORTLIEB L. & WEISROCK A. (1978).- Nouvelles datations $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de terrasses marines ouljiennes du sud-ouest du Maroc et leurs significations stratigraphiques et tectoniques.- *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, vol. 286, (Série D), p. 1759-1762.
- IVANOVICH M., VITA-FINZI C. & HENNING G.J. (1983).- Uranium-series dating of molluscs from uplifted Holocene beaches in Persian Gulf.- *Nature*, London, vol. 302, p. 408-410.
- KAUFMAN A., BROECKER W.S., KU T.L. & THURBER D.L. (1971).- The status of U-series methods dating.- *Geochimica Acta*, Amsterdam, vol. 35, p. 1115-1183.
- LAMBECK K. & NAKADA M. (1992).- Constraints on the age and duration of the last interglacial period and on sea-level variations.- *Nature*, London, vol. 357, p. 125-128.
- LECOINTRE G. (1963).- Recherches sur le Néocène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc.- *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, vol. 174, t. III, 76 p.
- MARTINSON D.G., PISIAS N.G., HAYS J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. & SHACKLETON N.J. (1987).- Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy.- *Quaternary Research*, Washington, vol. 27, n° 1, p. 1-29.
- OCCHIETTI S., RAYNAL J.P., PICHET P. & TEXIER J.P. (1993).- Aminostratigraphie du dernier cycle climatique au Maroc atlantique, de Casablanca à Tanger.- *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, vol. 317, (Série II), p. 1625-1632.
- PLAZIAT J.-C., BALTZER F., CHOUKRI A., CONCHON O., FREYTET P., ORSZAG-SPERBER F., PURSER B.H., RAGUIDEAU A. & REYSS J.-L. (1995).- Quaternary changes in the Egyptian shoreline of the northwestern Red Sea and Gulf of Suez.- *Quaternary International*, Amsterdam, vol. 29-30, p. 11-22.
- PLAZIAT J.-C., BALTZER F., CHOUKRI A., CONCHON O., FREYTET P., ORSZAG-SPERBER F., RAGUIDEAU A. & REYSS J.-L. (1998a).- Quaternary marine and continental sedimentation in the nor-

- thern Red Sea and Gulf of Suez (Egyptian coast): influences of rift tectonics, climatic changes and sea-level fluctuations. *In*: PURSER B.H. & BOSENCE D. (eds.) Sedimentary and tectonic evolution of rift basins: The Red Sea-Gulf of Aden.- Chapman and Hall, London, p. 537-573.
- PLAZIAT J.-C., REYSS J.-L., CHOUKRI A., ORSZAG-SPERBER F., BALTZER F. & PURSER B.H. (1998b).- Mise en évidence, sur la côte récifale d'Égypte, d'une régression interrompant le plus haut niveau du dernier interglaciaire (5e) : Un nouvel indice de variations glacio-eustatiques à haute fréquence au Pléistocène ?- *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, vol. 169, n° 1, p. 115-125.
- PLAZIAT J.-C., REYSS J.-L., CHOUKRI A. & CAZALA C. (2008).- Diagenetic rejuvenation of raised coral reefs and precision of dating. The contribution of the Red Sea reefs to the question of reliability of the uranium-series datings of middle to late Pleistocene key reef-terraces of the world.- *Carnets de Géologie - Notebooks on Geology*, Brest, Article 2008/04 (CG2008_A04), 35 p.
- PRELL W.L., IMBRIE J., MARTINSON D.G., MORLEY J., PISIAS N.J., SHACKLETON N.J. & STREETER H.F. (1986).- Graphic correlation of Oxygen Isotope stratigraphy application to the Late Quaternary.- *Paleoceanography*, Washington, vol. 1, n° 2, p. 137-162.
- REYSS J.-L., CHOUKRI A., PLAZIAT J.-C. & PURSER B.H. (1993).- Datations radiochimiques des récifs coralliens de la rive occidentale du Nord de la Mer Rouge, premières implications stratigraphiques et tectoniques.- *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, (Série II, Sciences de la Terre), t. 317, n° 4, p. 487-492.
- STEARNS C.E. & THURBER D.L. (1965).- $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals.- *Quaternaria*, Roma, vol. 7, p. 291.
- WEISROCK A. (1980).- Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas atlantique (Maroc).- Thèse d'État ès Lettres et Sciences humaines, Université Paris-I (Panthéon-Sorbonne), 931 p. ; *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, n° 332, 487 p.